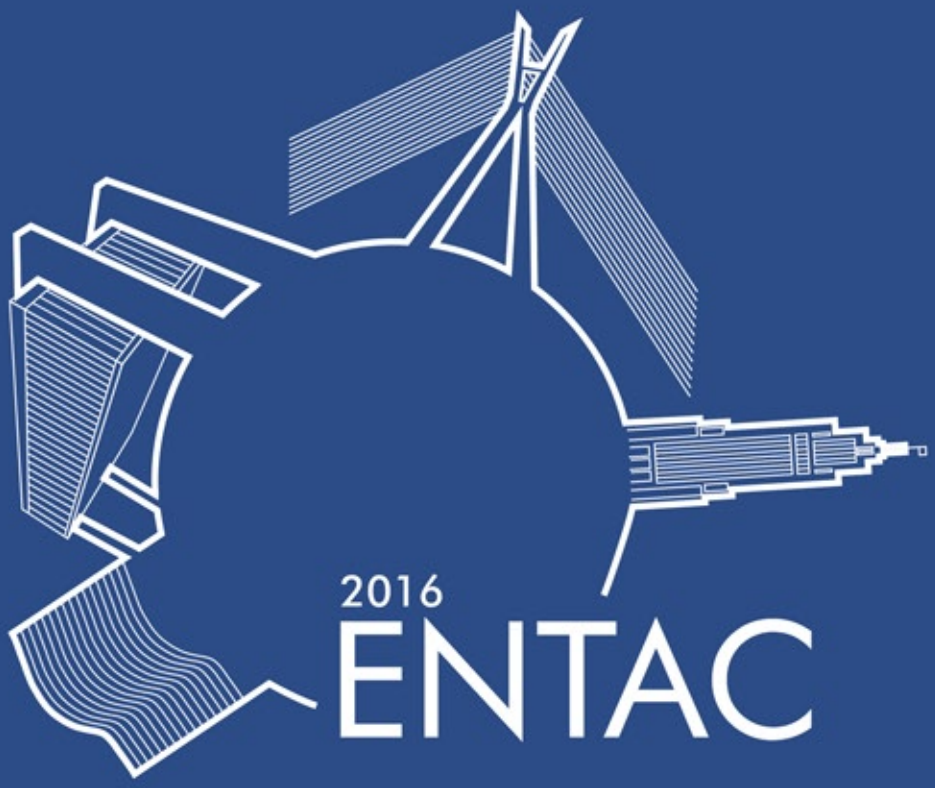


XVI Encontro Nacional de
Tecnologia do Ambiente Construído

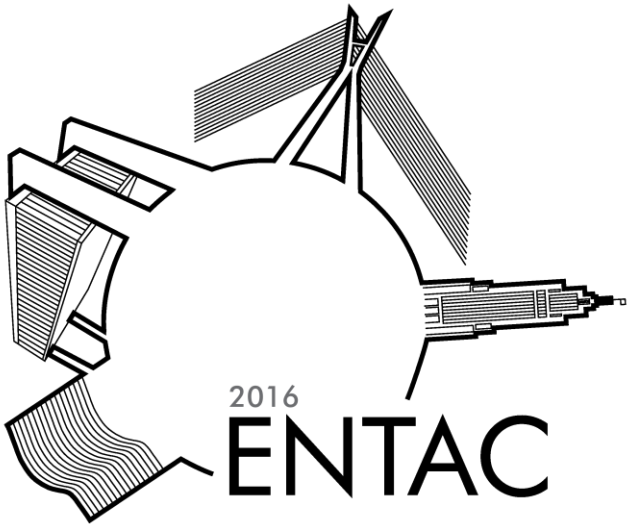
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção

Anais

vol. 01/03

São Paulo
21 a 23 de setembro
IPT – FAUUSP – Poli USP

2016



XVI Encontro Nacional de
Tecnologia do Ambiente Construído

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção

Anais

vol. 01/03

São Paulo

21 a 23 de setembro

Regina Coeli Ruschel (Org.)

Anais do XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: desafios e perspectivas da internacionalização da construção

1ª edição

São Paulo

ANTAC

2016

Ficha Catalográfica

Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (16: 2016: São Paulo, SP)

Anais [do] XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: desafios e perspectivas da internacionalização da construção (ENTAC 2016)/ Associação Nacional do Ambiente Construído (ANTAC); organização de Regina Coeli Ruschel. São Paulo: ANTAC, 2016.

On-line

ISBN: 978-85-89478-44-1 (PDF)

ISSN: 2178-8960

1. Arquitetura – Congressos. 2. Engenharia Civil – Congressos. 3. Projeto de arquitetura – Qualidade. 4. Construção Civil – Internacionalização – Congressos. I. Ruschel, Regina Coeli. org II. Associação Nacional do Ambiente Construído (ANTAC). III. Título

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP

.: PROMOÇÃO

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)

.: COMISSÃO ORGANIZADORA

Prof. Dr. Fúlvio Vittorino, Pesquisador e Diretor do Centro Tecnológico do Ambiente Construído do IPT (Coordenador)

Prof. Dr. Silvio Burrattino Melhado, Professor Associado da EPUSP (Coordenador)

Prof.ª Dra. Sheila Walbe Ornstein, Professora Titular da FAUUSP (Coordenadora)

Prof.ª Dra. Rosaria Ono, Professora Titular da FAUUSP (Coordenadora)

Prof.ª Dra. Alessandra R. Prata Shimomura, Professora da FAUUSP

Prof.ª Dra. Fabiana Lopes de Oliveira, Professora da FAUUSP

Prof. Dr. Gil Garcia de Barros, Professor da FAUUSP

Prof.ª Dra. Luciana Alves de Oliveira, Pesquisadora do IPT

Prof.ª Dra. Ranny L. X. N. Michalski, Professora da FAUUSP

Dra. Andrea L. Thomazoni, Arquiteta e urbanista.

MSc Aline Valverde Arrotéia, Arquiteta, Especialista em Gestão e Tecnologia de Produção de Edifícios

MSc André Azevedo, Engº Civil, Pesquisador Assistente do IPT

MSc Luciana Schwandner Ferreira, Doutoranda FAU -USP, Bolsista PRCEU

MSc Raquel Adriana Zomer, Assistente Administrativo do IPT

.: INSTITUIÇÕES ORGANIZADORAS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

.: DIRETORIA ANTAC - GESTÃO 2014-2016

Profa. Dra. Regina Coeli Ruschel (UNICAMP) - Presidente

Prof. Dr. José de Paula Barros Neto (UFC) - Vice-presidente

Prof. Dr. Aldomar Pedrini (UFRN) - Diretor de Divulgação

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko (POLI/USP) - Diretor de Relações Interinstitucionais

Prof. Dr. Eduardo Luis Isatto (UFRGS) - Diretor Financeiro

Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Andery (UFMG) - Diretor Administrativo

.: COMISSÃO CIENTÍFICA

Presidente: Profa. Dra. Regina Coeli Ruschel (UNICAMP)

Vice Presidente: Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Andery (UFMG)

Prof. Dr. Aldomar Pedrini (UFRN), coodenardor associado do GT Conforto

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko (USP), coordenador associado do GT Urbano

Prof.ª Dr.ª Andrea Naguissa Yuba (UFMS), coordenadora do GT Desenvolvimento Sustentável

Prof.ª Dr.ª Angela Borges Masuero (UFRGS), coordenadora do GT Argamassa

Prof.ª Dr.ª Angela Maria Gabriella Rossi (UFRJ), coordenadora do GT Urbano

Prof. Dr. Angelo Just Costa e Silva (UFPE), coordenador associado do GT Argamassa

Prof.ª Dr.ª Cristina Engel de Alvarez (UFES), coordenadora associada do GT Desenvolvimento Sustentável

Prof. Dr. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)

Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos (POLI/USP), coordenador associado do GT Tecnologia da Informação e Comunicação

Prof.ª Dr.ª Elvira Maria Vieira Lantelme (IMED), coordenadora do GT Gestão e Economia da Construção

Prof.ª Dr.ª Fernanda Aranha Saffaro (UEL), coordenadora associada do GT Gestão e Economia da Construção

Prof. Dr. Fúlvio Vittorino (IPT)

Prof. Dr. Guilherme Parsekian (UFSCar)

Prof.ª Dr.ª Marlova Piva Kulakowski (UNISINOS), coordenadora do GT Durabilidade

Prof.ª Dr.ª Mércia M.S. Bottura de Barros (POLI/USP)

Prof.ª Dr.ª Mônica Batista Leite (UEFS), coordenadora do GT Resíduos

Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Andery (UFMG)

Prof.ª Dr.ª Roberta Vieira Gonçalves de Souza (UFMG), coordenadora do GT Conforto Ambiental e Eficiência Energética

Prof. Dr. Sergio Cirelli Angulo (POLI/USP), coordenador associado do GT Resíduos

Prof. Dr. Sergio Scheer (UFPR), coordenador do GT Tecnologia da Informação e Comunicação

Prof. Dr. Silvio Burratino Melhado (POLI/USP), coordenador do GT Qualidade do Projeto

Prof. Dr. Tulio Tiburcio (UFV), coordenador associado do GT Qualidade do Projeto

Prof.ª Dr.ª Vera Maria Cartana Fernandes (UPF), coordenadora do GT Sistemas Prediais

.: LOGOTIPO ENTAC 2016

Eduardo Pizarro (FAUUSP)

.: MEMBROS DO COMITÊ AVALIADOR

Adeildo Cabral da Silva (CEFET-CE)
Adriana Camargo de Brito (IPT)
Adriana Cristina Boni (UNICEP)
Adriana Gelpi (UPF)
Adriana P. de A. Silva Castro (UNIMEP)
Adrieli Cristina Vieira de Carvalho (UFV)
Aguida Gomes de Abreu (UNISINOS)
Akemi Ino (USP)
Alberto Casado Lordsleem Júnior (UPE)
Alexandre Araújo Bertini (UFC)
Alexandre Castro Soares (Leancore)
Alexandre Márcio Toledo (UFAL)
Alexandre Silva de Vargas (FEEVALE)
Alexsandra Rocha Meira (IFPB)
Alfredo Iarozinski Neto (UTFPR)
Alice de Barros Horizonte Brasileiro (UFRJ)
Aline da Silva Ramos Barboza (UFAL)
Aline Lisot (UEM)
Aline Pires Verol (UFRJ)
Aline Werneck B. de Carvalho (USP)
Almir Sales (UFSCAR)
Aloisio Leoni Schmid (UFPR)
Altibano Ortenzi Junior (UEL)
Amilcar Jose Bogo (FURB)
Ana Carolina Oliveira Veloso (UFMG)
Ana Elisabete Jacintho (PUC-Campinas)
Ana Lucia Ribeiro Camillo da Silveira (ICF)
Ana Mirthes Hackenberg (UDESC)
Ana Paula da Silva Milani (UFMS)
Ana Paula Melo (UFSC)
Ana Regina M. Cuperschmid (UNICAMP)
Ana Virginia C. de Faria Sampaio (UEL)
André Luis Christoforo (UFSCAR)
André Luiz Vivan (UFSCAR)
Andréa Coelho Laranja (UFES)
Andrea Parisi Kern (UNISINOS)
Andréa Q. da Silva Fonseca Rego (UFRJ)
Andressa Carmo Pena Martinez (UFV)
Angela Borges Masuero (UFRGS)
Angela Teresa Costa Sales (UFS)
Angelo Just da Costa e Silva (UPE)
Antonio Edesio Jungles (UFSC)
Antonio Eduardo Bezerra Cabral (UFC)
Antonio Manoel Castelnou Neto (UFPR)
Antônio Carvalho Júnior (UFMG)
Antônio Tarcísio da Luz Reis (UFRGS)
Ariel González (UTN Santa Fe)
Ariovaldo Denis Granja (UNICAMP)
Arivaldo Leão de Amorim (UFBA)
Armando Carlos de Pina Filho (UFRJ)
Armando L. Moreno Junior (UNICAMP)
Armando Luis Yoshio Ito (UTFPR)
Barbara Irene Wasinski Prado (UEMA)
Béda Barkokébas Junior (UPE)
Bernardo A. do N. Teixeira (UFSCAR)
Bianca Carla Dantas de Araujo (UFRN)
Bruno Luís Damineli (USP)
Caio Frederico e Silva (UNB)
Camila Carvalho Ferreira (UFMG)
Camila Gregório Atem (UNIFIL)
Camila Pegoraro (UFRGS)
Carina Mariane Stolz (UFRGS)
Carina Ulsen (USP)
Carla Fernanda Barbosa Teixeira (UFS)
Carlos Eduardo Verzola Vaz (UFSC)
Carlos Otavio Petter (UFRGS)
Carlos Torres Formoso (UFRGS)
Carolina Asensio Oliva (Fac.Anhanguera)
Carolina L. Bueno Bartholomei (UNESP)
Carolina Maria Pozzi de Castro (UFSCAR)
Carolina Rocha Carvalho (UNIVALI)
Catarina Araújo (UM)
Cecília Gravina da Rocha (UFRGS)
Celina Maria Britto Correa (UFPEL)
Cervantes G. Ayres Filho (SOCIESC)
Cesar Imai (UEL)
Cheng Liang Yee (USP)
Cicero Murta Diniz Starling (UFMG)
Clara Luiza Miranda (UFMG)
Cláudia G. Vianna Bacchi (UFMS)
Claudia M. de Lyra Barroso Krause (UFRJ)
Cláudia Naves David Amorim (UNB)
Claudio Alcides Jacoski (UNOCHAPECÓ)
Claudio Carrasco Aldunate (UV)
Claudio de S. Kazmierczak (UNISINOS)
Claudio Emanuel Pietrobon (UFSC)
Cláudio Vicente Mitidieri Filho (IPT)
Cristina Eliza Pozzobon (UNIJUÍ)

Cristine do Nascimento Mutti (UFSC)
Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)
Daniela Dietz Viana (UFRGS)
Daniela Matschulat Ely (CEFET-MG)
Daniella do Amaral Mello Bonatto (UFES)
Darci Barnech Campani (UFRGS)
Dayana Bastos Costa (UFBA)
Débora de Gois Santos (UFS)
Deivis Luis Marinoski (UFSC)
Denise Mônaco dos Santos (UFV)
Diego Souza Caetano (UFF)
Diego Jacques Lemes (FSG)
Doris C. C. Knatz Kowaltowski (UNICAMP)
Douglas Barreto (UFSCAR)
Douglas Lopes de Souza (UFV)
Edna Aparecida Nico Rodrigues (UFES)
Eduardo Arantes (UFMG)
Eduardo Grala da Cunha (UFPEL)
Eduardo L Krüger (UTFPR)
Eduardo Manuel González Cruz (UFSC)
Elaine Garrido Vazquez (UFRJ)
Elaine Pinto Varela Alberte (UFBA)
Elcione Maria Lobato de Moraes (UFPA)
Eleonora Sad de Assis (UFMG)
Eliane Simões (INEQ)
Elizângela Marcelo Siliprandi (UTFPR)
Emerson de A. Marques Ferreira (UFBA)
Emerson Meireles de Carvalho (UFS)
Enedir Ghisi (UFSC)
Eneida Maria Souza Mendonça (UFES)
Erasmo Felipe Vergara Miranda (UFSC)
Ercilia Hitomi Hirota (UEL)
Ercio Thomaz (IPT)
Erica Coelho Pagel (AEV)
Érica de Sousa Checcucci (UFBA)
Erica Mitie Umakoshi (FAF)
Erich David Rodriguez Martinez (UFRGS)
Erico Masiero (UFSCar)
Ernani Simplício Machado (CES-JF)
Eugenia Aumond Kuhn (UFRGS)
Eugenio Fernandes Queiroga (USP)
Fabiano Rogerio Corrêa (USP)
Fábio Oliveira Bitencourt Filho (IFHE)
Fabrício Borges Cambraia (UFJF)
Fernanda Aranha Saffaro (UEL)
Fernanda Belizário Silva (IPT)
Fernanda Fernandes Marchiori (UFSC)
Fernanda Nepomuceno Costa (UFRB)
Fernando A. de M. Sá Cavalcanti (UFAL)
Fernando Fernandes (UEL)
Fernando Rodrigues Lima (UFRJ)
Fernando Simon Westphal (UFSC)
Flávia Maria de Moura Santos (UFMT)
Flávio A. Picchi (Lean Institute Brasil)
Francine Aidie Rossi (UFPR)
Francisco Cláudio Morato Leite (UEL)
Francisco Gabriel Santos Silva (UFBA)
Geilma Lima Vieira (UFES)
Gianna Melo Barbirato (UFAL)
Gihad Mohamad (UFSM)
Gilfranco Medeiros Alves (UFMS)
Gisele Silva Barbosa (UFRJ)
Gladis Camarini (UNICAMP)
Glauce Lilian A. de Albuquerque (UFRN)
Gogliardo Vieira Maragno (UFMS)
Guilherme Chagas Cordeiro (UENF)
Harry Alberto Bollmann (PUCPR)
Heitor da Costa Silva (UFRGS)
Helenize Maria de Rezende Lima (FPM)
Henor Artur de Souza (UFOP)
Iamara Rossi Bulhoes (UFRGS)
Ingrid C. Leite da Fonseca (PUC-Rio)
Iraci Pereira Stensjö (UFMG)
Isabel Tourinho Salamoni (UFPEL)
Ísis Portolan dos Santos (UFSM)
Itamar Aparecido Lorenzon (UFSCAR)
Ivan Julio Apolonio Callejas (UFMT)
Jaqueline de Lima Pires (UFRRJ)
Jardel Pereira Gonçalves (UFBA)
Joana Bonifacio Andrade (UM)
Joana Carla Soares Gonçalves (USP)
João Luiz Calmon N. da Gama (UFES)
Joao Onofre Pereira Pinto (UFMS)
Joao Ricardo Masuero (UFRGS)
João Roberto Gomes de Faria (UNESP)
Jocelise Jacques de Jacques (UFRGS)
Jorge Alberto Gil Saraiva (LNEC)
Jorge Daniel Czajkowski (UNLP)
Jorge Hernán Salazar Trujillo (UNAL)
José Amarilio Barbosa (UM)
José Carlos Paliari (UFSCAR)
José de Paula Barros Neto (UFC)
José Gustavo Francis Abdalla (UFJF)
José Ilo Pereira Filho (UTFPR)
José Luis Menegotto (UFRJ)
José Luiz Miotto (UEM)

Joyce Correna Carlo (UFV)
Juliana Kurek (UPF)
Juliana M. da Silva Costa Morais (UFCG)
Julio Cesar Sabadini Souza (IPT)
Jussara Farias Fardin (UFES)
Kamila Mendonça de Lima (PMF)
Karin Regina de C. Castro Marins (USP)
Karina Bertotto Barth (FEEVALE)
Karina Trevisan Latosinski (UCDB)
Karyna de A. Carvalho Rosseti (UFMT)
Kelen Almeida Dornelles (USP)
Lea Cristina Lucas de Souza (UFSCar)
Leila Aparecida de Castro Motta (UFU)
Leonardo F. Rosemback Miranda (UFPR)
Leonardo Marques Monteiro (USP)
Leticia de Oliveira Neves (UNICAMP)
Letícia Maria de Araújo Zambrano (UFJF)
Licinio da Silva Portugal (UFRJ)
Lígia Maria Ávila Chiarelli (UFPEL)
Lisiane Ilha Librelotto (UFSC)
Lisiane Pedroso Lima (FEEVALE)
Loyde V. de Abreu-Harbich (UNICAMP)
Lucas Melchiori Pereira (USP)
Luci Mercedes de Mori (UEM)
Lucia Bressiani (UTFPR)
Lucia Helena de Oliveira (USP)
Lúcia Zanin Shimbo (USP)
Luciana Alves de Oliveira (IPT)
Luciana Bosco e Silva (FACEV)
Luciana Correa do Lago (UFRJ)
Luciana de N. Pinheiro Cordeiro (UFPA)
Luciana Ines Gomes Miron (UFRGS)
Luciana Londero Brandli (UPF)
Luciane Cleonice Durante (UFMT)
Lucila Chebel Labaki (UNICAMP)
Lucila Sommer (UFRGS)
Luís Bragança (UM)
Luis Carlos Bonin (UFRGS)
Luis Otavio Cocito de Araujo (UFSCAR)
Luiz Antonio Nigro Falcoski (UFSCAR)
Luiz Fernando Mählmann Heineck (UECE)
Luiz Maurício Furtado Maués (UFPA)
Marcela Alvares Maciel (UFFS)
Marcelino Silva (UFRJ)
Marcelo de Mello Aquilino (IPT)
Marcelo F. Costella (UNOCHAPECÓ)
Márcia Bissoli Dalvi (UFES)
Marcio Henrique de A. Gomes (UTFPR)
Márcio Minto Fabricio (USP)
Marco Antônio Cypreste Romanelli (UFES)
Marco Aurelio S. Gonzalez (UNISINOS)
Marcos Barreto de Mendonça (UFRJ)
Marcos Barros de Souza (IFRS)
Marcos Martinez Silvoso (UFRJ)
Marcus Pereira Sterzi (UFRGS)
Maria Akutsu (IPT)
Maria Aparecida Steinherz Hippert (UFJF)
Maria Bernardete Barison (UEL)
Maria Carolina Brandstetter (UFG)
Maria do Carmo Duarte Freitas (UFPR)
Maria do Socorro C. São Mateus (UEFS)
Maria Fernanda de O. Nunes (UNISINOS)
Maria Lygia Alves de Niemeyer (UFRJ)
Maria Maia Porto (UFRJ)
Mariela Cristina Ayres de Oliveira (UFT)
Marieli Azoia Lukiantchuki (CESUMAR)
Marina Sangoi de Oliveira Ilha (UNICAMP)
Martin Ordenes Mizgier (UFSC)
Maurício Mancio (UNISINOS)
Max Junginger (USP)
Max Lira Veras Xavier de Andrade (UFPE)
Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
Milena Kanashiro (UEL)
Monica Santos Salgado (UFRJ)
Nathália de Paula (USP)
Nelma Mirian Chagas de Araújo (IFPB)
Nelson Porto Ribeiro (UFES)
Nirce Saffer Medvedovski (UFPEL)
Nixon Cesar de Andrade (USP)
Noé Villegas Flores (UNILA)
Patrícia Biasi Cavalcanti (UFSC)
Patricia Menezes Carvalho (Fac. Pio X)
Patricia Stella P. Fontanini (UNICAMP)
Patrizia Di Trapano (UFRJ)
Paula de Castro Brasil (INEP)
Paulo Fernando Soares (UEM)
Paulo Henrique Trombetta Zannin (UFPR)
Paulo Roberto Lopes Lima (UEFS)
Paulo Sergio de Paula Vargas (UFES)
Paulo Sergio dos Santos Bastos (UNESP)
Pedro Kopschitz Xavier Bastos (UFJF)
Priscila Nakamura (UFMS)
Rafael Silva Brandão (UFSJ)
Ranny Loureiro Xavier N. Michalski (USP)
Raphael Negri Milion (UFSCAR)
Raphaela Walger da Fonseca (UFSC)

Reila Vargas Velasco (UFRJ)
Rejane Magiag Loura (UFMG)
Renata de Vecchi (FESSC)
Renata Monte (USP)
Renato da Silva Solano (PUCRS)
Renato Martins das Neves (UFPA)
Reymard Savio Sampaio de Melo (UFRN)
Ricardo Codinhoto (University of Bath)
Ricardo Fernandes Carvalho (UFBA)
Ricardo Filipe M. da Silva Mateus (UM)
Ricardo Franci Goncalves (IFES)
Ricardo Juan José Oviedo Haito (USP)
Ricardo Mendes Junior (UFPR)
Ricardo Siloto Silva (UFSCAR)
Roberta C. Kronka Mülfarth (USP)
Roberto Barbosa dos Santos (UFAL)
Roberto Lamberts (UFSC)
Roberto Machado Corrêa (UFRJ)
Roberto Leal Pimentel (UFPB)
Rodrigo José Firmino (PUCPR)
Rosa Maria Locatelli Kalil (UPF)
Rosa Maria Sposto (UNB)
Rosane Martins Alves (UFRJ)
Rosaria Ono (USP)
Rovadávia Aline de Jesus Ribas (UFOP)
Rui Miguel Sendas Jerónimo (UP)
Ruth Cristina M. Paulino (UNAERP)
Sara Biscaya (USM)
Saulo Guths (UFSC)
Sayonara Maria de M. Pinheiro (UFES)
Sergio Fernando Tavares (UFPR)
Sergio Leal Ferreira (USP)
Sergio Roberto Leusin de Amorim (ABNT)
Sergio Scheer (UFPR)
Sheila Walbe Ornstein (USP)
Sheyla Mara Baptista Serra (UFSCAR)
Sidiclei Formagini (UFMS)
Sidnei Junior Guadanhim (UEL)
Silvia Aparecida M. G. Pina (UNICAMP)
Simone Barbosa Villa (UFU)
Simone Q. da S. Hirashima (CEFET-MG)
Stelamaris Rolla Bertoli (UNICAMP)
Tarcisio Abreu Saurin (UFRGS)
Tatiana Gondim do Amaral (UFG)
Telma Cristina P. de Carvalho (UNIARA)
Teresa Cristina F. de Q. Gaudin (UFRJ)
Tereza Maria Moura Freire (UFBA)
Thaís da Costa Lago Alves (SDSU)
Thamine de Almeida Ayoub Ayoub (UEL)
Trajano de Souza Viana (CEFET-RJ)
Ubiraci Espinelli Lemes de Souza (USP)
Valéria Azzi Collet da Graça (IFSP)
Vanda Alice Garcia Zanoni (UNB)
Vanessa Dilda (Anhembi Morumbi)
Vanessa Silveira Silva (UFBA)
Vera da C. Fernandes-Hachich (Tesis)
Vera Maria Cartana Fernandes (UPF)
Veridiana Atanasio Scalco (UFSC)
Victor F. Roriz (Fac. Int.Dom Pedro II)
Virgínia Maria N. de Vasconcellos (UFRJ)
Virgínia C. C. Marcelo (Anhembi Morumbi)
Virginia Maria Dantas de Araújo (UFRN)
Vitor Litwinczik (Anima Acústica)
Wanessa Roberta Fazinga (UNIFIL)
Washington Almeida Moura (FAPESB)
White José dos Santos (UFMG)
Wiliam Fonseca (UFSM)
Wilson Florio (UPMackenzie)
Yêda Vieira Póvoas Tavares (UPE)

.: EQUIPE DE APOIO

Rosana Dal Molin (Secretaria ANTAC)
Aparecida A. Bou Ghosn (FAUUSP)
Aparecida Hatanaka (FAUUSP)
Bruna Luz (FAUUSP)
Caroline de Castro V. Machado (EPUSP)
Cláudio Barboza Ferreira Jr. (EPUSP)
Eduardo Gasparelo (FAUUSP)
Fernanda Machado (UNICAMP)
Jeferson Bunder (FAUUSP)
Kátia Beatris Rovaron Moreira (FAUUSP)
Laís Pereira Araújo (EPUSP)
Lorena Claudia de Souza Moreira (UNICAMP)
Marcos Vargas Valentin (FAUUSP)
Mariana Auad Proença (FAUUSP)
Monica dos Santos Dolce Uzum (FAUUSP)
Paula Mota (UNICAMP)
Priscila Weruska Stark da Silva (FAUUSP)
Vera Dickhoff (FAUUSP)

.: APRESENTAÇÃO

O ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído é o maior evento brasileiro na área de Tecnologia do Ambiente Construído promovido a cada dois anos pela ANTAC -Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. O evento é destinado tanto a docentes, pesquisadores, alunos de pós-graduação e graduação, como a construtores, projetistas, consultores, técnicos de órgãos públicos e outros profissionais atuantes nas áreas de construção civil, arquitetura, habitação e outros temas correlatos.

A ANTAC, promotora do evento, é a principal associação técnico-científica brasileira no mercado da Construção de Edificações, Tecnologia de Arquitetura e Habitação, com representação em âmbito nacional em várias instituições públicas e privadas. A associação mantém projetos de divulgação de conhecimentos científico-tecnológicos como a Coleção ANTAC – edição de livros e conteúdos acadêmicos; o portal InfoHab – Centro de Referência e Informação em Habitação; o periódico eletrônico "Ambiente Construído" e as Publicações ANTAC & CBIC. A ANTAC ainda mantém parcerias com o PBPQ do Habitat – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, do Ministério das Cidades e com o HABITARE – Programa de Tecnologia de Habitação (FINEP/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação).

"Arquitetura, Engenharia e Construção" delimita um setor de atividade fortemente internacionalizado. No caso de grandes projetos, mas também em empreendimentos de menor porte e complexidade, as operações de investimento, as atividades de concepção e projeto, as contratações de obras e serviços, os processos de certificação, as cadeias produtivas em diversos segmentos, acontecem em dimensões a cada dia mais internacionais.

Vários fatores contribuem para esse quadro vigente no setor de AEC, tais como a migração de capitais dos países desenvolvidos, a demanda de infraestrutura em países da África, do Oriente Médio e América Latina, por exemplo, ou a busca de novos mercados pelos detentores de tecnologia ou de conhecimentos. No contexto brasileiro, esse movimento ocorre em ambos os sentidos; empresas e profissionais estrangeiros atuando no Brasil ou ligados a empreendimentos realizados aqui, bem como brasileiros engajados em projetos, obras, serviços e fornecimentos diversos, vinculados a países do exterior.

A proposta do ENTAC 2016 é integrar academia e mercado, buscando uma sinergia entre os agentes do setor da construção civil. Para tanto, o evento deste ano propõe a temática "Os Desafios e as Perspectivas da Internacionalização da Construção", por meio do qual pretende expor, analisar e debater, a partir de palestrantes convidados de nível internacional (keynotes), mesas redondas e sessões técnicas, os diversos aspectos desse tema, no âmbito dos empreendimentos, projetos, execução de obras, gestão de processos, dentre outras atividades, em todas as fases do ciclo de vida dos produtos da Construção Civil.

Site ANTAC:	http://www.antac.org.br
Redes Sociais ANTAC:	https://www.facebook.com/antac.ambienteconstruido
	https://plus.google.com/+PresidenciaAntac/posts
Site ENTAC:	http://www.infohab.org.br/entac/

.: CONFERÊNCIAS

New frontiers of international construction: ingredients for success

Prof. Dr. Roger Flanagan

Universidade de Reading

Boulevard Matarazzo: os desafios de um projeto internacional

Maurício Bianchi

Diretor Técnico e de Construção do Empreendimento Boulevard Matarazzo

.: SUMÁRIO

VOLUME 1

Os desafios e as perspectivas da internacionalização da construção

Exportação de serviços de arquitetura - evolução e resultados da maturidade exportadora 47
Miriam Addor, Silvio Burrattino Melhado

Diretrizes do processo decisório para a internacionalização de empresas da indústria da construção civil no Brasil 64
Paulo Eduardo Bridi, Cristine Mutti

Sinergia entre construção verde, construção enxuta e BIM para internacionalização da construção: uma revisão sistemática da literatura 74
João Bosco P. Dantas Filho, Luis Felipe Cândido, Jose de Paula Barros Neto

Internacionalização de projetos: contribuição para o estudo no contexto brasileiro e o impacto inicial no processo de projeto 86
Rafael Laurindo, Borges Gabriel, Silvio Burrattino Melhado*, Brenda Leite*

A coordenação modular como alternativa para impulsionar as exportações de componentes cerâmicos no Brasil 100
Fernanda Monteiro Ferro, Aline da Silva Ramos Barboza, Dilson Batista Ferreira

Construção internacional: Brasil, Inglaterra, Portugal e mercados em crescimento 111
Cristine Mutti, Paulo Eduardo Bridi, Alice Miranda

Uma proposta de microintervenções para melhorar a Acessibilidade Urbana da cidade de São Paulo 122
Martina Pacifici, Karin Regina de Casas Castro Marins

Argamassas - Tecnologia de materiais de construção

A eficácia da adição do TiO2 em argamassas quanto à manutenção das condições iniciais em termos da sua refletância à radiação solar 137
Sergio Roberto Andrade Dantas, Fúlvio Vittorino

Viabilidade econômica de argamassa com projeção contínua para revestimento de fachada 148
Naira Ery Asano, Mercia Barros

Inovações e soluções de concreto leve que visem conforto térmico em habitações informais: estudos de caso na cidade de Niterói/RJ 160
Carolina da Silva Leonardo, Diego Souza Caetano, Louise Land Bittencourt Lomardo, Paula de Castro Brasil

Avaliação de pastas de gesso com aditivo incorporador de ar 171
Ananda de Andrade, José Sousa, Andrea Ferraz, Nelson Olivier

Efeito do procedimento de mistura no comportamento de argamassas de revestimento industrializadas e produzidas em obra
Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa, Heloisa Fuganti Campos, Eiji Fukui, Eliziane Jubanski Martins, Jorge Christofolli, Maria Clara Pinto, Maurício Bianchini, Sarah Honorato Lopes, Thaisa Rocha, Vitor Lorival 181

Comportamento elástico de argamassas com areia descartada de fundição
Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira, Wélida de Sousa Sarro, Henrique de Lima Rocha Rocha, Gabriel Maiolli Bueno, Raquel Luisa Pereira Carnin Carnin 193

Influência da adição de aditivo retardador a partir da mucilagem da palma forrageira na pasta de gesso: análise do tempo de pega e resistência à compressão
Aline G. S. Monteiro 204

Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do tempo decorrido do seu preparo
Hergya Aparecida Keller, Patrícia Silveira Lovato 213

Desenvolvimento e análise experimental de argamassas de cal com adições de pozolanas
Marcos Martinez Silvoso, Katharine Pontes Hainfellner, Caroline Batista Chaves, Renata de Oliveira Martinho 227

Avaliação do grau de hidratação do cimento por perda ao fogo
Fábio Masuela, Gladis Camarini 243

Produção de cimento belítico a partir de resíduos industriais para uso em argamassas de restauro
Beatryz Mendes, Délio Fassoni, Rita de Cássia Alvarenga, Leonardo Pedroti, José Carlos Ribeiro 253

Comparações entre os desempenhos de domos de poli(metil metacrilato) - (PMMA) e polímero reforçado com fibra de vidro (GRP)
Thiago Omena, Claudia Oliveira, Arthur Lara 267

Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa
Paulo Passos, Helena Carasek, Gabriel Amaral 282

Argamassas contendo resíduos à base de EVA e poliéster como agregado leve
Matheus Pessanha, Daniel Trevisan, Pedro Herzer, Maria Clara Cavalini Pinto, Marienne Maron Costa 299

Avaliação das propriedades do gesso de fundição aditivado com hidrofugante
Daniel Bruno Pinto da Silva, José Getúlio Gomes, Ananda de Andrade, Davison Ferreira 312

Uma nova ferramenta para ensaios de alvenaria de blocos vazados de concreto
Eduardo Ramos Sanches, Mateus Oliveira Soriani, Guilherme Aris Parsekian 327

Efeitos da substituição de fíler calcário por rocha fosfática na obtenção de concreto autoadensável 342
Diego Rodrigues de Resende, Sheilla Pereira Vieira

Utilização do método de condutividade elétrica para análise da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. 356
Emerson José Silva, Fernanda Wanderley Corrêa Araújo, Leonardo Fagundes Rosemback Miranda, Holmer Savastano Júnior, Antonio Acacio de Melo Neto

Condutividade térmica de argamassas de revestimento: uma revisão sistemática 367
Ana Flávia da Silva Martins, Ivan Julio Apolonio Callejas, Kellen Melo Dorileo Louzich, Alceu Aparecido Cardoso, Luciane Cleonice Durante, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti

Avaliação da eficiência de pisos flutuantes com placas cimentícias com resíduo de EVA 379
André Siqueira, Fabianne Santos, Jéssica Medeiros, Aluísio Melo

Análise das propriedades termofísicas de blocos de concreto através de simulação computacional, visando à otimização do seu desempenho térmico quando adotado na envoltória de edificação na cidade de Salvador-BA 389
Camila Souza, Nícolas Araújo, Sandra Souza, Jardel Gonçalves

Conforto ambiental e eficiência energética

Identificação do ano climático de referência para Goiânia - Goiás 406
Loyde Abreu Harbich, Victor Leandro Chave

A influência da forma de prateleiras de luz na captação e distribuição interna da ventilação natural em um ambiente 417
Luísa Accioly, Poliana Oliveira, Leonardo Bittencourt

Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas, TO 428
Ygor Freitas de Almeida, Raydel Lorenzo Reinaldo, Liliane Flávia Guimarães da Silva

Estudo comparativo da eficiência energética de uma habitação popular em alvenaria e em madeira no Município de Ribeirão das Neves - MG 439
Silvia Amorim, Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Utilização de torre de vento como estratégia de ventilação natural em sala de aula 455
Nixon Andrade, Carla Matheus, Adriana Castro, Lucila Chehel Labaki

Fachadas sazonalmente adaptáveis: mapeamento sistemático da literatura 469
Beatriz Arantes, Lucila Chehel Labaki

Contribuições da legislação para o conforto termoambiental em escalas arquitetônica e urbana 481
Jaucele Azerêdo, Ruskin Freitas

Simulação computacional da envoltória de edifício público 491
Basilio Baffi, Caio Frederico Silva, Claudia Naves David Amorim

Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: uma aplicação da NBR 15575 503
Gabriele Lucas Barbosa, Mayna Lais Tenório de Araújo, Daniela Novaes Santos, Juliana Oliveira Batista

Desenvolvimento de método para medição de isolação sonora em fachadas em andares elevados atendendo à norma ABNT NBR 15575 517
Rebeca Bayeh, Maria Akutsu, Marcelo de Mello Aquilino, Elisa Morande Sales, Adriana Camargo de Brito, Fúlvio Vittorino

Estudo das medidas dinâmicas de desempenho da luz natural frente às preferências dos usuários 524
Luciana Beck, Ani Zoccoli, Fernando Pereira, Raphaela Fonseca, Ana França

Valores ambientais no projeto arquitetônico: relato de uma disciplina de projeto integrado de arquitetura e conforto ambiental 538
Amilcar Bogo, Keila Peixer, Daniela Koball

Análise da sensibilidade do RTQ-C quanto a variação da densidade de carga interna de edificações de escritórios nas zonas bioclimáticas brasileiras 1, 2 e 3 552
Mariane Brandalise, Eduardo Grala da Cunha, Silvia Pereira, Carolina Duarte

Elementos projetuais para elevação da classificação do nível de eficiência energética em conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro 568
Alice Brasileiro, Claudio Morgado, Tatiane Almeida

Avaliação e discussão sobre a classificação do nível de eficiência energética de conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro 580
Alice Brasileiro, Claudio Morgado, Tatiane Almeida, Thaísa Silva

Contribuições para o aprimoramento da norma regulamentadora NR 15 para avaliação da sobrecarga térmica de trabalhadores 591
Adriana Camargo de Brito, Maria Akutsu, Fúlvio Vittorino, Marcelo de Mello Aquilino

Avaliação de desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica 604
Rafael Cartana, Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Eduardo Berte

A influência do número de peças de dispositivos de sombreamento para o comportamento da luz solar refletida em sala de aula na cidade de Maceió 620
Marlise Carvalho, Ricardo Cabús

Contribuição dos elementos arquitetônicos da vila penteado no desempenho térmico do edifício 634
Rodrigo Cavalcante, Rodrigo Dias, Letícia Neves

Uma ferramenta para avaliação de dispositivos visuais de consumo de energia 649
Camila Cavalli, Paula Kvitko de Moura, Cecilia da Rocha

Desempenho térmico em habitações de interesse social inseridas na cidade de Joinville e recomendações para melhorias dos parâmetros mínimos construtivos 661
Rodrigo J. Cechinel, Ana M. Hackenberg, Gabriela H. Tondo

Análise de conforto térmico para diferentes estratégias de melhorias climáticas em salas de aulas: comparação entre dados técnicos e a percepção dos usuários 682
Victor Leandro Chaves, Leônidas Albano Silva Júnior, Loyde Abreu-Harbich, Maria Carolina Brandstetter

Metodologia utilizada no cálculo das resistências térmicas superficiais sugeridas pela NBR 15220:2005 – análise utilizando dados ambientais típicos do Brasil 698
Monalisa Coelho Martins, Aloísio Leoni Schmid, George Stanescu

Avaliação da aplicabilidade da NBR 15575 (2013) quanto ao desempenho térmico: Um estudo de caso em Salvador - Bahia 711
Jessica Conceição, Regina Maria Cunha Leite

Conforto Adaptativo e percepção do usuário: correspondências no estudo da biblioteca da pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo 726
Débora Costa, Aparecida Hatanaka, Flavia Elaine Aliotti Nogueira, Gustavo Panza, Marcelo Knudsen

Uso da simulação computacional na gestão pública como ferramenta auxiliar para contratação de tarifas de energia elétrica 743
Wagner Costa Oliveira, Eduardo Grala da Cunha

Avaliação do desempenho térmico de fachada com painéis leves em edificação de múltiplos pavimentos 755
Antonio Carlos da Rocha, Mercia Maria Bottura de Barros, João Roberto Diego Petreche, Brenda Chaves Coelho Leite

Ventilação natural de edifícios: revisão crítica da normalização e das metodologias de predição 765
Daniel de Oliveira Amaral, Eleonora Sad de Assis

Ofuscamento e entorno: estudo em edifícios residenciais multipavimentos 775
Lilianne de Queiroz Leal, Solange Maria Leder

Desempenho térmico por meio de medições in loco de edificações construídas em paredes de concreto na zona bioclimática 6 e 8 788
Katia Didoné, Ana Paula da Silva Milani, Sandra Bertocini

Simulações de desempenho térmico de moradias do PMCMV em diferentes zonas bioclimáticas quanto aos aspectos de implantação, materialidade e sombreamento de aberturas 802
Marianna Dorfler, Eduardo Kruger

Desempenho energoluminoso de salas de aula em latitude 15ºS 815
Luciane Durante, Ivan Julio Apolonio Callejas, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, Jocely Rosanna da Silva Nogueira

Diretrizes para intervenções na envoltória de edifícios comerciais na zona bioclimática 3 para obtenção do "nível A" pelo método prescritivo da certificação PROCEL EDIFICA 831
Danielle Eloy, Maria Akutsu

Elementos de fachada e o desempenho da iluminação natural em salas de aula: o caso do Instituto Federal do Espírito Santo - campus Colatina 843
Sirana Fassina, Andrea Laranja

Contribuição do efeito de resfriamento evaporativo para um sistema de condicionamento térmico passivo 859
Leandro Fernandes, Eduardo Kruger, Sérgio Lange

Avaliação do comportamento térmico de paredes monolíticas executadas com diferentes materiais em condições variáveis de oscilações de temperaturas superficiais 870
Pablo Raphael de Lacerda Ferreira, Vitor Muniz Henriques, Aluísio Braz de Melo, Emmily Gersica Santos Gomes

Diretrizes construtivas para cidade em clima semiárido: estudo de caso em Arapiraca-AL 881
Mônica Ferreira da Silva, Esteffany Rafaelly Santos Rodrigues, Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Iluminação natural por zenitais do tipo shed: estudo em modelos reduzidos 896
Tatiana Dias Flores, Carlos Eduardo Nunes Torrescasana, Marcelo Fabiano Costella, Adriana Freitag Migott

Integração de painéis solares à arquitetura: uma reflexão sobre seus impactos na forma e paisagem 910
Ingrid Fonseca, Alessandra Battisti, Fabrizio Tucci, Maria Porto, Priscilla Mathias

Limitações do Archsim para otimização baseada em simulação para etiquetagem residencial 921
Ligiana Fonseca, Laila Santana, Joyce Carlo

Análise do impacto de pontes térmicas no consumo de energia em edificações residenciais nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 931
Julye Freitas, Rodrigo Leitzke, Eduardo Grala da Cunha, Beatriz Gioielli

Estudo do desempenho de sistema de resfriamento com tubos enterrados em ambiente na zona bioclimática 2 947
Julye Freitas, Suzana Treichel, Renata Dalbem, Eduardo Grala da Cunha, Carolina Beltrame

A influência da vegetação no clima urbano na cidade de Palmas – TO: contribuições ao conforto ambiental urbano 959
Thyago Freitas

Reflexões sobre o uso do simulador de eficiência energética em edificações (S3E) para avaliação do nível de eficiência energética em edificações comerciais, públicas e de serviço no Brasil 972
Marina Garcia, Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Uso do resfriamento evaporativo em climas úmidos: estudo de caso em pavilhão industrial na cidade de Santa Maria/RS 985
Liége Garlet, Eduardo Grala da Cunha, Joaquim César Pizzutti dos Santos

Exploring lifecycle zero energy definitions and cumulative energy demand of buildings 997
Vanessa Gomes da Silva, Marcella Saade, Buno Lima, Maristela Silva, Natalia Nakamura

Análise do desempenho acústico das vedações verticais em instituição de ensino 1008
Fabia Kamilly Gomes de Andrade, Matheus Souza Cordeiro, Alberto Casado Lordsleem Jr.

O papel de protetores solares na eficiência energética em zona bioclimática 8: caso do novo terminal aeroportuário em Vitória-ES 1020
Alan Gonçalves Farias, Érica Coelho Pagel, Ricardo Nacari Maioli

Avaliação da disponibilidade de iluminação natural em salas de aula de instituição no sul do Brasil 1034
Giane Grigoletti, Cíntia Tamiosso

Medição da transmitância solar em sistemas de aberturas sob condições climáticas reais 1052
Grace Cristina Roel Gutierrez, Lucila Chebel Labaki

Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro 1065
Andrea Invidiata, Raquel Fernandes de Sousa, Ana Paula Melo, Michele Fossati, Roberto Lamberts

Análise de agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas 1079
Andrea Invidiata, Ana Paula Melo, Rogerio de Souza Versage, Raquel Fernandes de Sousa, Roberto Lamberts

Dutos verticais de captação de luz e ventilação em salas de aula: desenvolvimento e análise do desempenho 1095
Solange Leder, Luana Quirino, Yasmin Vaz

Estudo do sistema de iluminação e do usuário em edificação após procedimento de etiquetagem 1107
Larissa Leite, Grace Gutierrez

Renovação de ar em edifícios: comparação entre métodos de cálculo 1120
Renan Cid Leite, Anésia Barros Frota

Adensamento urbano e condições ambientais internas: a influência da morfologia urbana sobre a radiação solar e o vento para o conforto no ambiente construído 1132
Renan Cid Leite, Anésia Barros Frota

A forma urbana e o fluxo de ar em edificações: proposta de método para análise da ventilação natural urbana e sua influência em ambientes internos 1145
Renan Cid Leite, Anésia Barros Frota

Modelagem da vegetação na simulação da iluminação natural 1159
Eliana Lima, Solange Leder, Luana Quirino, Yasmin Vaz

Estudo de proteção solar e iluminação natural em edifício empresarial de Maceió – AL 1172
Dandara Lins, Juliana Batista

Sheds extratores e captadores de ar: análise da influência da velocidade dos ventos externos 1186
Marieli Lukiantchuki, Alessandra Shimomura, Fernando Marques da Silva, Rosana Caram

Desenvolvimento de um objeto de aprendizagem virtual para o ensino de conforto térmico 1199
Stefan Maier, Alice Theresinha Cybis Pereira, Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Veridiana Atanasio Scalco

A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória-ES e sua relação com o conforto ambiental 1220
Ricardo N. Maioli, Maria Cláudia S. L. S. B. Barros, Joana D'Arc P. de Barros, Isabela F. F. Moça, Igor M. Coninck, Érica C. Pagel

Comportamento térmico de duas habitações unifamiliares utilizando o sistema ETICS em Aquiraz – CE 1234
Renato Alexandre Marcelino, Renan Cid Leite

Impacto da temperatura de controle na operação das janelas e no conforto térmico para uma Habitação de Interesse Social naturalmente ventilada em São Carlos – SP 1245
Hector Fabian Marin, Maria Pilar Casatejada Gil, Karin Maria Soares Chvatal

Eficiência energética nas edificações dos correios 1258
Claudia Mello, Louise L B Lomardo

Absortância de telhas cerâmicas novas e deterioradas pela exposição às intempéries: impacto no desempenho térmico de edificações 1271
Kellen Melo Dorileo Louzich, Ana Flávia da Silva Martins, Wennder Tharso Oliveira da Silva Martins, Ivan Julio Apolonio Callejas, Luciane Durante, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti

Avaliação das condições de conforto térmico, visual e acústico em uma sala de escritório naturalmente ventilada em Florianópolis (SC) 1284
Bianca Milani de Quadros, Marina Von Meusel, Bruno Aied Passos

Avaliação da abordagem normativa da NBR 15575 para desempenho lumínico: estudo de caso em Maceió-AL 1297
Thássia C. C. Nascimento, Juliana O. Batista

Elaboração do ano climático de referência para Teófilo Otoni – MG: verificação das diretrizes construtivas propostas pela NBR 15220 1310
Camila C. Oliveira, Nayara R. M. Sakiyama, Rodrigo B. Campos, Italo B. Prates, Layane V. Miranda

Análise da resposta térmica do envoltório em um ambiente sala de aula do edifício Vila Penteado 1324
Thiago Omena, Jeferson Bunder, Silvia Duarte, Lucienne Guido, Andreia Travaglia

O efeito dos parâmetros urbanísticos na variação microclimática de um cânion urbano 1341
Ligia Parreira Muniz, Claudia Cotrim Pezzuto

Avaliação do conforto térmico de escola municipal de educação infantil em Pelotas/RS - ZB2 1354
Jaqueline Peglow, Viviane Ritter, Amanda Ronca, Renata Pereira, Eduardo Grala da Cunha, Paulo A. Rheingantz

Exposição ocupacional ao calor e conforto térmico em galpões comerciais sob ventilação natural: estudo para a condição climática quente-seca 1370
Milton Moreira Peixoto Neto, Luciane Durante, Ivan Julio Apolonio Callejas, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, Carolina Mendonça Zina, Larissa Mendes Medeiros, Jhonatha Correia Volela

Desempenho térmico de fachadas ventiladas como proposta de retrofit em edifícios comerciais na cidade de São Paulo 1385
Emerson Antônio Penso, Martin Ordenes Mizgier

Viabilidade do uso de vidros insulados para o clima brasileiro 1400
Mônica Pinto, Fernando Westphal

Contribuição para o processo de retrofit de edifício de escritórios: eficiência de sistema de proteção solar 1415
Isabel Piúma Gonçalves, Eduardo Grala da Cunha, Suzana Zehetmeyer Treichel

Edifício comercial: uso de proteção solar na avaliação da iluminação e refrigeração através de simulação 1429
Juliana Queiroz, Camila Thieme

Avaliação de desempenho térmico de uma edificação em contêiner 1441
Raquel Rancura, Vinicios Alves

Análise do desempenho luminoso de sheds captadores de luz natural quanto a sua curvatura 1457
Pedro Vìtor Sousa Ribeiro, Orestes Mesquita Kunze Bastos, Ricardo Carvalho Cabus

Contribuição da mesa d'agua na análise da geometria de sheds extratores e captadores de ar para ventilação natural 1467
Pedro Vìtor Sousa Ribeiro, Leonardo Salazar Bittencourt

Influência do conforto térmico na saúde dos idosos: Estudo de caso em unidades habitacionais do Residencial Agreste - Arapiraca-AL 1480
Esteffany R. S. Rodrigues, Maria Jailza D. Silva, Nathália K. D. Souza, Mônica Ferreira da Silva, Ricardo V. R. Barbosa

Modelos de referência de edificações educacionais: definição de tipologias e determinação do desempenho energético 1496
Ricardo Rupp, Thamirys Vieira, Raphaela Walger da Fonseca, Elisa Beck, Roberto Lamberts

Cobogó computacional: da computação material e da atualização de elementos vazados na arquitetura 1509
Ernesto Sant'Ana, Robson Canuto

Panorama do desempenho acústico de edificações: resultados de testes de isolamento sonoro em campo 1532
Wylliam Santana, Luiz Mauricio Maues, Marcelo Picanço

Panorama do desempenho acústico de edificações: percepção de conforto acústico do usuário e comportamento do morador em níveis crescentes de incômodo 1542
Wylliam Santana, Luiz Mauricio Maues, Marcelo S. Picanço

Janelas em edificações multifamiliares e o conforto térmico 1551
Amabeli Dell Santo, Edna Aparecida Nico-Rodrigues, Cristina Engel de Alvarez

Diretrizes para projetos arquitetônicos visando o aproveitamento da iluminação e ventilação natural em salas de aula: estudo de caso 1565
Paula Sardeiro, Rosana Bacicheti, Lucas da Silva

Desempenho geométrico de um brise soleil: um estudo sobre seu impacto na iluminação e ventilação natural em uma sala de aula 1577
Paula Sardeiro, Rosana Bacicheti, Lucas da Silva

Fachadas adaptativas: arquitetura dinâmica orientada ao desempenho 1587
Renata Scheliga, Vanderley John

Portal R3E: eficiência energética para todos 1602
Anaísa Rocha Lima Fernandes da Silva, Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues, Aldomar Pedrini

Otimização do desempenho térmico de fechamentos verticais durante o processo de projeto de uma habitação de baixo impacto ambiental em clima quente e úmido 1614
Marcela Silva, Solange Goulart, Aldomar Pedrini

Avaliação das condições de conforto térmico em sala de estudos: aplicabilidade dos modelos estático e adaptativo comparados aos dados comportamentais do usuário 1627
Gabriela Silva Goedert, Felipe Finger, Natália Rosa

Adequabilidade da iluminação natural: avaliação lumínica de sala de aula considerando a satisfação do usuário 1644
Gabriela Silva Goedert, Fernando O. Ruttkay Pereira, Raphaela Walger Fonseca

Estabelecimento de parâmetros de desempenho térmico para novas edificações brasileiras na Antártica 1664
Bruna P. Sirtuli, Filipe Galina Costalonga, Cristina Engel de Alvarez, Edna Aparecida Nico Rodrigues

Ventilação natural e legislação urbanística brasileira: análise de edificações residenciais em Maceió-AL 1679
Marcos S P Sobrinho, Isabela Cristina Passos, Alexandre da Silva Sacramento, Osmar Damasceno Brandão

O uso de "pigmento frio" na formulação de tintas para aplicação em coberturas e fachadas 1692
Ana Souza, Kai Loh

Estudo experimental do comportamento de dutos de luz e o aproveitamento de luz natural utilizando imagens HDR 1700
Priscila de Souza, Fernando O. Ruttkay Pereira

Técnica e instrumentos de pequeno porte acopláveis em smartphones para auxiliar projetos arquitetônicos no intuito de promover conforto térmico 1712
Sandra Souza, Patrícia Farias, Camila Souza, Carina Santos, Luciana Lima, Jardel Gonçalves, Maria Carvalho

Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis 1726
Débora Gracielle Stiegemeier de Liz, Martin Ordenes Mizgier, Saulo Guths

Ferramenta computacional para desempenho acústico de edificações habitacionais 1740
Vanessa Takahashi, Stelamaris Rolla Bertoli, Daniel Moreira

Desafios da política pública local para melhoria do conforto acústico urbano da cidade de Macapá/AP 1755
Patrícia Helena T. Takamatsu

Comparativo entre variáveis luminotécnicas e percepção subjetiva da luz: experimento em câmara climática 1766
Cintia Tamura, Eduardo Kruger

Impactos dos edifícios isolados no conforto ambiental de áreas originalmente residenciais de baixo gabarito 1783
Wennder Tharso Oliveira da Silva Martins, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, Luciane Durante, Ivan Julio Apolonio Callejas, Malu Herrera Scaffi, Kellen Melo Dorileo Louzich

Absorção sonora de painéis modulares para muros vivos 1795
Rodolfo Thomazelli, Fernando Durso Neves Caetano, Stelamaris Rolla Bertoli

Desempenho de habitações de interesse social frente às mudanças climáticas 1806
Maria Andrea Triana Montes, Roberto Lamberts, Paola Sassi

Desempenho de abrigos alternativos para termo-higrômetros
Marcos de Oliveira Valin Jr, Karyn Ferreira Antunes Ribeiro, Diana Carolina Jesus de Paula, Flávia Maria de Moura Santos, Angela Santana de Olivera, Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, José de Souza Nogueira 1821

Proposta de um dispositivo para aumentar o desempenho de janelas e fachadas em termos de ventilação natural e auxiliar no controle da radiação solar direta 1839
Egon Vettorazzi, Helenice Maria Sacht, Marcelo Langner, Darwin Jaime Camacho

Avaliação do desempenho termoenergético de modelos de referência de escritórios elaborados com base em levantamento de características construtivas nacionais 1853
Raphaela Walger Fonseca, Julia Bruch, Ricardo Rupp, Elisa Beck, Letícia Eli, Mirella Improta, Veridiana Scalco, Roberto Lamberts

Análise da influência da ocupação do solo no microclima de quatro regiões distintas de Cuiabá-MT
Deborah C. Zanatta, Diana C. J. Paula, Eduardo M. Campos, Flávia M. M. Santos, Gabriely A. Bento, José S. Nogueira, Mariana Y. Hondo, Marta C. J. A. Nogueira, Victor A. B. R. Santos, Natallia S. Souza 1867

Microclima nos espaços urbanos abertos: um estudo comparativo de medições em campo aberto x registros de estação meteorológica 1884
Helena Cristina Padovani Zanlorenzi, Demóstenes Ferreira da Silva Filho

Discussão do desempenho da chaminé térmica como estratégia de ventilação natural 1898
Suzana Zehetmeyer Treichel, Julye Freitas, Renata Dalbem, Eduardo Grala da Cunha, Carolina Machado Beltrame

VOLUME 2

Desenvolvimento sustentável

Impactos da adoção de BIM no processo de avaliação de energia incorporada e emissões de GHGs no ciclo de vida de edificações 1910
Natalia N. Barros, Vanessa Gomes da Silva, Regina C. Ruschel

Emprego do Sinapi para quantificação de emissões de CO2: estudo de caso para o chapisco em uma habitação unifamiliar 1922
Lucas Rosse Caldas, Débora Mara Caldeira, Rosa Maria Sposto, Pablo Paulse, Michele Tereza Carvalho

Avaliação do ciclo de vida energético de telha termoacústica com poliestireno expandido e telha cerâmica tipo plan em edificação unifamiliar 1935
Débora Mara Caldeira, Rosa Maria Sposto, Lucas Rosse Caldas

Aplicação do selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal em um projeto de uma residência multifamiliar financiada pelo programa "Minha Casa Minha Vida" - estudo de caso 1952
Davi Cartaxo, Geórgia Jereissati, Maria Morais

Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e de custos de diferentes formas para paredes de concreto moldadas no local 1966
Victor Motta do Valle Castro, Rosa Maria Sposto, Gilson Marafiga Pedroso, Vamberto Machado dos Santos Filho, Lucas Rosse Caldas

Microclima urbano: comparação antes e pós intervenções urbanísticas em Cuiabá-MT 1979
Diana Carolina Jesus de Paula, Soneize Auliadora de Miranda, Natallia Sanches E Souza, Marcos de Oliveira Valin Jr, José de Souza Nogueira, Flávia Maria de Moura Santos, Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

A avaliação do ciclo de vida (ACV) como ferramenta de análise do desempenho ambiental de edificações 1990
Patricia Evangelista, Ednildo A. Torres, Jardel Gonçalves

Compensação ambiental de empreendimentos: a experiência internacional 2002
Viviane Miranda Araujo Fiorani, Vahan Agopyan

Agricultura urbana, seus benefícios e sua utilização na cidade de Porto Alegre/RS 2014
Eliane Franz, Alessandra Paim

Panorama Nacional das Edificações Públicas Federais com Foco em Etiquetagem de Eficiência Energética: Oportunidades e Desafios 2028
Anderson Gomes, Cláudia Amorim

Retrofit visando a sustentabilidade: proposta de adequação de uma escola estadual de ensino médio 2045
Renata Neves Holz, Aline Sauer, Sandra Coutinho, Fabrícia Delfino Rembiski

A praça como instrumento de educação ambiental: uma proposta para Santa Maria de Jetibá- ES 2059
Mônica Jacob, Érica Coelho Pagel

O uso do BIM para o retrofit sustentável 2072
Laura Larivoir

Aplicação de materiais e técnicas sustentáveis em uma obra de retrofit de uma unidade hoteleira – estudo de caso 2085
Rodrigo Linhares, Geórgia Jereissati, Tiago Morais

Avaliação do ciclo de vida de emissões de CO2 e desempenho térmico de habitações: estudo de caso do sistema construtivo Casa Express na cidade de Teresina – PI 2098
Julia Lira, Lucas Caldas, Ana Lucia Silveira, Rosa Sposto

Simulación cambio climático y edificación: evaluación ambiental estratégica aplicada a un programa habitacional en Montevideo 2111
María Lopez, Alicia Picción

Edificación y susentabilidad: Evaluación Ambiental Estratégica aplicada a un programa habitacional en Montevideo 2126
María Lopez, Alicia Picción

Tecnologia apropriada na construção com terra – taipa e blocos de terra comprimida 2138
Leonardo Ribeiro Maia, Obede Borges Faria, Antonio Gil da Silva Andrade

O processo de elaboração das políticas ambientais da universidade de São Paulo: o papel da universidade como laboratório para as cidades 2150
Romero Marcelo de Andrade, Kronka Mülfarth Roberta Consentino

Análise da correlação entre o nível de efetividade dos processos e em meio ambiente, saúde e segurança na construção civil 2163
João Martins Portelinha Neto, Alfredo Iarozinski Neto, Alessandra Tourinho Maia

Light steel framing: uma alternativa para os desperdícios e resíduos dos materiais de construção 2175
Bárbara Holzmann Mass, Sergio Fernando Tavares

Responsabilidade social e ambiental no setor da construção civil: canteiros de obras no distrito federal 2185
Juliana Abrahão Kohlrausch Vitali Mendes, Vamberto Machado Santos Filho, Lucas Rosse Caldas

Comparação de impacto ambiental de sistemas construtivos de paredes utilizando Avaliação do Ciclo de Vida Modular 2198
Aline Miranda, Andrea Naguissa Yuba

Técnicas eco eficientes aplicadas em edificações 2213
Matheus Muller, Márcia Freitas

Comparação entre guias de coberturas verdes 2225
Priscila Nakamura, Andrea Naguissa Yuba

O edifício sustentável e a qualidade do ar interno 2235
Erica Coelho Pagel, Cristina Engel de Alvarez, Neyval Costa Reis Júnior

Sustentabilidade ambiental para projetos de edificações residenciais no contexto climático de Maceió-AL 2246
Marcelle Maria Pais Silva Rebêlo, Gianna Melo Barbirato

Desempenho térmico do sistema de vedação vertical e emissões de CO2: estudo de caso para uma edificação escolar localizada em Goiânia - GO 2260
Pablo Paulse, Lucas Caldas, Rosa Sposto, Karla Hora

Selo casa azul: engenharia civil e sustentabilidade, uma parceria que pode dar certo 2272
Aldreen Calábria Soares Santos, A. Motta

Ecoparques tecnológicos: caracterização e principais estratégias sustentáveis a serem adotadas 2289
Douglas Santos Salvador, Ricardo Siloto Silva

Influência do método de dimensionamento da área coletora prescrito pela lei solar de São Paulo na implantação de sistemas de aquecimento solar de água em edificações na cidade de São Paulo 2303
Paulo José Schiavon Ara, Daniel Setrak Sowmy

Naturação em jardins terapêuticos no contexto socioambiental de unidades hospitalares 2314
Viviane L. X. Shan, Pedro Garrido Neto, Elaine G. Vazquez

Princípios de sustentabilidade como indutores da seleção tecnológica em projetos de arquitetura de edifícios 2328
Carla A. Silva, Mercia M. S. B. Barros

Aspectos metodológicos para a realização de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para produtos de construção 2339
Fernanda Silva, Rachel Arduin, Caroline Souza, Laís Vinhal, Cláudia Teixeira, Luciana Oliveira

Interfaces ambientais para mudança de comportamento e redução do consumo de recursos 2351
Helena Utzig, Cecilia Gravina Rocha

Sustentabilidade ambiental da arquitetura vernácula em Arequipa – Peru 2362
Marco Antonio Vilca Mamani, Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, Marcos Martinez Silvoso

Estudo sistemático sobre avaliação do ciclo de vida energético em edificações 2377
Carolina Mendonça Zina, Luciane Durante, Ivan Julio Apolonio Callejas, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, Jhonatha Correia Vilela, Larissa Mendes Medeiros

Durabilidade das construções

Estudo das temperaturas superficiais das fachadas com emprego da simulação higrotérmica 2387
Livia Agostinho, Julia Lira, Francielle dos Santos, Vanda Zanoni, Elton Bauer

Edificações em madeira e preservação – o uso de termografia na detecção de patologias em madeiras 2399
Cézar Figueredo, Edgar Carrasco, Cynara Bremer

Condições de contorno lateral dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico 2413
João Heitzmann Fontenelle, Cláudio Vicente Mitidieri

Influência do uso de impermeabilizante por cristalização na penetração de cloretos em concretos 2424
Vanessa Giaretton Cappellesso, Denise Carpena Coitinho Dal Molin, Angela Borges Masuero, Natália dos Santos Petry

Avaliação do desempenho das habitações do Programa Minha Casa Minha Vida nas cidades de Florianópolis e Criciúma, Santa Catarina - estudos de caso 2438
Elaine Guglielmi Pavei Antunes, Luisa Helena Marcelino, Humberto Ramos Roman, Alan Paskieviski Machado, Daiane Santos da Silva Goudinho

Estudo comparativo entre concreto usinado e concreto produzido no canteiro de obras 2452
Lucas Fernando Krug, Maxoel Habitzreiter, Bruna Gioppo Bueno

Identificação de fenômenos de pré-patologia nas fachadas dos edifícios – uma contribuição para a durabilidade das construções 2460
Mayara Santos, Valéria Oliveira, Elaine Henrique, Elton Bauer, Michele Carvalho

O uso da termografia infravermelha para detecção de manifestações patológicas 2473
Arthur José da Silva, Diego José Araújo Viégas, Yêda Vieira Póvoas

Desafios e contribuições: estudo de degradação das edificações por meio de simulação higrotérmica 2488
Vanda Zanoni, José Manoel Sánchez, Elton Bauer

Qualidade do projeto e avaliação pós-ocupação

Metodologia de avaliação da energia solar antes dos primeiros esboços 2499
Ana Lígia Papst de Abreu, Victor Andreas Rocha Baumann, Felipe Góes, Luciano D'Avila Dodl

Requalificação de unidade de acolhimento institucional para crianças e adolescentes: abordagem em Juiz de Fora, MG, a partir do conforto e psicologia ambiental 2512
Mariana Almeida, Letícia Zambrano

Orientação espacial sob o ponto de vista da acessibilidade: caso de um terminal aeroportuário 2535
Isabela Andrade, Vera Helena Bins Ely, Mayara Zanchin, Italo Rodeghiero Neto

Avaliação do desempenho de edifícios altos quanto ao uso 2547
Fabiana Antocheviz, Antônio Tarcísio Reis, Sandra Becker

Análise probabilística e mapeamento da origem de manifestações patológicas identificadas no pós obra 2559
Gustavo Arantes, Ruany Ferreira, Maria Carolina Brandstetter

Preparação da execução de obras (PEO): estudos de caso na cidade de Goiânia-GO 2575
Aline Valverde Arrotéia, Tatiana Gondim do Amaral, Silvio Burrattino Melhado

A avaliação do desempenho em uso dos sistemas metroferroviários a partir da jornada do usuário 2587
Maria Beatriz Barbosa, Sheila Walbe Ornstein

Os enfoques racional e reflexivo e sua relação com a gestão de projeto em arquitetura 2601
Gil Barros, Tatiana Sakurai

Percepção olfativa de usuários cegos na análise da estética do espaço urbano 2612
Celina Barroso, Antônio Tarcísio Reis

Cálculo do indice de acessibilidade destinado aos pedestres em uma cidade de pequeno porte – Pederneiras/SP 2622
Fabiana Benevenuto Faustini, Marina Lisboa Maia, Renata Cardoso Magagnin

Análise de padrões de fissuração presentes em elementos estruturais a partir de regressão logística para amostras desbalanceadas 2636
Letícia Ramos Berr, Jordana Bazzan, Débora R. Dadalt, Carlos Torres Formoso

Análise dos efeitos de ruídos comuns ao ambiente construído no sentimento dos usuários 2648
Ana Paula Bonini Penteado, Alfredo Iarozinski Neto

Um estudo exploratório sobre o processo de projeto de obras públicas usando o RDC – Regime Diferenciado de Contratação 2661
Flavia Camelo, Sandra Bomtempo, Paulo Andery

Seleção tecnológica de sistemas de fachada para edifícios comerciais e institucionais 2672
Marília Carraro, Luciana Alves de Oliveira

Avaliação do binômio sustentabilidade e biossegurança no desenvolvimento de projetos arquitetônicos de laboratórios de pesquisa médica na FIOCRUZ 2683
Márcia Castilho Correia, Bianca M. F. Leal

Configuração das áreas de lazer dos edifícios verticais multifamiliares contemporâneos: estudo de caso em Maceió-AL 2696
Marta Cavalcante, Alexandre Toledo

Avaliação do tempo de reverberação e inteligibilidade da fala em salas de aula: estudo de caso em programa de pós-graduação 2715
Guilherme Coelho, Thauler Souza, Vamberto Machado, Rosa Sposto

Avaliação pós-ocupação de residências executadas no sistema Light Steel Framing 2730
Luana Costa, Patrícia Lovato, Thaiana Centofante Costa

A norma de desempenho e as alterações no processo de projeto das empresas construtoras de pequeno e médio porte 2743
Ana Cláudia Cotta, Paulo Roberto Pereira Andery

Arquitetura escolar e a inclusão de alunos com deficiência intelectual e autismo: estudo de caso em Juiz de Fora 2754
Débora Rodrigues Cruz, José Gustavo Francis Abdalla, Katiuscia Cristina Vargas Antunes

O espaço arquitetônico e o uso dos espaços coletivos exteriores dos conjuntos habitacionais do PAR em Pelotas - RS 2767
Vitória Borges da Fonseca Cumerlato, Nirce Saffer Medvedovski, Célia Castro Gonsales, Hélen Vanessa Kerkhoff, Elisa Santos Guimarães

Percepção do usuário quanto à luz natural proveniente de aberturas zenitais 2780
Auriele F. Cuti, Celina Maria B. Correa

O vidro e suas relações cromáticas na arquitetura contemporânea na cidade de São Paulo 2797
João Carlos de Oliveira Cesar

Desenho Universal como mediador das relações entre tecnologias assistivas e ambientes domésticos 2809
Tulio M. de S. Tiburcio, Rodrigo B Mendes, Sandro Ferreira Souza, Talita da Conceição de Oliveira Fonseca

Avaliação da qualidade do espaço urbano quanto ao risco de quedas de idosos 2824
Tulio M. de S. Tiburcio, Talita C O Fonseca, Aline W B Carvalho, Rodrigo Bicalho Mendes, Sandro Ferreira Souza

Contribuição da automação residencial na solução de problemas de acessibilidade no cotidiano do idoso 2837
Tulio M. de S. Tiburcio, Sandro F Souza, Talita da Conceição de Oliveira Fonseca, Rodrigo Bicalho Mendes

Relação entre o espaço da sala de aula, as novas tecnologias e o ensino de projeto de arquitetura 2851
Tulio M. de S. Tiburcio, Zoleni L Braz, Maria Luiza Rodrigues Natalino

A tomada de decisão na previsão da vida útil de projeto para edificações mais sustentáveis 2864
Ludmila de Souza Freitas, Aloísio Leoni Schmid, Roberto Caldeira da Silva

Desenvolvimento de um modelo para coordenação de projetos de edificações em obras de reforma referenciado na ABNT NBR 16280:2015 2879
Arthur César Esteves Ottoni Barbosa, Paulo Roberto Pereira Andery

Estruturação do processo de projeto executivo de obras de infraestrutura de transporte subterrâneo: estudo de caso na Linha Lilás do Metrô de São Paulo 2894
Tiago de Vasconcelos Gonçalves Ferreira, Leandro Santos Filgueiras, Silvio Burrattino Melhado

Percepção de conforto ambiental em espaços subterrâneos 2907
Eliane Franz, Betina Martau

Avaliação pós-ocupação de edifício de apartamentos antigo na cidade de São Paulo: o uso das opiniões dos usuários na reabilitação de edifícios 2919
Walter J. F. Galvão, Sheila Walbe Ornstein

Oferta de comércio e serviços em edifícios verticais de uso misto: investigação nas áreas comuns em dois exemplares de Maceió/AL 2931
Luciana Gavazza, Alexandre Toledo

A permanência espaço-temporal do edifício escolar - propostas de adequação de usos em uma escola pública de ensino fundamental do Rio de Janeiro. 2946
Rafael Ferreira Diniz Gomes, Giselle Arteiro Nielsen Azevedo

Avaliação pós-ocupação em bibliotecas ferroviárias: o caso dos acervos paulistas 2959
Samir Gomes

Mutirão autogerido versus Habitação de Interesse Social promovida pela COHAB-SP: Uma análise comparativa na escala da unidade habitacional 2971
Larissa Gonçalves, Luci Bonini

Avaliação da qualidade de vistas a partir de apartamentos em edifícios altos 2982
Debora Gregoletto, Antonio Tarcisio Reis

Qualidade do projeto: análise dimensional das Habitações de Interesse Social na cidade de Maceió - AL entre os anos de 1964 e 2014 2995
Flavia Maria Guimaraes Marroquim, Gianna Melo Barbirato

MMental: aplicativo para análise da percepção do coletivo quanto à legibilidade do ambiente construído 3007
Elisa Santos Guimarães, Hélen Vanessa Kerkhoff, Natália Toralles dos Santos Braga, Nirce Saffer Medvedovski, Vitória Borges da Fonseca Cumerlato

O desempenho, sob o enfoque ergonômico, de edifícios ícones da arquitetura modernista brasileira, em São Paulo, produzida entre 1930 e 1964: edifícios de uso comercial e de serviço 3019
Barbara Iamauchi Barroso, Roberta Consentino Kronka Mülfarth

Elaboração de questionário como ferramenta auxiliar na avaliação do conforto acústico em escolas 3037
Cristina Yukari Kawakita Ikeda, Rosaria Ono, Fúlvio Vittorino

Avaliação de desempenho térmico de edifícios habitacionais multifamiliares em Brasília: o caso do Setor Noroeste 3049
Pammila Japiassú, Mariana Emídio Guimarães, Rosa Maria Sposto, Claudia Naves David Amorim

Mobiliário urbano no espaço público de comunidades do PAC-urbanização de assentamentos precários: o caso PAC-Anglo, Pelotas, RS 3065
Hélen Vanessa Kerkhoff, Elisa Santos Guimarães, Natália Toralles dos Santos Braga, Nirce Saffer Medvedovski, Vitória Borges da Fonseca Cumerlato

O morador e a moradia: um estudo de caso no PMCMV em Cuiabá-MT 3081
Louise Logsdon, Rodrigo Paiva, Douglas Gallo, Daniel Ferreira

Segurança das pessoas e do patrimônio em parque urbano: cercar ou manter aberto 3095
Claudia Adriana Nichetti Marques, Amanda SchÜler Bertoni, CÁssia Morais Mano, AntÔnio TarcÍsio da Luz Reis

Minha casa minha vida: análise da percepção de valor sobre as áreas comuns 3108
Laura Marques, Luciana Miron

Mapeamento e análise do processo de projeto de estruturas metálicas com foco na integração – estudos de casos múltiplos 3121
Renata Martini, Cícero Starling, Paulo Andery

Avaliação pós-ocupação de projeto padrão Proinfância: tecnologias para auxiliar uma abordagem multimétodos 3133
Maria Luiza Natalino, Vinícius Avila, Tulio M. de S. Tiburcio, Zoleni Lamim Braz

Pesquisa bibliométrica sobre Target Value Design 3146
Antônio Arthur Fortaleza Neves, Raísse Layane de Paula Saraiva, Mariana Lira Comelli, Domingos Sávio Viana de Sousa, José de Paula Barros Neto

Condições ambientais e percepção do conforto térmico: estudo de caso com trabalhadores de escritórios 3155
Lumy Noda, Amanda V. P. Lima, Natália Luna, Milena Sá Braga, Carolina Ramos, Solange Leder

O usuário e o seu comportamento na avaliação da iluminação da biblioteca da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo -FAU Maranhão, SP 3170
Flavia Nogueira, Aparecida Hatanaka, Débora Costa, Gustavo Panza, Marcelo Knudsen

Projeto Integrado aplicado a projetos de reabilitação 3191
Ana Beatriz Oliveira, Tamine Manzin, Marcelo Giacaglia, Claudia Oliveira, Silvio Burrattino Melhado

Contribuições da tecnologia BIM para o planejamento de um empreendimento público 3206
Edson Oliveira, Júlio Santana, Débora de Gois Santos

Aprimoramento de metodologia para aplicação de pesquisa de campo em segurança contra incêndio utilizando os instrumentos de wayfinding 3219
Rosaria Ono, Katia Beatris Moreira

Contribuição ao estudo do processo de projeto de instalações 3230
Gabriela Pinheiro, Paulo Andery

Avaliação da sensação de conforto térmico do usuário de uma habitação faixa 1 do programa minha casa minha vida na cidade de Pelotas-RS: estudo de caso do residencial jardins do obelisco 3241
Jones Vieira Pinto, Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva, Vitória Borges da Fonseca Cumerlato

Gestão de equipes no processo de legalização de projetos de edificações utilizando a plataforma BIM 3255
Eduardo Ribeiro dos Santos, Técia Maria Pereira Duarte, Monica Santos Salgado

A simulação como ferramenta para a identificação dos requisitos dos usuários idosos em apartamentos 3265
Rodrigo Rodrigues, Cesar Imai

Mapeamento da complexidade do processo de projeto de edifícios inteligentes 3276
Débora S Olevate, Tulio M. de S. Tiburcio, Débora Mela, Denise Mônaco Santos

Percepção da luz e da cor em setor oncológico 3288
Ana Paula Santos, Renan Yokemura Marques, Celina Correa, Natalia Naoumova, Livia Bender

Desempenho de edificações residenciais: projetistas e empresas construtoras 3299
Débora de Gois Santos, PatrÍcia Carvalho, Emerson Carvalho, LaÍs Indiana Ferreira, Marina Viana

Gestão da manutenção e a NBR 15.575/2013 3311
Flávia Santos, Maria Aparecida Steinherz Hippert

Avaliação funcional e ambiental do PMCMV: o caso do Residencial Jardim Sucupira 3321
Rita de Cássia Pereira Saramago, Simone Barbosa Villa, Gabriela Barros Portilho

APO sobre inclusão: o Desenho Universal como ferramenta em casa de acolhimento institucional 3337
Aline Savi, Marta Dischinger, Lays Juliani Hespanhol

Gestão de riscos e riscos de gestão em projetos industriais: estudos de caso 3348
Tassia Silva, Silvio Burrattino Melhado

Arquitetura escolar Waldorf, opiniões e preferências de seus usuários 3360
Thaís Regina Silva Cardoso E Oliveira, Cesar Imai

Análise de pós-ocupação de áreas de convívio em ambientes universitários 3374
Ana Lucia Silveira, Isadora Costa, Romulo Marques

Ambiente de idosos e a ferramenta do poema dos desejos 3388
Elzani Sobral, Marie Monique Paiva, Vilma Villarouco

Avaliação da legislação de segurança contar incêndios: estudo dos requisitos para dimensionamento de saídas de emergência 3400
Aline Sayuri Takeda, Rosária Ono

Avaliaçãp pós-ocupação em hospitais complexos 3412
Andrea D. Leitner Thomazoni, Sheila Walbe Ornstein

Projeto de saídas de emergência: estamos considerando as crianças? 3428
Marcos Valentim, Rosaria Ono

Inovação tecnológica na avaliação pós-ocupação: ferramentas digitais e interativas 3439
Simone Barbosa Villa, Gabriel Pacelli Naves Ribeiro, Larissa Rodrigues Salustiano, Sabrina Maia Lemos

Luz e cor em aparatos de exposição impressa: contrastes e percepções 3453
Renan Yokemura Marques, Celina Correa

VOLUME 3

Gestão e economia da construção

Mapeamento sistemático de literatura sobre parceria público-privada 3463
Henrique Agostinho, Ellen Argôlo

Comparação de modelos contratuais na construção civil: um mapeamento sistemático de literatura 3476
Henrique Agostinho, Denis Granja

Análise do impacto das certificações de qualidade nas características organizacionais em empresas de construção civil 3489
Bruna Barbosa Fantoni, Simone do Amaral Cassilha, Alfredo Iarozinski Neto

Análise do impacto financeiro e causas de aditivos contratuais em um caso de obra privada 3501
Maria Carolina Brandstetter, Lorena Carvalho, Daniela Oliveira, Icaro Pratti

Mapeamento sistematizado da literatura com base no custeio meta e custeio Kaizen no âmbito das habitações 3515
Raquel Bueno, Maria Carolina Brandstetter

Análise de inovações propostas para a gestão de obras públicas – estudo de caso do programa centro de iniciação ao esporte 3530
Débora Mara Caldeira, Alexandre Fernandes Ono, Kennedy Francisco Silva

Programação de um projeto de Habitação de Interesse Social com base na relação ótima tempo-custo 3547
Thaylor Cardoso Martins, Thalys Feitosa, Denilson Costa da Silva

Avaliação de desempenho dos fornecedores de revestimentos cerâmicos para a construção civil 3563
Ada Catarina Soares de Sena Costa, Mariana Lira Comelli, Isabelly Christiny Monteiro de Souza Pinto, Antônio Arthur Fortaleza Neves, Vanessa Ribeiro Campos

Verificação da adequação e implantação de PCMAT de acordo com o porte da obra 3572
Marcelo Fabiano Costella, Daniela de Lourdes Barboza Brito da Silva, Silvio Edmundo Pilz, Heleia Bortolosso, Simone Rossi

Investigação do comportamento enxuto em obras de paredes de concreto moldadas no local 3586
Herbert Cruz, Débora de Gois Santos, Luciano Vasconcelos, Rafaela Santos

Identificação de conceitos enxutos: estudo de caso em uma obra de paredes de concreto 3598
Herbert Cruz, Rafaela Santos, Luciano Vasconcelos, Laynara Vieira, Débora de Gois Santos

Variação da produtividade da mão-de-obra em função da tipologia adotada para a estrutura de concreto armado 3609
Mariana Damião, Talitha Nascimento, Ubiraci Souza, Camila Kato

Análise da influência das práticas enxutas na gestão sustentável do canteiro de obras 3622
Rodrigo de Brito Souza, Elaine Pinto Varela Alberte

Perfil do trabalhador da construção civil na cidade de Belém 3633
Renato de Melo Seixas, Pedro Santos Valente, Matheus Marinho Rios, Wylliam Bessa Santana, Luiz Maurício Maués

Um estudo bibliográfico da experiência internacional na estruturação de projetos de parceria público-privada e suas aplicações ao setor brasileiro 3645
Guilherme de Oliveira Coelho, Michele Tereza Marques Carvalho

Gerenciamento de riscos relacionados aos trabalhos em altura na fase de concepção do projeto de um edifício comercial 3656
Mariane de Pieri, Gustavo de Lima Torres, Jose Ilo Pereira Filho

Custos de ensaios em obras públicas que utilizam recursos do Orçamento Geral da União (OGU) 3669
Alexandre David Felisberto, Luis Alberto Gómez, Camila Isaton, Fernanda Fernandes Marchiori

Modelagem BIM para orçamento operacional 3680
Thalmus M. Fenato, Maria B. Barison, Fernanda Saffaro

Aprimoramento da gestão de obras de infraestrutura por meio de indicadores de produtividade: estudo de caso na execução de um viaduto 3696
Maria Luiza Soares Fernandez, Fernanda Fernandes Marchiori, Rúbia dos Santos, Antônio Edésio Jungles

Abordagens de custo e valor em projetos de Habitação de Interesse Social 3710
Aline Fróes de Souza Moraes, Ariovaldo Denis Granja

Variáveis e índices geométricos de projeto arquitetônico relacionados ao custo de empreendimentos residenciais 3722
Aline Fróes de Souza Moraes, Flavio Augusto Picchi, Ariovaldo Denis Granja

Diagnóstico dos pontos de disposição de resíduos da construção civil na cidade de Americana/SP 3733
Sarah Gabriela Bispo da Rocha, Adriana Petito de Almeida Silva Castro

Produtividade na execução de revestimentos cerâmicos de empresas subempreiteiras 3749
Fabia Kamilly Gomes de Andrade, Alberto Casado Lordsleem Jr.

Avaliação de riscos de uma obra pública educacional na fase de execução 3763
Priscilla de Mattos Hamel E Silva, Antônio Edésio Jungles, Rúbia dos Santos, Fernanda Marchiori

Roteiro para estudo de viabilidade de empreendimentos imobiliários residenciais 3780
Maria Aparecida Steinherz Hippert, Gustavo Brega Quinet Andrade

O gerenciamento do tempo em uma empresa de construção civil segundo o PMBOK 3791
Maria Aparecida Steinherz Hippert, Edmar Antônio Mendes Carvalho

Impactos da produtividade e consumo de materiais no serviço de alvenaria de vedação a partir do processo de aferição do SINAPI 3802
Michelle Kemper Campos de Melo, Michele Tereza Marques Carvalho

Cumprimento da NR-18 pelas empresas construtoras da Grande João Pessoa: uma realidade positiva 3820
Mirela Medeiros, Meryhelen Silva, Gabriella Souza, Nelma Araújo

Produtividade da mão de obra para estrutura de concreto armado: ênfase nos fatores influenciadores 3834
Roseneia Melo, Dayana Costa

Desenvolvimento de método para o estudo da produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios 3847
Caio Mingione, Ubiraci Souza

Concentração de material particulado proveniente de canteiros de obras nas fases de construção de alvenaria e concreto armado 3861
Rita J.B. Moraes, Dayana B. Costa, Ingrid P.S. Araújo, Jair Lopes da Silva Junior, Jaconias Carneiro Gomes, Danilo Bastos Barbosa

Sistemática para gestão das exigências da NR-18 3873
Paola Kelly Curi Moura, Paulo Roberto Weiss Júnior, Fabrício Borges Cambraia, Elvira Maria Vieira Lantelme

Identificação e análise de indicadores de resíduos de construção em obras verticais na região metropolitana de Belém-PA 3883
Brisa M.O. Nascimento, Luiz Maurício F. Maués, Luciana N.P. Cordeiro, André Augusto A.M. Duarte, Renato M. Neves

Diagnóstico da aplicação dos requisitos de sustentabilidade no processo de compras de empresas construtoras de edifícios 3895
Patricia Nascimento, Francisco F. Cardoso

Satisfação dos operários da construção civil: um estudo na Universidade Federal do Ceará 3910
Antônio Arthur Fortaleza Neves, Isabelly Christiny Monteiro de Souza Pinto, Ada Catarina Soares de Sena Costa, Mariana Lira Comelli, Vanessa Ribeiro Campos

Orçamento na fase da viabilidade: comparativo dos parâmetros custo unitário básico e custo unitário geométrico 3924
Tacná Nóbrega, Thays Pereira, Priscilla Rodrigues, Marcilon Lima

Uso de indicadores de sustentabilidade para seleção de materiais aplicados à execução de alvenaria de bloco 3938
Carla Oliveira de Santana, Elaine Pinto Varela Alberte

Caracterização da atuação de construtoras e incorporadoras de Goiânia-GO frente às normas de desempenho ABNT NBR 15575:2013 3948
Juliano Araújo Otero, Rosa Maria Sposto

Modelo de análise de riscos baseada em matemática fuzzy para suporte à gestão do desempenho de edificações habitacionais 3963
Juliano Araújo Otero, Rosa Maria Sposto

Acondicionamento de sistemas de produção na construção civil 3977
Ricardo Juan José Oviedo Haito, Francisco F. Cardoso

Redução de variabilidade no processo construtivo de elevação de alvenaria estrutural: atitudes gerenciais 3990
Paulo Ricado Ramos Santos, Débora de Gois Santos

Identificação das causas de atrasos de obras: um estudo de caso na região metropolitana de Belém 4004
Caio José L. Reis, Renato de M. Seixas, Gilmar B. da Silva, Luiz Maurício F. Maués, André Augusto A. M. Duarte

Proposta de diretrizes para produção de procedimentos de inspeção para serviços da construção civil 4016
Gabriela Rocha, Carlos André Vieira da Silva Júnior, Carlos Formoso

Análise das inter-relações organizacionais 4028
Angela Rosi Docena de Alencar, Alfredo Iarozinski Neto

Repercussão de decisões gerenciais no prazo de execução de empreendimentos da construção civil 4038
Fernanda Aranha Saffaro, Wanessa Fazinga, Vinicius Amadeu Santana

Análise de maturidade de engenharia simultânea em construtoras de pequeno porte 4050
Gilielle Santana, Sandra Coutinho, Aline Sauer, Fabrícia Rembiski

MFV como ferramenta para análise do fluxo de informações em um escritório de engenharia 4062
Camila Silva, Sheyla Serra, Itamar Lorenzon

Análise do gerenciamento de resíduos de construção civil em condomínios residenciais unifamiliares 4075
Daniela Silva, Fabrícia D. Rembiski, Sandra Coutinho, Gabriela Radinz

Custos atuais da implantação do PCMAT em obras de edificações verticais 4086
Meryhelen Silva, Mirela Medeiros, Gabriella Souza, Nelma Araújo

Proposição de um modelo para gestão da produtividade e retroalimentação orçamentária 4097
George Nunes Soares, José de Paula Barros Neto, Artemária Coelho de Andrade

Gestão de projetos e de obras em construtoras – avanços e desafios para atuação de arquitetos e urbanistas 4111
Suelen Sorte, Fabrícia D. Rembiski, Aline Sauer, Gabriela Radinz

Impactos da gestão de segurança ocupacional no cronograma físico-financeiro de obras de edifícios 4121
Elienay Hudson Souza, Wylliam Santana, Luiz Mauricio Maues

Análise da aplicação de veículo aéreo não tripulado em auxílio às inspeções de saúde e segurança do trabalho 4132
José Roberto Souza, Andrey Oliveira, Heitor Palmeira, Adriana Weber

Proposta de melhoria para o transporte vertical de componentes de fachada de um edifício residencial de múltiplos pavimentos através do Mapeamento do Fluxo de Valor: um estudo de caso 4143
Alessandra Tourinho Maia, André Davet, Bruno Moreira Fenili, Yuri Tezin

Análise setorial do nível de efetividade dos processos gerenciais de empresas de construção civil 4158
Alessandra Tourinho Maia, Alfredo Iarozinski Neto

Diretrizes para a concepção de sistema de fluxo de materiais 4172
Carlos André Vieira da Silva Júnior, Antônio Santos, David Vasconcelos, Anthony Teixeira, Ismael Weber, Adriana Weber

Reaproveitamento de resíduos na construção

Utilização de fibra de polipropileno em argamassas produzidas com agregados reciclados de residuos da construção civil 4184
Cristian Debastiani, Elton Zanatta, Patricia Lovato

Estudo do uso de resíduo de serragem de pedra Cariri na produção de misturas autoadensáveis 4195
Johnatan Galvão, Amanda Carolina Pita, Uiliana Márcia Mercês, Washington Moura, Monica Leite

Agregados reciclados em concretos: uma análise crítica das propriedades e classificações estabelecidas em diferentes normas 4209
Alexis Kiouranis, Leonardo Miranda, Antônio Melo Neto

Avaliação das propriedades físicas de agregados miúdos reciclados produzidos em britadores de mandíbula e impacto 4221
Gabriel Marinho, Elaine Souza, Larissa Santos, Henrique Degraf, Leonardo Miranda, Vanessa Vogt

Comportamento mecânico de argamassas produzidas com resíduo de serragem de pedra Cariri 4233
Uiliana Mercês, Moura Washington

Panorama atual do setor de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil 4247
Leonardo Miranda, Levi Torres, Vanessa Vogt, Fernanda Brocardo, Hewerton Bartoli

Análise do desempenho de tijolos de solo-cimento com incorporação de agregados reciclados 4268
Gustavo Rodolfo Perius, Camila Sanja Machado, Daiane Eckardt Derlam, Ana Ligia Papst Abreu, Cleide Cedeni Andrade

Substituição do cimento por resíduos de conchas de moluscos bivalves em argamassas 4279
Safira Ferreira de Melo Rios, Ana Paula Gonçalves Silva, Washington Almeida Moura

Influência de aditivos aceleradores de pega nas propriedades no estado fresco de compósitos de cimento e resíduos de madeira de construção 4290
Thaísa Rocha, Paolo Lima, Leonardo Miranda, Carlos Parchen, Lara Ruhnke

Análise das propriedades de compósitos de madeira, provenientes de resíduo de construção, utilizando o gesso como aglomerante 4304
Thaísa Rocha, Lara Ruhnke, Leonardo Miranda, Carlos Parchen, Paolo Lima

Equipamentos de reciclagem de resíduos da construção civil: mecanismos de separação 4319
Annelise Schamne, Leonardo Miranda, Vanessa Vogt

Concreto autoadensável com Agregados Reciclados de Concreto (ARC) 4334
André Luís Vicente Souza, Nicole Schwantes, Isabela Souza, Caroline Dias Cavalheiro, Maria Fernanda Porto, Mateus Santos Fonseca, Berenice Martins Toralles

Avaliação da influência do tipo de britador nas propriedades de agregados reciclados graúdos 4346
Elaine Souza, Gabriel Marinho, Henrique Degraf, Larissa Santos, Leonardo Miranda, Vanessa Vogt

Argamassas e concretos com a adição de resíduos cerâmicos e de rochas ornamentais 4358
Reila Vargas Velasco, Larissa de Souza Viana, Marcos Martinez Silvoso

Sistemas prediais hidráulicos e sanitários

Reduções na exploração de recursos hídricos pelo emprego de tecnologias conservadoras de água: uma análise piloto em regiões residenciais do Distrito Federal 4372
Karla Alvares, Daniel Sant'Ana

Análise de configurações para implantação de um sistema predial de aproveitamento de água pluvial em edificações de um campus universitário 4386
Andreia Cristina Fonseca Alves, Renata Benfica Lima Silva, Gabriela Cristina Ribeiro Pacheco, Marcus Andre Siqueira Campos

BIM e Laser Scanning na geração de projeto "as built" de sistemas prediais hidráulicos e sanitários 4398
Letícia S. M. Araújo, Marina Sangoi de Oliveira Ilha

Avaliação econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em habitações de interesse social: mapeamento da literatura 4410
Lorena Carvalho, Marcus Campos

Avaliação de desempenho de sistemas prediais de água não potável de edifícios residenciais 4425
Carolina Castilho, Lúcia Helena de Oliveira

Simulação computacional do transporte de sólidos em sistemas prediais de esgoto sanitário 4436
Liang-Yee Cheng, Lucia Helena Oliveira, Pedro Henrique Saggioratto Osello, Rubens Augusto Amaro Junior

Produtividade da mão de obra na execução dos sistemas prediais elétricos e de comunicação 4449
Thomaz de Assumpção Corsini, José Carlos Paliari

Aplicação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial na cidade de Juiz de Fora - MG 4462
Livia Cosentino, Marcos Borges

Qualificação e quantificação de resíduos removidos do gradeamento de estações de tratamento de esgoto doméstico 4474
Patricia Erbis, Simone Fiori, Vera Maria Cartana Fernandes, Vinicius Scortegagna, Anelise Sertoli Gil, Matheus Ferreira, Luisa Dametto Vanz

Tempo de transbordamento de pavimento permeável com reservatório de brita 4489
Armando Ferreira, Marina Ilha

Modelos para a determinação das vazões em sistemas prediais de água: estado da arte 4499
Tiago de Vasconcelos Gonçalves Ferreira, Orestes Marraccini Gonçalves

Influência de sistemas individuais no dimensionamento de ETE 4511
Simone Fiori, Vera Maria Cartana Fernandes, Anelise Sertoli Gil, Vinicius Scortegagna, Matheus Ferreira, Julia Cartana Fernandes

Escopo para comissionamento de sistemas prediais 4524
Christianne dos Santos Figueiredo Ishida, Lúcia Helena de Oliveira

Subsídios para a escolha do material utilizado para instalações de gás: aço, cobre e multicamada 4535
Aline Moura, Fernanda Santos, Ubiraci Souza, Camila Kato

Proposição de ferramenta de avaliação qualitativa de projetos hidráulicos e sanitários prediais 4548
Thyago Paixão, Marcelo Silva, Ricardo Reis

Desempenho de trincheiras de infiltração de água de chuva para controle do escoamento superficial nos lotes urbanos 4561
Ricardo Reis, Marina Ilha

Pesquisa de aceitação de medidas de uso racional de água em sistemas prediais 4573
Aline R. Schroth, Taise F. Okubara, Stella M.C. Bezerra

Gestão da qualidade e abrangência da infraestrutura de saneamento básico 4591
Felipe Scolari, Vera Maria Cartana Fernandes, Simone Fiori, Vinicius Scortegagna, Matheus Ferreira, Daniela Adames, Anelise Gil

Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais hidráulicos e sanitários 4604
Carolina Yumi Takagaki, Lucia Helena Oliveira, Fabiano Rogério Corrêa

Avaliação de falhas em tubulações de CPVC para sistemas hidráulicos prediais de água quente por tomografia computadorizada de raios X 4616
Simone N. Taninaga, Daniel S. Sowmy, Andre Luiz G. Scabbia

Avaliação laboratorial de desempenho de bacias sanitárias de volume de descarga de 4,8 litros 4633
Isabella Valêncio, Orestes Gonçalves

Tecnologia da informação e comunicação

Medição de desempenho em empresas de construção: desenvolvimento de instrumento para avaliação de sistemas ERP 4648
Bárbara Abreu, Eduardo Luis Isatto

BIM no processo de orçamentação de um empreendimento residencial 4661
Rodrigo Bagno, Eduardo Arantes

Uso da simulação BIM 4D para apoio à gestão de processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados de concreto 4679
Fernanda S. Bataglin, Daniela D. Viana, Guillermina A. Peñaloza, Ana Júlia Smolinski, Carlos T. Formoso, Iamara R. Bulhões

Smart campus: proposta de aplicação de conceitos inteligentes na cidade universitária "Armando de Salles Oliveira" 4692
Luis Augusto Bertoni Strengari, Caio Muraki de Sá, Lilian Etienne Parada, Marina Seki Hellmeister, Karin Regina de Casas Castro Marins

Estudo sobre a gestão da informação no controle de qualidade de obras: uma análise da aplicabilidade da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) 4710
Jeferson Spiering Böes, Jeferson Ost Patzlaff, Marco Aurélio Stumpf González

BIM em gerenciadoras de empreendimentos de infraestrutura 4722
Gustavo Carezzato Gonçalves, Mercia Maria Bottura de Barros, Eduardo Toledo Santos

Análise do uso de ferramentas tecnológicas nos processos e gestão de projetos por empresas do setor de construção civil 4739
Simone do A Cassilha, Bruna B Fantoni, Alfredo Iarozinski Neto

O papel da automação e da robótica na construção de edificações 4752
Fabiano Correa

Modelo associativo e design paramétrico: da subjetividade à precisão 4765
Camila Costa de Lima, Dayane Alexandre Correia, Nádia Milena Barbosa, Alexandre Márcio Toledo

Proposição de um protocolo para contratação de projetos em BIM para o mercado da construção civil nacional 4774
Diego R. G. Faria, Mercia M. S. B. Barros, Eduardo T. Santos

Verificação da aceitabilidade de ferramentas e diretrizes de modelagem propostas para um banco público brasileiro 4785
Fernanda Ferrari, Silvio Burrattino Melhado

Análise do ambiente para inovação tecnológica em um banco público brasileiro 4800
Fernanda Ferrari, Silvio Burrattino Melhado

Aplicação mobile de especificação de revestimento cerâmico, argamassas e rejuntes 4819
Júlio César Franco Jr., Nivaldo Henrique Bondança, Márcio Minto Fabrício, Kelen Almeida Dornelles

Modelagem da informação e melhoria contínua do ambiente construído: oportunidades e desafios 4834
Ana Judite Galbiatti Limongi França, Sheila Walbe Ornstein

Avaliação de um sistema baseado em jogos implantado em um canteiro de obras 4849
Regina Maria Cunha Leite, Dayana Bastos Costa, Frederico A. Durão

Modelagem da informação da construção na preservação da arquitetura moderna 4864
Cristiane Lopes Canuto, Monica Santos Salgado

Análise bibliométrica da produção brasileira de artigos científicos na área de BIM 4876
Fernanda Machado, Regina Ruschel, Sérgio Scheer

O impacto do BIM: estudo de caso em edifício residencial 4889
Marco Argentieri Mariani, Paulo Cezar Bianchi, Robert Wright, Eduardo Toledo Santos

O uso do BIM para o projeto sustentável 4910
Bárbara Holzmann Mass, Sérgio Scheer, Sérgio Fernando Tavares

A modelagem da informação da construção na gestão de espaços em instituições de ensino superior 4921
Gianine Mello, Fábio Schramm

Gestão de sistemas construtivos e de manutenção com ambientes CMS em pequenas e médias empresas construtoras 4939
Adriano Moreira, Maria Aparecida Hippert

Identificação do conhecimento acadêmico de BIM integrado ao gerenciamento de facilities 4951
Paula Mota, Regina Ruschel

Seleção de parâmetros no modelo BIM necessários à simulação energética de edificações a partir do REVIT e do Energyplus 4963
Rodrigo Pereira da Silva, Sergio Leal Ferreira

Estudo das exportações de modelos digitais produzidos no Autodesk Revit para simulações de edificações no Energyplus 4975
Gabriel R. Queiróz, Giane C. Grigoletti, Joaquim C. P. Santos

Uso da tecnologia BIM no ensino de arquitetura e urbanismo da UFES - ES 4991
Leticia Rabbi, João Luiz Calmon, Karla Conde

Relato de experiência de ensino de BIM em disciplina introdutória de curso de engenharia civil 5003
Eduardo Toledo Santos, Sergio Leal Ferreira, Fabiano Rogerio Corrêa, Brenda Chaves Coelho Leite, Maria Bernardete Barison

Os benefícios do uso do BIM no projeto da nova estação Antártica comandante ferraz 5016
Rafael Santos Fischer, Benício Daniel Hassegawa Teixeira Barreto, Dario Correa Durce, Marco Aurélio Peixe, Sérgio Scheer

O modelo evolucionário no processo de projeto: aplicações na arquitetura contemporânea 5030
Filipe Silva, Luísa Accioly, Bárbara Laurindo, Alexandre Toledo

Proposta de verificação automática dos requisitos de projeto pelo uso de ferramentas de análise BIM aplicados a norma de desempenho 5039
Flavio Silva, Eduardo Arantes

Introdução do conceito de modelagem da informação da construção apoiado na abordagem Project Based Learning (PBL) 5053
Jacqueline Vergely Fraga Ferreira, Sergio Leal Ferreira

Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados 5067
Juliana Álvares, Dayana Costa, Roseneia Melo, Angelo Bello

Engenharia urbana e política habitacional

A segurança contra incêndio no ambiente construído informal: uma proposta de intervenção que reduz a vulnerabilidade em relação ao risco de incêndio em favelas 5081
Luciana Alves

Aplicação do índice de compacidade às operações urbanas consorciadas do município de São Paulo 5092
Rafael Cruz, Karin Regina de Casas Castro Marins

Deficit habitacional qualitativo de Belo Horizonte: Estratégias aplicadas para melhoria das habitações existentes de baixa renda 5104
Rejane Drummond, Maria Luiza de Castro

Contribuições ao estudo da produção do espaço urbano: mobilidade descendente espacial no município de Marabá-PA 5117
Thalys Feitosa, Thaylor Martins, Antonio Nascimento

A questão urbana e a Habitação de Interesse Social: reflexões sobre a política nacional de desenvolvimento urbano 5131
Douglas Gallo, Louise Logsdon, Fábio Silva

Dinâmicas e transformações em Campinas: habitação em bairros centrais, de 2000 a 2015 5141
Viviana GonÇalves, Silvia Mikami Pina

O Programa Minha Casa Minha Vida: construindo paisagens urbanas 5152
Rosa Maria Locatelli Kalil, Adriana Gelpi, Wagner Mazetto de Oliveira, Nelita Pretto, Jaqueline Fengler

Práticas de arquitetura para famílias de baixa renda 5163
Danielle Lacerda

Análise dos eixos de estruturação da transformação urbana de São Paulo, segundo indicadores selecionados 5179
Quentin Lamour, Karin Regina de Casas Castro Marins

A locação social como alternativa para o déficit habitacional no Porto Maravilha 5197
Maíra Rocha Mattos, Angela Maria Gabriella Rossi

Integrando a paisagem natural à infraestrutura urbana através da abordagem da infraestrutura verde 5207
Silvana Rivaldo, Angela Maria Gabriella Rossi

O impacto da Operação Urbana Consorciada Água Espraiada na implantação de Habitação de Interesse Social 5217
Laura Rocha de Castro, Silvia Mikami G. Pina

O IBIS-FRS system nos programas de urbanização de favelas: o estudo de caso de Paraisópolis 5229
Francesca Sarno, Alex Kenya Abiko

As remoções para a Copa do Mundo de 2014: as diferentes percepções sobre o megaevento na cidade de Porto Alegre/RS 5245
Gabriela Silva, Adriana Portella, Gisele Pereira

Tecnologia de sistemas e processos construtivos

Sistemas construtivos industrializados para Habitação Social: análise do container como uma nova alternativa 5256
Denise Aparecida de Souza, Giusilene Costa de Souza Pinho

Levantamento de parâmetros de projeto de formas para taipa 5271
Mylla Barbosa da Frota Barreto, Camila Ajiki Lopes, Andrea Naguissa Yuba, Karina Trevisan Latosinski

Estudo de viabilidade técnica de aplicação do método de sísmica de refração para otimização de prováveis obras de ampliação de uma instituição federal de ensino 5282
Hiago Dantas, Marina Guimarães, Felipe Alves, Marina Araújo, Stella Tomé

Comparação entre dois métodos para execução de guias: utilização de componentes pré-fabricados ou moldagem por extrusão 5297
Guilherme de Albuquerque Destri, Priscilla Fernanda Rissardi Ferreira, Ubiraci Espinelli Lemes de Souza

Projeto modular de habitação emergencial com o uso de pallets e bambu 5310
Geane Talia de Almeida Lopes, Marcella Ribeiro da Costa, Marcos Vinicius Dias Ramos Guerreiro, Valeria de Cerqueira Tramontini Freitas, Jorge Daniel de Melo Moura

Arquitetura de container: reutilização para construção civil 5326
Geane Talia de Almeida Lopes, Izadora Tonin Loiola, Ana Virgínia C. F. Sampaio

Avaliação e proposta de melhoria dos projetos arquitetônico e estrutural de Habitação de Interesse Social em alvenaria estrutural - estudo de caso 5337
Elaine Guglielmi Pavei Antunes, Larissa Zappelini Corrêa, Angela Costa Piccinini, Márcio Vito, Alexandre Vargas

Diretrizes para padronização dimensional de portas utilizando os conceitos da coordenação modular 5350
Fernanda Joazeiro, Aline Barboza

Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira na absorção sonora e isolamento acústico 5365
Diógenes Magri, Carlos Alberto Dermachi, Gilson Morales

Desempenho das edificações em light steel framing 5377
Paulo Monteiro, Douglas Barreto, Paliari José Carlos

Desempenho térmico de painel de vedação vertical externo composto por placas de madeira mineralizada em light steel framing 5389
Jocely Rosanna da Silva Nogueira, Ivan Julio Apolonio Callejas, Luciane Cleonice Durante, Ana Flávia da Silva Martins, Kellen Melo Dorileo Louzich, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti

Influência da umidade do substrato no desempenho de sistema de impermeabilização com manta asfáltica 5401
Maressa Oliveira, Flávio Maranhão, Thiago Santos

Lajes nervuradas com blocos de EPS – utilização em obras da construção civil da região do sertão central no estado do Rio Grande do Norte 5421
Manoel Queiroz Neto, Arthur Barbosa, Francisco Florêncio, Athos Barbosa, Marcilene Nóbrega

Análise da contribuição da ABNT NBR 15.575 para a Engenharia Diagnóstica 5440
Marcus Vinicius Rosário da Silva, Mércia Maria Semensato Bottura de Barros, Jerônimo Cabral Pereira Fagundes Neto

Avaliação da inserção de inovações tecnológicas em obras de construção civil na região da Grande Vitória - ES 5453
Marcelo Cirilo Saccani, Sayonara Pinheiro, Milton Paulino da Costa Junior

Cross Laminated Timber (CLT): uma tecnologia construtiva viável no Brasil? 5467
Carla A. Silva, Maria Letícia B. Chirinéa, Mercia M. S. B. Barros

Proposta de uma família de blocos modulares com geometria diferenciada para alvenaria de vedação em Habitação de Interesse Social 5478
Fábia Silva, Bruna Rosa de Barros Barros, Emanuelle Christina Santos Magalhães Magalhães

Revestimento não-aderido: proposta de critérios de desempenho e métodos de ensaio 5492
Luiz Fernando Batista da Silva, Luciana Alves de Oliveira

Viabilidade técnica do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas in loco 5505
Bruna Ramos de Souza, João Gabriel Santana Paz, Ana Paula da Silva Milani

O processo executivo de cura do concreto e a sua importância como qualificador do material 5516
Fernando Henrique Brito Vaz, Daniela Castro Silva

Construção de módulo experimental de telhado verde para realização de estudos experimentais: dificuldades e possibilidades 5529
Pedro Garrido Neto, Francis Miranda, Viviane Shan, Elaine Vazquez, Marcelo Miguez, Wiliam Romanholi

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EXPORTAÇÃO DE SERVIÇOS DE ARQUITETURA – EVOLUÇÃO E RESULTADOS DA MATURIDADE EXPORTADORA[1]

ADDOR, Miriam R. A. (1); MELHADO, Sílvio B. (2)

(1) POLI-USP, e-mail: miriam@addor.com.br; (2) POLI-USP, e-mail: silvio.melhado@usp.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar a implementação do processo de exportação de um serviço intangível (projeto de arquitetura), demonstrando as maneiras de entrada no mercado externo, as questões legais relativas aos serviços internacionais, expondo as barreiras à internacionalização e os aspectos contratuais. O estudo encontra-se em desenvolvimento e portanto irá apresentar, a partir de uma experimentação prática, dados parciais recolhidos nos últimos cinco anos. Para se atingir a este objetivo, além da análise dos dados e da bibliografia existente, foi elaborado um estudo de caso com 46 empresas de arquitetura que fazem parte de um projeto setorial de exportação denominado Built By Brazil. Foram criados critérios eliminatórios e recomendações para que as empresas pudessem ser enquadradas na matriz de maturidade exportadora. Como resultados observa-se um setor em amadurecimento que apesar de possuir muitas empresas com potencial exportador ainda tem que alcançar a exportação como uma prática comum dos escritórios.

Palavras-chave: Internacionalização de serviços de arquitetura. Exportação de serviços. Qualidade do projeto.

ABSTRACT

This article aims to present the implementation of the exportation process of an intangible service (architectural design), showing how to enter in the foreign market, legal issues relating to international services, exposing the barriers to internationalization and contractual aspects. Considering a development study, it will present from a practical experimentation, partial data collected in the last five past years. In order to achieve this goal, as well as analysis of data and existing literature, a case study was prepared with 46 architectural firms that are part of a sector project export called Built By Brazil. Eliminatory criteria and recommendations were created for companies might be framed in the exporting maturity matrix. As a result is observed a maturing sector, which although having many companies with export potential still have to reach exporting as a common practice.

***Keywords**: Internationalization Architectural Services. Services exports. Design quality.*

1 INTRODUÇÃO

O setor de exportação de serviços em geral tem ampliado cada vez mais sua participação no mercado internacional. O uso da internet para transmissão de dados tem tido impacto direto na oferta e demanda de

[1] ADDOR, Miriam; MELHADO, Silvio. Exportação de serviços de arquitetura – evolução e resultados da maturidade exportadora. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

serviços, pois informações globalmente disponíveis fortalecem o reconhecimento das marcas cada vez mais globais. Serviços relacionados ao turismo, audiovisual, entretenimento, arquitetura, educacionais, software, por exemplo, são comercializados individualmente ou em grupos. Segundo a Organização Mundial do Comércio (2012), as exportações de serviços no mundo em 2012 foram responsáveis por US$4,62 trilhões, sendo que de 2003 a 2013 houve uma aumento de 150% das exportações mundiais de serviço.

O Brasil, através do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, vem construindo políticas públicas de suporte e fomento à exportação e à internacionalização das empresas do setor. A exportação de serviços refere-se à produção, venda e entrega de um produto intangível entre produtor e consumidor, pessoa física ou jurídica, residentes ou domiciliados em países distintos (SCS; MDIC, 2014).

No sentido mais abrangente, adotado pela Organização Mundial do Comércio – OMC, a exportação de serviços compreende diferentes situações. Pode envolver a transposição de fronteiras, seja do serviço, seja do consumidor, da pessoa física prestadora do serviço ou seja mediante estabelecimento de presença comercial no exterior da própria empresa prestadora do serviço. Estas situações são denominadas modos de prestação de serviços (SCS; MDIC, 2014). Os serviços são diferentes dos produtos e portanto têm características particulares, como inseparabilidade, intangibilidade, perecibilidade e variabilidade. Dentre estas características a intangibilidade e variabilidade se aplicam à exportação do serviço de arquitetura. A intangibilidade diz respeito à comercialização de um item que não é tangível, ou seja, não pode ser embalado para entrega ao cliente. É um serviço que não pode ser tocado, sentido, cheirado ou saboreado. Mesmo havendo um componente final tangível, por exemplo uma documentação de projeto, uma planta, especificações, todo o processo de prestação de serviços de arquitetura é intangível. Outra característica que se aplica aos serviços de arquitetura é a variabilidade. Os produtos físicos podem ser facilmente padronizados, mas isso é muito mais difícil com serviços, pois estes dependem de pessoas, o que faz com que um mesmo serviço prestado por diferentes pessoas ou a diferentes clientes apresente grande variabilidade.

A prestação de serviços de arquitetura se dá pelo fornecimento do projeto de um edifício ou construção. Este trabalho tem como objetivo demonstrar um panorama geral do setor de exportação de um serviço intangível (projeto de arquitetura), demonstrar as maneiras de entrada no mercado externo, apresentar as questões legais relativas aos serviços internacionais, expor as barreiras à internacionalização e abordar a metodologia criada pelo setor de arquitetura e urbanismo para definição da matriz exportadora do setor. Dados coletados com 46 empresas do setor foram analisados para demonstrar o sistema de classificação e maturidade dos escritórios exportadores de arquitetura, levantamento feito entre outubro de 2014 a janeiro de 2015. O estudo encontra-se em desenvolvimento e portanto irá apresentar dados parciais recolhidos nos últimos cinco anos. Para se atingir a

este objetivo, dados do SISCOSERV (Sistema Integrado de Comércio Exterior), MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior), APEX (Agência Brasileira de Promoção e Exportações e Investimentos), AsBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura) e CAU BR (Conselho de Arquitetura e Urbanismo) foram estudados.

Com base no levantamento dos dados e nos estudos de caso foram apresentados como resultados o nível de maturidade exportadora das empresas. Foi aplicado o modelo de segmentação criado pela APEX em conjunto com a ASBEA para o projeto setorial Built By Brazil (ASBEA; APEX, 2015). Os principais tipos de ações realizados para exportação, as principais dificuldades, os novos desafios e propostas que estão sendo feitas pelo poder público e pelo setor da arquitetura no Brasil estão representados nos resultados.

Espera-se com este trabalho mostrar um breve relato da perspectiva de internacionalização do serviço de arquitetura e orientar futuras exportações e internacionalização deste setor.

2 A EXPORTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ARQUITETURA

2.1 Características dos Serviços de Arquitetura

Desde 2010, a APEX (Agência Nacional de Exportação) e os escritórios de arquitetura buscam os caminhos no sentido de formar, classificar e colaborar com a implementação da exportação do projeto. A importância do posicionamento e ampliação de mercados da arquitetura brasileira no cenário mundial, do acesso de escritórios internacionais em território nacional, da necessidade de redução da dependência do mercado interno e da inclusão do projeto brasileiro em cadeias produtivas globais foram motivadores para esta investigação.

Segundo a União International dos Arquitetos (UIA,2014), o exercício da arquitetura consiste na prestação de serviços profissionais ligados ao planejamento urbano e à concepção, construção, ampliação, conservação, restauro ou alteração de edifícios ou conjuntos de edifícios. Esta prestação de serviços inclui, o planejamento e o uso do solo, o urbanismo, a provisão de estudos preliminares, os projetos, os modelos e maquetes, os desenhos, a documentação específica e técnica, a coordenação de documentação técnica preparada por outros profissionais, a economia da construção, a gestão de contratos, o acompanhamento da construção (denominada "supervisão" ou "direção de obra" em alguns países) e a gestão de projeto.

De acordo com dados da União Internacional dos Arquitetos (UIA, 2015) o número de arquitetos registrados no mundo inteiro supera um milhão. Os cinco países com maior número de arquitetos são o Japão, Itália, EUA, Brasil e Alemanha.

Pode-se dizer que os arquitetos não estão mais confinados nas fronteiras de seus países de origem. Mesmo trabalhando em seu país de base, associam-se com outro escritório ou abrem um escritório no exterior, esta prática internacional é uma consequência da economia globalizada (UIA, 2015).

Os serviços de arquitetura apresentam diversas características que são típicas de serviços profissionais (JEWELL; FLANAGAN; ANAC, 2010):

- São intensivos em conhecimento;
- Envolvem julgamento e avaliação profissionais;
- São altamente personalizados;
- Requerem altos níveis de interação;
- Exigem formação profissional específica do prestador do serviço;
- São regulamentados de acordo com normas da profissão.

O projeto de arquitetura individual apresenta as seguintes características:

- O escopo do projeto depende da capacidade e dos meios do comprador;
- Algumas partes do projeto podem ser padronizadas e outras personalizadas. Isto implica que sempre haverá personalização, mas sua extensão varia de projeto para projeto;
- Os projetos podem envolver parcerias entre diversas firmas, em que uma delas pode assumir a responsabilidade pelo projeto junto ao comprador (ROCHA; CARVALHO; MELLO, 2014).

2.2 Modos de Exportação

De acordo com o estebelecido no Acordo Geral sobre o Comércio de Serviços da Organização Mundial do Comércio (1994), os modos de prestação de serviços são identificados segundo a localização do prestador e do tomador e podem ser de quatro tipos (SCS; MDIC, 2014).
O Modo 1 diz respeito ao comércio fronteiriço, que é o serviço prestado do território de um país ao território de outro país, por residente ou domiciliado no Brasil a residente ou domiciliado no exterior. Estes são os casos dos serviços vendidos via internet, de corretagem de ações, serviços de projeto e desenvolvimento de estruturas e conteúdo de páginas eletrônicas, serviço de transporte internacional de cargas e de passageiros.
O Modo 2 direciona para o consumo no Brasil, ou seja, um serviço prestado por residente ou domiciliado no Brasil e consumido no território brasileiro por residente ou domiciliado no exterior, como por exemplo, os serviços educacionais prestados no Brasil a residente no exterior, capacitação de funcionários brasileiros de pessoa jurídica domiciliada no exterior, alguma empresa estrangeira que envie um equipamento para reparo no Brasil.
Um terceiro modo diz respeito a presença comercial no exterior, o que consiste na prestação de serviço por pessoa jurídica domiciliada no exterior relacionada a uma pessoa jurídica domiciliada no Brasil, por exemplo, o caso

de uma empresa brasileira de construção estabelecida no exterior para execução de obra, ou filiais bancárias de banco brasileiro no exterior.
E por fim o modo 4 relaciona um movimento temporário de pessoas físicas residentes no Brasil deslocando-se por tempo limitado ao exterior com vistas a prestar um serviço a residente ou domiciliado, como por exemplo, um arquiteto residente no Brasil desloca-se para desenvolver projeto de arquitetura no exterior, empreiteiras domiciliadas no Brasil enviam trabalhadores que mantêm vínculo empregatício no Brasil para construção de uma rodovia no exterior, advogado residente no Brasil se desloca para o exterior a fim de prestar consultoria técnica.

2.3 Classificação NBS e Siscoserv

É recomendável às empresas brasileiras que comercializam serviços e intangíveis e outras operações que produzam variações no patrimônio que conheçam a Nomenclatura Brasileira de Serviços – NBS (Ministério da Fazenda; MDIC, 2012). A NBS é o classificador nacional para os serviços e intangíveis que viabiliza a adequada elaboração, fiscalização e avaliação de políticas públicas de forma integrada. Desta forma, propicia a harmonização de ações voltadas ao fomento do empreendedorismo, à tributação, às compras públicas, ao comércio exterior, entre outras (SCS; MDIC, 2014) sendo compatível com a *Central Products Classification (CPC)* das Nações Unidas. A NBS é o classificador utilizado para registro no Siscoserv – Sistema integrado de Comércio Exterior e Serviços. O SISCOSERV é um sistema informatizado, desenvolvido para o aprimoramento das ações de estímulo, formulação, acompanhamento e aferição das políticas públicas relacionadas a serviços e intangíveis bem como para a orientação de estratégias empresariais de comércio exterior de serviços e intangíveis. Esse Sistema guarda conformidade com as diretrizes do Acordo Geral sobre Comércio de Serviços (GATS) da Organização Mundial do Comércio (OMC), aprovado pelo Decreto Legislativo nº 30, de 15 de dezembro de 1994, e promulgado pelo Decreto no 1.355, de 30 de dezembro de 1994. O público alvo do Siscoserv são os residentes e domiciliados no Brasil que realizam operações de comercialização de serviços, intangíveis e outras operações que produzem variações no patrimônio, dentre as quais as operações de exportação e importação de serviços.

De acordo com a NBS, os serviços de arquitetura são classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- Classificação dos Serviços de Arquitetura

114021	**Serviços de arquitetura**
114021100	Serviços de consultoria em arquitetura
114021200	Serviços arquitetônicos para projetos de construções residenciais
114021300	Serviços arquitetônicos para projetos de construções não residenciais
114021400	Serviços arquitetônicos para restauração de prédios históricos
114021900	Serviços de arquitetura relativos ao acompanhamento e fiscalização da execução de projetos arquitetônicos e urbanísticos

114022	Serviços de planejamento urbano e de áreas rurais
114022100	Serviços de planejamento urbano
114022200	Serviços de planejamento de áreas rurais
114023	Serviços de paisagismo
114023100	Serviços de consultoria de paisagismo
114023200	Serviços arquitetônicos de paisagismo

Fonte: NBS (2012)

Contudo, estão desobrigados de registro no Siscoserv as pessoas jurídicas optantes pelo Regime do Simples Nacional e os Microempreendedores Individuais (MEI). As pessoas físicas residentes no Brasil que não explorem em nome individual atividade econômica com habitualidade ou profissionalmente, não realizando operações em valor superior a US$ 30.000,00 (trinta mil dólares dos Estados Unidos da América) no mês, ou o equivalente em outra moeda, também ficam desobrigadas.

2.4 Formas de Internacionalização de Serviços de Arquitetura

A contratação de projetos de arquitetura no exterior pode ocorrer de várias formas. Desde o atendimento no exterior de clientes que já foram atendidos no Brasil com base na reputação da empresa ou do arquiteto, através da participação em licitações, concursos internacionais ou até mesmo a atuação em rede, realizando-se apenas uma parcela do projeto liderado por outra empresa, geralmente de outro país. A busca ativa de mercados externos pelos escritórios de arquitetura também faz parte das práticas de exportação deste serviço.

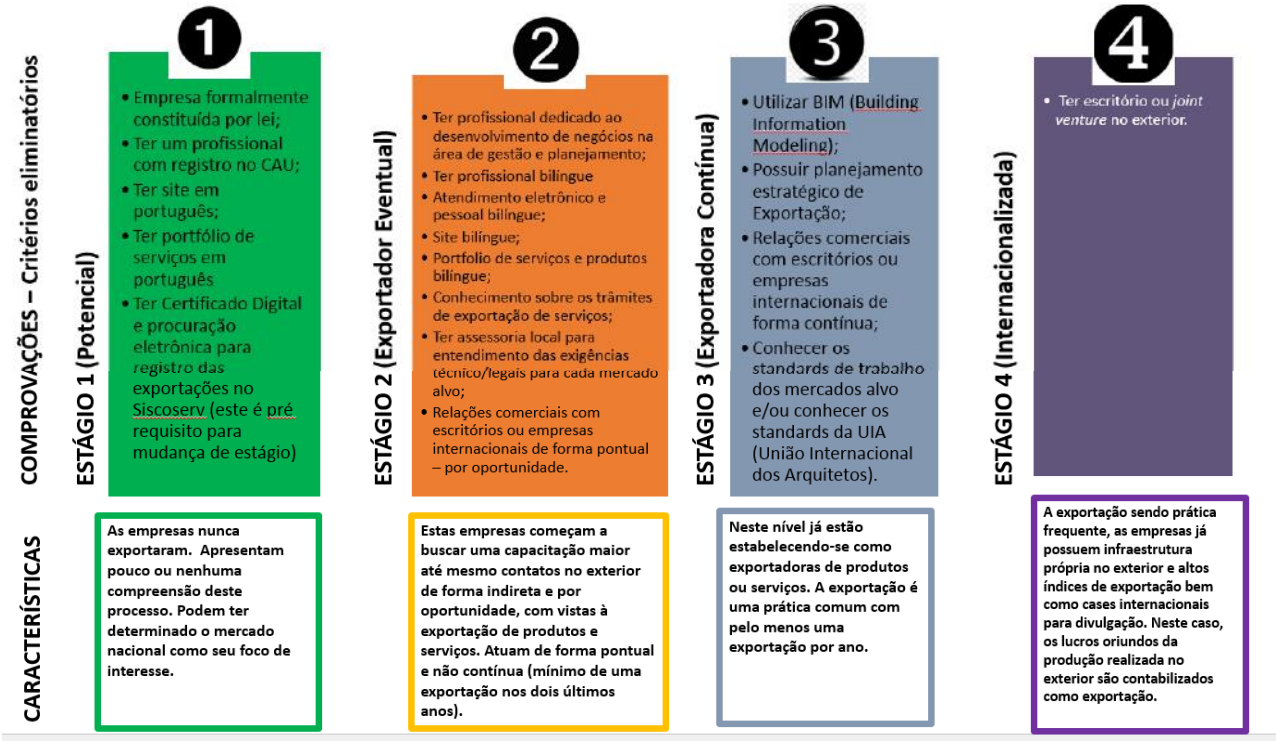
Depois da definição do projeto, em geral, se faz necessário a capacitação de atuação do escritório no país. Este fato pode gerar algumas questões de ordem administrativa e organizacional, tais como: o comissionamento de projetos de arquitetura pode incluir não apenas a documentação técnica do projeto mas também a supervisão em obra; os projetos devem levar em consideração as exigências, requisitos e especificações locais (no país destino) concernentes à construção de edificações e ao planejamento urbano, considerando-se a alta regulamentação que caracteriza o setor da construção. O vocabulário técnico também deve ser cuidadosamente dominado, em razão de sua característica especializada e prática.

3 NÍVEIS DE MATURIDADE EXPORTADORA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA

As empresas exportadoras em geral devem ser segmentadas, sendo avaliadas e separadas segundo critério estabelecido. Na segmentação dos escritórios de arquitetura, a classificação tem como objetivo agrupar as empresas em categorias de acordo com sua capacidade gerencial, operacional e maturidade para exportar. Do ponto de vista gerencial, a maturidade empresarial é marcada pela quantidade de áreas que a empresa tem para atender a seus mercados alvo e para exportar, ou seja, quanto maior o número de áreas maior será o seu desenvolvimento. Considerando-se o eixo gerencial, a profundidade de cada um dos critérios

atestará o preparo da empresa à atuação desejada. Quanto mais profundas forem as atividades por área, maior a infraestrutura de atendimento (ASBEA; APEX; MILAN. , 2015). O modelo de segmentação proposto para o segmento da arquitetura no projeto setorial BUILT BY BRAZIL teve como resultado a proposta mostrada na Figura 1.

Figura 1- Modelo de segmentação



Fonte: AsBEA-APEX (2015)

4 DEFINIÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS PARA ENQUADRAMENTO DAS EMPRESAS NA MATRIZ DE MATURIDADE EXPORTADORA

O projeto Built by Brazil desenvolveu uma pesquisa de segmentação dos escritórios de arquitetura com objetivo de posicionar cada escritório em uma das categorias – potencial exportador, exportador eventual, exportador contínuo e internacionalizado. Os resultados obtidos na pesquisa servirão para se direcionar as ações específicas a cada um dos escritórios, de modo a tornar as ações mais eficazes no auxílio da internacionalização da arquitetura brasileira (AsBEA; APEX; MILAN, 2015).

Para que este objetivo fosse alcançado foi determinado um questionário com 19 questões que foi respondido por 46 empresas do setor de arquitetura entre 20/10/2014 a 23/01/2015.

O conteúdo deste questionário disse respeito a:

- Quantos funcionários de sua empresa têm registro no CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo);

- Sua empresa possui funcionários dedicados ao desenvolvimento de negócios na área de gestão e planejamento;
- Sua empresa utiliza o processo de trabalho em BIM (*Building Information Modeling*);
- Como sua empresa atua internacionalmente;
- Sua empresa buscou investir em melhoria de processos internos, de modo a se adequar às exigências do mercado internacional;
- Em caso afirmativo na questão anterior, quais foram os processos nos quais se investiu em melhorias;
- Sua empresa conhece os standards de trabalho da UIA (União Internacional dos Arquitetos);
- A empresa costuma fazer planejamento estratégico direcionado a exportação;
- Caso a empresa tenha departamento de exportação, quantas pessoas trabalham nele;
- Sua empresa tem atuado com escritórios internacionais de forma pontual (por oportunidade);
- Sua empresa possui suporte local (no exterior) para entendimento das exigências técnico/legais;
- Sua empresa possui material promocional bilíngue;
- Caso sua resposta tenha sido "sim" na questão anterior, em quais idiomas estão confeccionados os materiais;
- Sua empresa possui site bilíngue;
- Sua empresa possui conhecimentos sobre os tramites de exportação de serviços.

Os critérios, recomendações e produtos para cada nível de segmentação estão estabelecidos conforme o Quadro 1 e devem ser lidos de forma progressiva, ou seja, para se passar para o estágio 2, os critérios do estágio 1 devem ter sido atendidos e assim por diante.

Quadro 1 – Estágios de Segmentação

	CRITÉRIOS	RECOMENDAÇÕES	PRODUTOS
ESTAGIO 1 - POTENCIAL	Empresa ser formalmente constituída (CNPJ)	Empresa em busca de sensibilização de oportunidades e inserção no mercado internacional - O FOCO é na cultura Exportadora	Workshop cultura exportadora sensibilização empresários- Por que exportar?
	Apresentar registro de profissional no CAU (Conselho de arq. e Urb.)		Capacitação das empresas para adequação à exportação
	Ter portfólio de serviço em protugues		Palestras de parceiros estratégicos entendimentos dos standards da UIA
	Ter site em português		Projeto extensão industrial exportadora (PEIEX)
	Ter certificado Digital e Procuração eletrônica para registro das exportações no Siscoserv	Este item tem como exigência o prazo de 6 meses a ser cumprido para que as empresas se classifiquem na segmentação	Acesso aos estudos de mercado dos segmentos de arquitetura e construção
			Marketing: Inclusão da empresa no site do projeto setorial, newsletter e assessoria de imprensa e workshop de gestão de marcas.

ESTAGIO 2 - EXPORTADORA EVENTUAL	CRITÉRIOS	RECOMENDAÇÕES	PRODUTOS
	Ter profissional dedicado ao desenvolvimento de negócios na área de gestão e planejamento	Empresa em busca de parceiros estratégicos (públicos e privados) para auxiliar na adequação de produtos adaptados ao mercado-alvo e ampliação do conhecimento e cultura exportadora. FOCO: Conhecimento de mercados alvo.	Seminários mercado FOCO
	Ter profissional bilingue		Estudos de mercado
	Atendimento eletrônico e pessoal bilingue		WORKSHOP CAPACITAÇÕES COM FOCO EM: Entendimento das exigências técnico/ legais ; prospecção de parceiros comerciais no exterior e como se preparar para atuar em feiras e eventos internacionais
	Site bilingue		PROMOÇÕES DE NEGÓCIOS E IMAGEM: Feiras Internacionais- Projeto Vendedor/Prospecção de mercado/ Rodadas de negócios/ projeto comprador/ missões comerciais e técnicas
	Portfólio de serviços e produtos bilingue		
	Conhecimento sobre trâmites de exportação de serviços		
	Ter assessoria local para entendimento das exigências técnico/legais para cada mercado alvo	Este item é exigência para recomendação de classificação no segmento	MARKETING: Apoio a concursos internacionais, relações públicas institucional nos eventos internacionais
	Parcerias com escritórios internacionais de forma pontual – por oportunidade.		

	CRITÉRIOS	RECOMENDAÇÕES	PRODUTOS
ESTAGIO 3 - EXPORTADORA CONTÍNUA	Utilizar plataformas BIM (Building Information Modeling)	Estudos de mercado com foco internacional	INTELIGÊNCIA DE MERCADO: Rodada de debates setoriais com outros grupos de interesse (construtoras, bancos de investimentos)
	Possuir planejamento estratégico de exportação	Parceiros Internacionais	PROMOÇÃO DE NEGÓCIO E IMAGEM: Projeto imagem com formadores de opinião do setor; Projeto imagem com jornalistas; agente de negócios no exterior
	Possuir escritórios estrangeiros como parceiros de forma contínua	Diversificação de mercados-alvo atendidos	MARKETING: Ações de relacionamento e construção de reputação da arquitetura brasileira; indicar parceiros para ações de relacionamento e projetos compradores
	Conhecer os standards de trabalho dos mercados-alvo e/ou conhecer os standards da UIA (União Internacional dos Arquitetos)	FOCO: Buscar consolidação de mercados	ESTRATÉGIAS PARA INTERNACIONALIZAÇÃO: Planejamento para acessar mercados internacionais; Plano de negócio básico para exportação

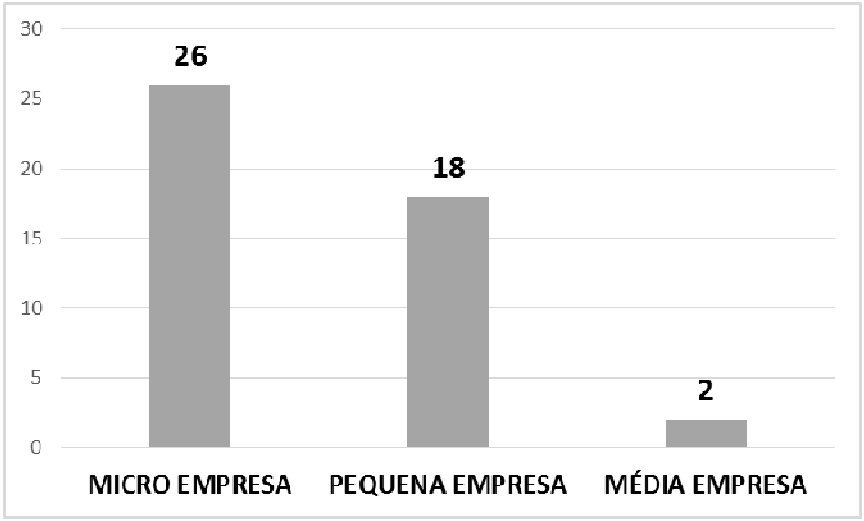
	CRITÉRIOS	RECOMENDAÇÕES	PRODUTOS
ESTAGIO 4 - EMPRESA INTERNACIONALIZADA	Ter escritório ou *joint-venture* no exterior ou ter *joint-venture* com escritório estrangeiro no Brasil	Experiência em pesquisa de mercados em países estrangeiros	INTELIGÊNCIA DE MERCADO: Estudos de mercado com foco internacional; Treinamento em inteligência comercial e inovação; oficinas com empresários com foco em internacionalização
		Customer Service instituído, garantindo entrega e relacionamento com o cliente	PROMOÇÃO DE NEGÓCIOS E IMAGEM: Apoio customizado e individual para consolidação da marca no mercado já estabelecido (mídia/ publicações/ exposições)
		Lançamento de produtos adequados aos mercados-alvo (inovação)	MARKETING: Estratégias para internacionalização: Inter-Com - Programa de internacionalização e competitividade; Centro de negócios APEX-Brasil; Rodadas de negócios no exterior com investidores qualificados e fundos internacionais
		Inovação em processos adequados ao mercado-alvo FOCO: Estratégia Comercial	

Fonte: AsBEA- APEX (2015)

5 RESULTADOS

Com base na receita operacional bruta anual de acordo com a classificação do BNDES (2010), as microempresas têm faturamento menor ou igual a R$ 2.4 milhões, as Pequenas Empresas: maior que R$ 2.4 e menor ou igual a R$ 16 milhões, as médias empresas: maior que R$ 16 milhões e menor ou igual a R$ 90 milhões, Média-Grande empresa: maior que R$ 90 milhões e menor ou igual a R$ 300 milhões, Grande empresa: Maior que R$ 300 milhões. As empresas de arquitetura que responderam à pesquisa foram enquadradas de acordo com a Figura 2.

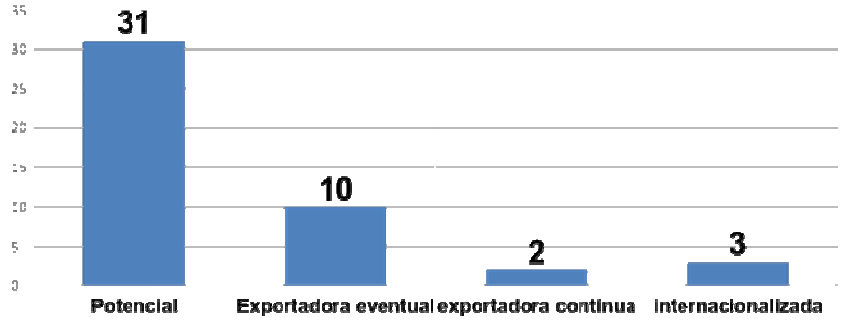
Figura 2 – Classificação das empresas pelo porte



Fonte : AsBEA; APEX (2015)

Após análise quantitativa e qualitativa dos questionários respondidos pelas 46 empresas pesquisadas, considerando-se apenas a frequência de exportação as empresas foram classificadas conforme a Figura 3.

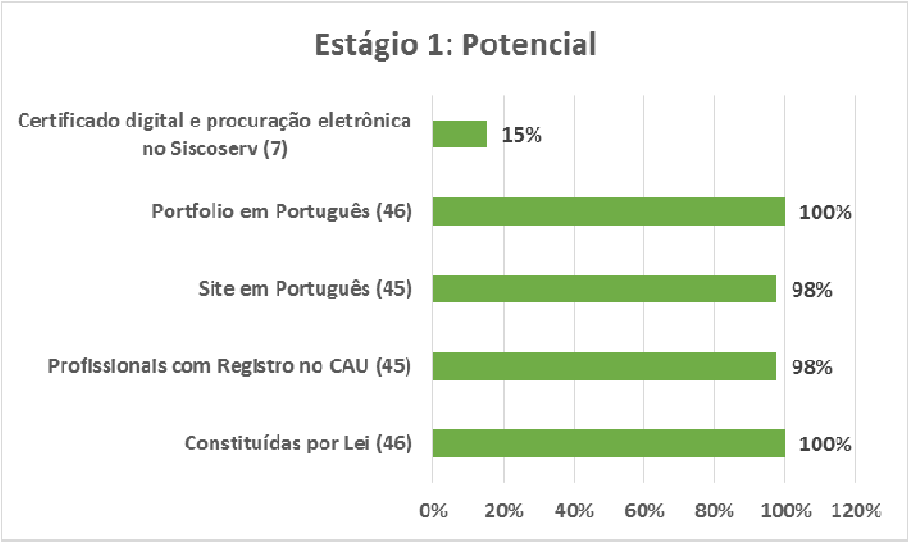
Figura 3 – Frequência de exportação por modelo de segmentação



Fonte : AsBEA; APEX (2015)

Como a segmentação é evolutiva, para o Estágio 1- Potencial, as empresas foram classificadas de acordo com os critérios apresentados no item 4 e nas Figuras 4,5,6 e 7.

Figura 4 – Distribuição das empresas de acordo com os critérios do Estágio 1



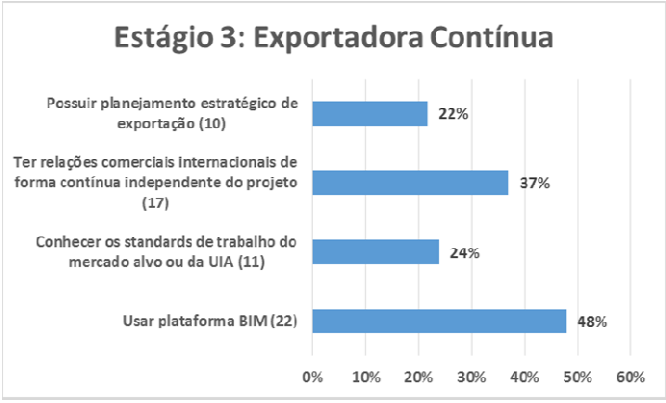
Fonte : AsBEA; APEX (2015)

Figura 5– Distribuição das empresas de acordo com os critérios do Estágio 2



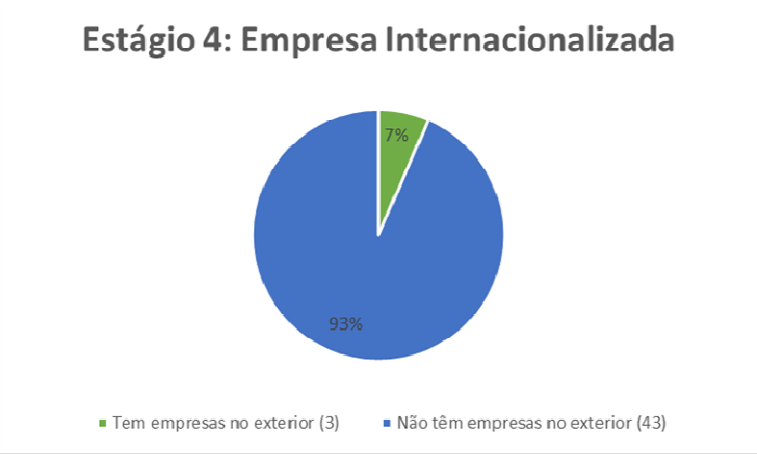
Fonte : AsBEA; APEX (2015)

Figura 6– Distribuição das empresas de acordo com os critérios do Estágio 3



Fonte : AsBEA; APEX (2015)

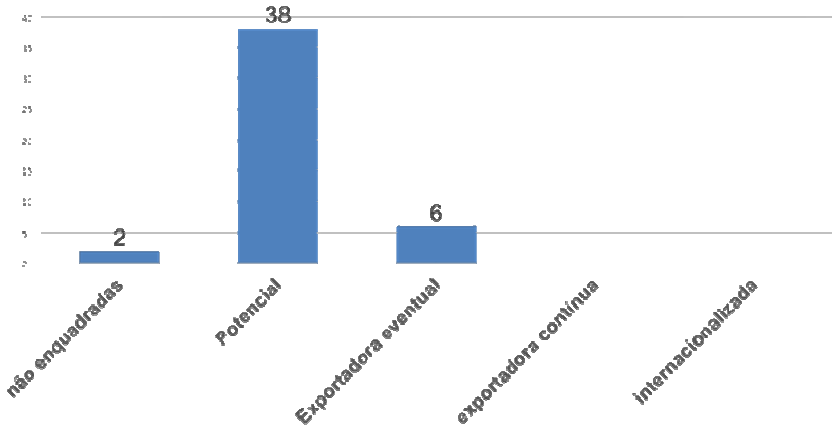
Figura 7– Distribuição das empresas de acordo com os critérios do Estágio 4



Fonte : AsBEA; APEX (2015)

Ao se considerar todos os critérios para a segmentação, a distribuição das empresas se mostra na figura 8.

Figura 8– Distribuição das empresas de acordo com a aplicação dos critérios de segmentação



Fonte : AsBEA; APEX (2015)

6 DISCUSSÃO

Observando as 46 empresas de projeto de arquitetura que responderam à pesquisa de maturidade exportadora entende-se que para o estágio 1 – potencial exportadora, a maioria atende aos critérios eliminatórios ou classificatórios conforme a figura 2. Ainda observa-se uma grande deficiência na formalização das empresas em relação à obtenção de certificados digitais no Siscoserv, pois apenas 7 das 46 empresas estão cadastradas neste sistema. Isso é prejudicial ao setor de exportação de arquitetura, pois uma vez que as exportações não passem pelo sistema, o setor perde apoio governamental na formulação de ações e políticas públicas por não apresentar e comprovar o volume das exportações.

Com relação ao estágio 2 - exportadora eventual, observa-se que ainda se atua de forma pontual e não contínua. De acordo com os dados

levantados, 67% das empresas mantém relações pontuais com empresas internacionais, preocupam-se com a gestão e planejamento para exportação e têm profissionais que trabalham dedicados a este setor. A baixa maturidade exportadora ainda é refletida na falta de possibilidades de se manter uma assessoria local (no exterior) para entendimento das exigências técnico/legais para cada mercado alvo em que trabalham (somente 11 empresas de 46 têm este tipo de relacionamento).
Considerando-se o estágio 3 – exportadora contínua, o critério mais desenvolvido nestas empresas é o BIM (*Building Information Modeling*), atentando-se que o questionário de pesquisa não entrava em profundidade nesta questão, então não sabemos também qual o nível de conhecimento da empresa para este critério. Somente sabemos que já têm interação com o processo de trabalho em Modelagem da Informação da Construção (BIM). A internacionalização leva ao desenvolvimento da empresa, pois a obriga a se modernizar, seja para conquistar novos mercados, seja para preservar suas posições no mercado interno. A atividade exportadora é o resultado de um planejamento estratégico direcionado para o mercado externo que envolve alguns pontos que devem ser questionados pelo empresário. Deve-se levar em consideração as definições de estratégias mercadológicas, as oportunidades e riscos envolvidos, se o serviço prestado possui demanda no exterior e se é competitivo. Tudo isso tem que ser visto pela empresa de arquitetura, ou seja, a mesma já deve ter esta maturidade administrativa e gerencial no mercado interno para que também possa agir desta forma no mercado externo. Desta forma, é de se preocupar que somente 10 empresas possuam planejamento estratégico de exportação o que representa 22% do total. A falta de conhecimento das normas internacionais como as da UIA, sobre a qual somente 11 empresas responderam que têm este conhecimento, mostra um despreparo em relação aos standards propostos em outros países.
E por fim, somente 3 empresas das 46 que responderam ao questionário têm escritório ou *joint-venture* com empresas no exterior. Isso mostra que para a maioria das empresas que estão no programa setorial da APEX - Built by Brazil, a exportação ainda não é uma prática frequente, e estas empresas ainda não estão preparadas para ter infraestrutura no exterior nem altos índices de exportação. Para as empresas que já se encontram neste modelo, os lucros oriundos da produção realizada no exterior são contabilizados como exportação.

7 CONCLUSÃO

Neste artigo, foi mostrado um estudo de caso com 46 empresas de arquitetura que fazem parte do projeto setorial de exportação em parceria com a APEX-BRASIL denominado Built by Brazil e coordenado pela AsBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura). Para a realização deste estudo de caso, foram criados critérios eliminatórios e recomendações para que as empresas pudessem ser enquadradas na matriz de maturidade exportadora. Ao se aplicar estes critérios observa-se uma baixa maturidade

exportadora das empresas, uma vez que 38 empresas das 46 que responderam foram classificadas como "potencial" e somente 6 como "exportadora eventual". De acordo com os critérios duas empresas foram desenquadradas e nenhuma apresentou maturidade de exportação contínua ou internacionalizada.

A internacionalização de escritórios de arquitetura se encontra fortemente relacionada à interação social e cultural mantida pela firma e por seus arquitetos com empresas no exterior. A integração social resulta de uma rede de relacionamentos pessoais, enquanto que a cultural pode se manifestar por meio de publicação de livros, desenhos, projetos, ou pelo currículo em termos de formação educacional. A construção de edificações de grande visibilidade no setor, a premiação em competições de design arquitetônico ou a conquista de licitações são importantes aspectos relacionados ao capital cultural e que podem influenciar no portfólio de exportação do serviço.

Mas é preciso se levar em conta alguns aspectos fundamentais na realização de serviços de arquitetura no exterior, como por exemplo o processo de aprovação do projeto, pode ser custoso, indo desde as aprovações locais até as globais. A cultura local, estrutura e rotinas das empresas para as quais está se exportando também devem ser muito bem estudadas e conhecidas. Deve se ter um bom canal com o profissional que é o ponto de contato no exterior, na empresa contratante.

Há de se considerar as questões globais de barreiras às exportações e que dependem e muito das ações do governo brasileiro para que estes obstáculos sejam quebrados. Estas barreiras podem abranger o protecionismo com relação às firmas locais, particularmente nos contratos de governo, os custos associados à realização de projetos no exterior, a falta de redes de contato no exterior, as diferenças culturais e de legislação e a regulamentação relativa a projetos de edificações. Também deve ser considerado o exercício da profissão, sendo que a regulamentação que rege o exercício da atividade de arquitetos estrangeiros varia bastante de país para país, podendo os arquitetos exercer a profissão independentemente ou devem obrigatoriamente se associar a um outro arquiteto local.

Em razão de todos estes pontos levantados, as empresas que tenham fortes indicadores para exportação devem se amparar de projetos setoriais, para que possam estar fortalecidas e terem um projeto de exportação bem-sucedido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA; AGÊNCIA BRASILEIRA DE PROMOÇÃO DE EXPORTAÇÕES E INVESTIMENTOS; MILAN, A. G; MATTOS FILHO. **A exportação de serviços de arquitetura.** Cartilha de uso do programa de exportação. São Paulo, 2015. Publicação interna.

_____ . **Programa de segmentação dos escritórios brasileiros de arquitetura**. Bento Gonçalves, RS. Milan Expert – Consultoria e treinamentos, 2015

(Estudo Técnico apresentado a AsBEA, APEX, Built By Brazil -2015).

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Circular No. 11/2010.** 2010. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/Circ011_10.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2016.

JEWELL, C.; FLANAGAN, R.; ANAC, C. Understanding UK construction professional services exports: definitions and characteristics. **Construction Management and Economics**, v. 28, n.3, p. 231-239. UK, 2010

MINISTÉRIO DA FAZENDA; MDIC MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **NBS Nomenclatura brasileira de serviços, intangíveis e outras operações que produzam variações no patrimônio.** Brasília, 2012. Disponível em : < http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1333484934.pdf> . Acesso em: 01 abr. 2016.

ROCHA, A.; CARVALHO, C.A.S.; MELLO, R.C. **Guia para internacionalização de serviços de arquitetura.** Rio de Janeiro: NUPIN – Núcleo de pesquisas em negócios internacionais. Pontifícia Universidade Católica, 2014. 22 p.

SCS SECRETARIA DE COMÉRCIO E SERVIÇOS; MDIC MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Guia básico para exportação de serviços.** Brasília: SCS;MDIC, 2014. Disponível em : < http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1426697517.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2016.

UIA INTERNATIONAL UINION OF ARCHITECTS. **UIA Accord on recomended international standards of professionalism in architectural practice**. In: XXVI General Assembly, 2014. Durban, South Africa, 2014. Disponível em : < http://www.uia.archi/sites/default/files/AIAS075164.pdf>. Acesso em: 23 mar.2016.

_____. **Architectural profession around the world**. 2015. Disponível em : http://www.uia.archi/EN/EXERCER/EXERCER-DANS-LE-MONDE/COMMISSION-UIA#.Vx4bOfkrJD9. Acesso em: 31 mar. 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DIRETRIZES DO PROCESSO DECISÓRIO PARA A INTERNACIONALIZAÇÃO DE EMPRESAS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL[1]

BRIDI, Paulo Eduardo Howe (1); MUTTI, Cristine do Nascimento (2)

(1) Engefisc, e-mail: bridi.pb@gmail.com;(2) UFSC, e-mail: cristine.mutti@ufsc.br

RESUMO

O conhecimento do processo decisório para a internacionalização de empresas da indústria da construção civil é fundamental para que sejam feitas escolhas acertadas pelas empresas, pois o elevado investimento de recursos necessários ao início da atividade em outros países pode comprometer a organização. Esta pesquisa se caracteriza como estudo de caso e teve a colaboração de três organizações brasileiras, sendo duas construtoras, uma que atua e outra que teve propostas para atuar no mercado internacional, e uma entidade de classe ligada à construção. Foram aplicadas entrevistas aos participantes do estudo, com questões baseadas nos trabalhos de autores reconhecidos da literatura sobre construção internacional e sobre tomada de decisão. A análise de dados revelou fatos sobre o processo decisório em internacionalização de empresas de construção civil. Identificou-se os passos necessários para o processamento de informações (montando equipes que atuam no exterior para coletar as informações), levantamento de alternativas (brainstorming com as pessoas envolvidas), avaliação das alternativas (considera-se mais indicado firmar uma parceria com uma empresa local) e fechamento da decisão (através da decisão coletiva com profissionais experientes).

Palavras-chave: Internacionalização de empresas. Estratégias empresariais. Indústria da construção civil. Tomada de decisão.

ABSTRACT

The knowledge of the decision-making process for the internationalization of companies in the construction industry is crucial for them to make good choices, since the high level of investment necessary for the beginning of an activity in other countries might jeopardize the organization. This research is characterized as a case study and involved the collaboration of three Brazilian organizations. Two of them were construction companies, one that operates in the international market and another that remained domestic despite receiving proposals to build outside the country, and an institution linked to construction industry. Interviews with participants in the study were made, with questions based on the work of recognized authors in the literature of international construction and decision-making. Data analysis revealed facts about the decision-making process in the internationalization of construction companies. The study identified: the required steps for the information processing (assembling teams that works overseas to collect information), alternative generation (brainstorming with people involved), alternative evaluation (establish a partnership with a local company is the most indicated), and decision closure (collective decision with expert professionals).

[1] BRIDI, Paulo; MUTTI, Cristine. Diretrizes do processo decisório para a internacionalização de empresas da indústria da construção civil no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Internationalization. Business strategies. Construction industry. Decision making.*

1 INTRODUÇÃO

O mercado global da construção deve ter crescimento maior que o PIB mundial nos próximos anos, chegando à movimentação anual de US$15 trilhões até 2025, ante os US$8,7 trilhões observados em 2012, o que representa um crescimento de 72% no período (GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES, 2013). No Brasil, a cadeia da construção possuía, em 2010, valor adicionado de aproximadamente R$300 bilhões, ou cerca de 8% do PIB brasileiro, empregando 14% do total de ocupados na economia, cerca de 11,3 milhões de pessoas (CONSTRUBUSINESS, 2012).

A participação de construtoras brasileiras no mercado internacional ainda é pequena frente às empresas dos países desenvolvidos. Entretanto, as empresas brasileiras estão habituadas a lidar com situações controversas, como diferentes climas, topografias e instabilidade financeira (MUTTI, 2004) podendo ser fortes concorrentes na disputa do mercado internacional.

A decisão tomada pelo gestor em internacionalizar ou não sua empresa deve ser bastante cuidadosa, pois uma escolha errada pode trazer resultados negativos se a companhia não suportar o elevado prejuízo que essa atitude pode causar. Para maior suporte decisor é importante que haja uma gestão eficiente da informação dentro da empresa (GUIMARÃES; ÉVORA, 2004 apud FLORIANI, 2007).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Construção Internacional

Uma empresa multinacional é aquela que realiza investimento estrangeiro direto e detém ou controla atividade de valor agregado em mais de um país (DUNNING; LUNDAN, 2008, p. 3). Diferente de uma empresa exportadora de produtos, com produção no país de origem, uma empresa internacional controla a atividade além das fronteiras de seu país.

Em comparação com a construção no mercado doméstico, a execução de projetos internacionais é caracterizada pela incerteza e altos ganhos, o que leva a perceber a dualidade da construção internacional (XIAOPENG; PHENG, 2013). A internacionalização das empresas da construção está relacionada à falta de demanda do mercado doméstico. Chen e Messner (2011) afirmam que as empresas estarão menos interessadas em negócios internacionais se a demanda interna for estável, com amplo mercado. Em contrapartida, a diversificação de mercados faz com que as empresas estejam menos expostas ao risco. Isso ocorre porque a instabilidade política, econômica ou social num dos países que a empresa atua tem um efeito menos intenso para a empresa pois o desempenho nos demais mercados é capaz de compensar as perdas.

A indústria da construção é "local" por natureza. As empresas oriundas de um determinado mercado possuem vantagens sobre as empresas estrangeiras no que se refere ao conhecimento da língua e dos procedimentos relacionados à cultura, conhecimento das leis e dos sistemas administrativos, rede de contatos já estabelecidos, entre outros (OFORI, 2003). Há ainda a escassez de normas no Brasil que regulamentem a transferência de trabalhadores para outros países, gerando incertezas na formalização de contratos (FATTINI, 2013).

Para a entrada no mercado internacional, é muito importante estabelecer o modo como será feita, sendo esse um dos aspectos fundamentais para que a empresa aumente suas chances de obter lucro e crescimento sustentável (CHEN; MESSNER, 2011).

2 2 Tomada de Decisão

Nos sistemas atuais de administração, a informação passou a ter destaque e com valor igual ou superior aos outros recursos organizacionais (LOUSADA; VALENTIM, 2013). O interesse pela gestão do conhecimento se intensificou quando se percebeu que a produção intelectual estava conseguindo gerar mais riqueza que a produção industrial, envolvendo aspectos estratégicos e individuais, dependentes do aprendizado e das capacidades do negócio (ALMEIDA; VASCONCELLOS, 2008). Desse modo, torna-se evidente que a organização que dispõe mais rapidamente de informações alcança melhor desempenho e competitividade em relação às suas concorrentes.

O decisor escolhe uma solução considerada a melhor entre as alternativas levantadas. Ela está ligada aos seus interesses, assim como a outros atributos externos como probabilidade, tempo e recursos (LÖBLER, 2005). O processo decisório, por sua vez, é o procedimento realizado para se chegar à melhor alternativa. Segundo Malakooti (2010), esse processo é constituído por quatro etapas:

a) Processamento das informações: como as pessoas veem e processam os dados e informações;
b) Levantamento das alternativas: o padrão dos tomadores de decisões em gerar alternativas;
c) Avaliação das alternativas: abordagem dos tomadores de decisões para a avaliação das alternativas;
d) Fechamento da decisão: abordagem realizada para a finalização da decisão.

Esta última etapa é afetada também pelos atributos pessoais do decisor e suas experiências passadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de estudo de caso múltiplo, através do exame detalhado de três unidades. Buscou-se investigar empresas construtoras que possuíssem como

escopo principal a execução de obras de infraestrutura, industriais e públicas, usualmente as que exportam seus serviços. Duas empresas participaram do estudo: uma de porte médio, que nunca havia internacionalizado seus serviços, mas que já teve a oportunidade para tal, e uma de grande porte que já atua no mercado internacional e busca a expansão para outros mercados. A seleção foi favorável, pois as duas empresas mostraram a problemática "tomada de decisão" por diferentes perspectivas: a de empresa que decidiu negativamente para a internacionalização, e a de empresa internacionalizada. Também participou uma entidade de classe com vasto conhecimento sobre o assunto e o mercado, para servir de referencial por retratar uma situação ideal ou de boas práticas.

Para a obtenção dos dados foram realizadas entrevistas compostas por 19 perguntas divididas em quatro blocos, para:

i) Identificação da empresa e entrevistado;
ii) Verificação do grau de internacionalização das empresas participantes e entendimento da Entidade sobre o assunto, com questões baseadas nos trabalhos de Mutti (2004), Chen e Messner (2011), entre outros;
iii) Investigação do processo de tomada de decisão adotado pelas empresas e qual a melhor situação segundo a Entidade, abordando o tema a partir do processo decisório descrito por Malakooti (2010); dividido em: Processamento das informações; Levantamento e avaliação das alternativas; Fechamento da decisão;
iv) Avalição das empresas a respeito das decisões tomadas para a construção internacional.

Com duração média de 50 minutos, as entrevistas foram realizadas com o Diretor-Presidente da Empresa A, com um dos diretores responsáveis pela área internacional da Empresa B, e com o Diretor-Geral da entidade de classe.

Caracterizou-se empresas e entidade através de dados dos sites, relatórios anuais, livros institucionais e informações dadas pelos entrevistados.

O dados foram, então, analisados a fim de identificar quais os pontos mais relevantes para as 2 empresas para a tomada de decisão em relação à internacionalização. As respostas dadas à entrevista pelo representante da entidade se referem ao que este pensa ser o mais efetivo para as empresas do setor através da observação constante do cenário e movimentação destas. Em seguida analisaram-se similaridades e divergências entre o modo de agir e pensar pelas diferentes organizações estudadas, obtendo-se fatos sobre a boa prática da tomada de decisão referente à construção internacional. O roteiro das entrevistas pode ser encontrado em Bridi (2014).

4 RESULTADOS

As análises estão estruturadas de modo análogo à realização da entrevista. Ao final das discussões são identificados os fatos na respectiva etapa do processo de decisão em internacionalização. O quadro 1 apresenta a caracterização das organizações estudadas.

Quadro 1: Empresas/Entidade.

	Empresa A LTDA.	**Empresa B S.A.**	**Entidade**
Fundação /Estado	1984/Santa Catarina	1968/Minas Gerais	1947/São Paulo
Atividades	Construção de grandes obras comerciais, industriais ou públicas. Recentemente: incorporação de imóveis residenciais	No início atuava nas áreas de mineração e construção rodoviária. No início dos anos 2000 focou sua atividade em construção pesada (aeroportos, barragens, ferrovias, hidrelétricas, etc).	Com mais de 100 associadas, atua na defesa dos interesses das empresas construtoras do Estado de São Paulo. Associadas: maiores exportadoras de serviços de brasileiras.
Obras fora da sede: ano/locais	1999/ Santos e depois Mato grosso e Mato grosso do Sul, Tocantins, Piauí, São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Rio Grande do Sul	Década de 80/ Expandiu a atuação para outros estados do Brasil. 2000/ Primeiro contrato internacional	Não se aplica
Internacionalização	Não internacionalizou. Convidada em duas ocasiões para a construção de indústrias por empresas no Chile e no Paraguai. Estudou proposta para operar no Peru, em parceria com uma empresa Espanhola da rede de sua relacionamentos, mas decidiu não firmar o contrato até a data da pesquisa.	Na data da pesquisa: duas filiais no exterior (Moçambique e Angola). Na Angola foram realizadas duas obras, enquanto em Moçambique um projeto de construção encontra-se em fase de estruturação. Teve duas outras filiais fora do Brasil – Líbia e Omã – mas foram encerradas sem o fechamento de contratos.	As empresas quando organizadas através da Entidade criaram condições para analisar o mercado da construção no Brasil e no exterior, indicando as prioridades, adequando mão de obra qualificada, desenvolvendo e investindo em novas tecnologias, tornando-se essenciais para a expansão continuada das empresas.

Fonte: Bridi (2014)

4.1 Análise comparativa

Ao investigar as motivações para a internacionalização empresas de construção civil brasileiras, a Entidade afirma que fazem para que continuem em pleno crescimento, já que não é possível a expansão no mercado

interno devido à demanda limitada. Para a Empresa B a razão é diminuição dos riscos da empresa através da diversificação, onde as oscilações do mercado brasileiro e dos outros mercados em que a empresa atua se compensem e evitem sua diminuição de tamanho, e consequente perda de pessoal. Ambas expõem que ir para o exterior faz com que a empresa absorva novas tecnologias em seus métodos construtivos e de gestão, mas a Entidade ainda acrescenta que isso faz com que a imagem e a competitividade das empresas melhorem frente a seus concorrentes no mercado doméstico. A Empresa A, ao contrário, tem preferência por considerar casos onde possa levar ao país tecnologias que ainda não são utilizadas naquele mercado. Por não ter internacionalizado, esta última destacou que as barreiras trabalhistas e fiscais dificultam a ida de empresas ao mercado externo, pois diminuem os ganhos da operação, principalmente se tratando de pequenos projetos.

Para a Empresa A, para a qual a atuação internacional não é prioridade estratégica, as oportunidades que surgiram foram trazidas à empresa por sua rede de relacionamentos, sem que esta fosse buscar os contratos. Em contrapartida, para as duas outras organizações, uma empresa que deseja construir em outros países necessita ir até o mercado à procura de contratos, processo que necessita de tempo, normalmente de cinco a sete anos, e de grande investimento de recursos, sem garantias de retorno.

Sobre as características que são analisadas em um novo mercado ou contrato, a Empresa A menciona as questões trabalhistas e as legislações, e as barreiras impostas para ingressar em um novo mercado. A grande preocupação pode ser explicada pela dificuldade encontrada nesses aspectos no momento que avaliaram ir para os mercados do Paraguai e do Chile. A Empresa B, principalmente devido ao fato de o entrevistado ser especializado em estruturação de negócios internacionais, coloca o financiamento como característica do país, ao contrário da Entidade que associa com o contrato. A Empresa B o faz desse modo, pois acredita que devido ao fato de os governos serem os principais contratantes de obras, seu risco soberano influencia os bancos na concessão de crédito para financiar seus projetos.

Fato 1a: As empresas ficam de tal tamanho que para continuar crescendo, e mitigar os riscos de oscilação de demanda, vão ao exterior buscar contratos para venderem seus serviços.

Fato 1b: Procuram obras de grande porte em países com perspectivas de atrair investimentos (mão de obra de baixo custo), mas que disponibilizem segurança física e jurídica à empresa e seus colaboradores, e que tenham capacidade de adquirirem financiamentos.

Processamento das informações

A Empresa A, que nunca atuou no mercado internacional, optou por buscar as informações sobre o mercado pretendido no Brasil, a partir da estrutura já

existente na sede da empresa, principalmente realizando análises documentais. As construtoras de maior porte e que já atuam no mercado internacional se arriscam mais montando uma equipe que vai até o local em busca de contratos, para estudar o mercado, encontrar possíveis sociedades e analisar o comportamento dos clientes. As empresas maiores podem se permitir esse risco, pois possuem maior disponibilidade de recursos. Vale ressaltar que a Empresa A também considerou levar uma equipe até o local em que a obra seria realizada, mas somente no momento onde a contratação estivesse mais próxima de ser concretizada. A Empresa B ainda destaca que as embaixadas brasileiras nos países podem fornecer informações valiosas sobre o mercado, além de facilitar a entrada da empresa naquele país, e que dificilmente um país onde não há embaixada brasileira será um bom mercado a se investir.

As duas empresas estudadas não utilizam procedimentos padronizados para o armazenamento e processamento das informações coletadas, embora a Entidade afirme que, de modo geral, as empresas possuem metodologias para isso, algo que pode se restringir às maiores empresas do setor. A Empresa B ainda reconhece que deveria haver um procedimento, mas que é difícil criar uma metodologia. Softwares específicos para essa finalidade não são utilizados pela Empresa A e pela Empresa B, e esta última ainda acrescenta que há dificuldade em padronizar a análise de um contrato para ser utilizado um programa computacional. A Empresa A afirmou que armazena as informações contidas nos relatórios elaborados para os estudos na área internacional em pastas específicas e organizadas no servidor da empresa. Em contrapartida a Entidade diz que as empresas necessitam de uma área de inteligência que vise o desenvolvimento de um database para gerenciar as informações.

Fato 2: As empresas montam equipes no exterior para coletar as informações, que são processadas e armazenadas numa estrutura simples de banco de dados (pastas em servidores).

Levantamento das alternativas

Quando questionadas sobre quem, dentro da empresa, participa do levantamento das alternativas possíveis para a internacionalização as três organizações consultadas deram respostas divergentes, o que não permite a identificação clara dos envolvidos. Entretanto é possível dizer que o departamento Jurídico, de Recursos Humanos e de Orçamento tem grande influência nessa etapa do processo, pois são citados por, ao menos, duas das organizações.

Para a Empresa B, que já passou por todas as etapas do processo de internacionalização, a técnica utilizada para levantar as alternativas é o brainstorming, ou seja, reúnem-se os principais envolvidos numa sala para que sejam levantadas as ideias e, na sequência, discutir as possibilidades.

Fato 3: Os responsáveis pelo departamento Jurídico, de Recursos Humanos,

de Engenharia e de Orçamento, além dos outros interessados, realizam um brainstorming para levantar as alternativas à internacionalização.

Avaliação das alternativas

As duas empresas e a Entidade são unânimes em afirmar que a melhor alternativa para a entrada num novo mercado é estabelecendo uma parceria ou sociedade com uma empresa local, pois esta já possui profundo conhecimento do mercado, do governo e outras características importantes à introdução num novo país. A Entidade acredita não ser boa alternativa a compra de uma empresa já estabelecida no país que se entra pois assim estaria impondo também a cultura da empresa brasileira para esta, substituindo as práticas e conhecimentos, o que elimina as vantagens supracitadas. Contudo, a Empresa A se posiciona a favor dessa estratégia, que já se mostrou eficiente para outras empresas da construção civil estudadas por Mutti (2004). A aquisição de uma empresa local pode trazer benefícios para uma empresa que explora um novo mercado, principalmente para superar barreiras protecionistas impostas pelos governos, exigindo que as empresas sejam nacionais para participarem das concorrências.

Fato 4: Firmar uma parceria ou sociedade com uma empresa do país que se entra.

Fechamento da decisão

O fechamento da decisão dessas empresas não está baseado em metodologias preestabelecidas, mas sim na experiência do grupo que é formado para auxiliar a decisão e o discernimento do decisor.

A Empresa A consulta, antes de fechar a decisão, outros empresários, mesmo que de outros segmentos de mercado. Apesar de nem sempre seguir as sugestões dadas por eles, o entrevistado afirma que o ajuda na decisão. Por se tratar de uma consulta realizada próxima do fechamento da decisão considerou-se pertencente a esta última etapa, embora possa ser confundida com a avaliação das alternativas. Por outro lado a Empresa B defende a criação de um comitê interno, formado por profissionais experientes, que além de atuar na avaliação das alternativas apoia o fechamento da decisão, que se mesclam nas sucessivas etapas que a empresa passa para tomar decisões em internacionalização.

É perceptível a preocupação das empresas com treinamento dos tomadores de decisão, embora este seja feito, segundo a Entidade e a Empresa B, baseado na prática, algo desaconselhado pela literatura. O que se vê nas empresas internacionalizadas é, segundo a Entidade, o envio de pessoal experiente para o exterior e que tenha capacidade de tomar decisões, e junto com eles são mandados profissionais ainda sem conhecimento na área para que sejam treinados com a prática. A Empresa

B também adota a estratégia de enviar profissionais experientes para as unidades internacionais, e complementa dizendo que o faz para diminuir a necessidade de contatos com a sede da empresa para as decisões mais rotineiras, devido à dificuldade de comunicação à distância, mas isso só é válido até certo nível de decisão. A Empresa A, por outro lado, apesar de não ter internacionalizado treina seus líderes a tomar decisões através de cursos, workshops, e estimula o desenvolvimento dessas pessoas.

Fato 5: A decisão é, normalmente, tomada em grupo, com base na experiência das pessoas envolvidas e sem a utilização de ferramentas computacionais. Esses profissionais adquirem experiência através do incentivo das empresas ao treinamento.

5 CONCLUSÕES

Atualmente o mercado para a construção civil em determinados locais se encontra reprimido. Há também diversos conflitos em países e isso faz com que deixem de ser opção para investimento.

Diante disso, nos países que continuam ser atrativos à construção civil a concorrência aumenta consideravelmente, exigindo das empresas decisões mais acertadas para a entrada em novos mercados, bem como para a expansão nos que já atuam. Contudo, os benefícios trazidos pela atividade internacional das empresas brasileiras acabam sendo compensatórios.

Percebeu-se que a principal motivação das empresas brasileiras à atuação internacional é a necessidade de adicionar mercado para que possam continuar crescendo, visto que a limitada demanda do mercado doméstico não é suficiente para absorver os serviços de todas as empresas. É também motivo a mitigação de riscos buscada pelas construtoras por não estarem susceptíveis somente às oscilações do mercado interno.

É difícil identificar com clareza o caminho percorrido pelas informações até que sejam utilizadas como subsídio à tomada de decisão. Entretanto, descobriu-se com a pesquisa que as informações mais valiosas sobre um novo mercado devem vir de equipes que atuam naquele local coletando dados, e estes devem ser formalizados e armazenados, mesmo que nos servidores da empresa. Contudo, a literatura sugere uma gestão mais eficiente da informação do que se percebeu como prática das empresas, pois isso traduz-se em competitividade. Ainda, é complexa a identificação do fluxo da informação dentro das organizações.

Vale ressaltar que, de modo geral, as empresas dão pouca atenção ao treinamento de seus gestores para a tomada de decisão. Isso vai de encontro à literatura consultada, que diz ser negligência ao processo decisório a falta de preparo dos gestores, por acreditarem que a tomada de decisão é aprendida de forma empírica, o que pode levar a cometer erros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R. D.; VASCONCELLOS, E. Gestão do conhecimento, estrutura organizacional e internacionalização: o caso da construtora Norberto Odebrecht. In: VASCONCELLOS, Eduardo. **Internacionalização, Estratégia e Estrutura: O que podemos aprender com o sucesso da ALPARGATAS, AZALÉIA, FANEM, ODEBRECHT, VOITH e VOLKSWAGEN.** São Paulo: Atlas, 2008. p. 91-130.

CHEN, C.; MESSNER, J.. Characterizing entry modes for international construction markets: Paving the way to a selection model. **Engineering, Construction And Architectural Management.** Bingley, p. 547-567. jun. 2011.

CONSTRUBUSINESS. Departamento da Indústria da Construção; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Competitividade Sustentável na Cadeia da Construção.** In: Congresso Brasileiro da Construção, 10. São Paulo, 2012.

DUNNING, J. H.; LUNDAN, S. M. **Multinational Enterprises and the Global Economy.** 2. ed. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2008. 920 p.

FATTINI, F. **CLT vale para empregado transferido para o exterior.** 2013. Disponível em: <http://www.conjur.com.br/2013-mar-05/fernanda-fattini-clt-vale-empregado-transferido-exterior>. Acesso em: 23 jun. 2014.

FLORIANI, V. M. **Análise do fluxo informacional como subsídio ao processo de tomada de decisões em um órgão municipal de turismo.** 2007. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Informação, Departamento de Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES; OXFORD ECONOMICS. **Global Construction 2025: A global forecast for the construction industry to 2025.** Londres: Global Construction Perspectives And Oxford Economics, 2013. 11 p.

LÖBLER, M. L. **Processamento da Informação: uma avaliação dos diferentes níveis de conhecimento no processo de decisão.** 2005. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LOUSADA, M.; VALENTIM, M. L. P. Modelos de tomada de decisão e sua relação com a informação orgânica. **Perspectivas em Ciência da Informação.** v. 16, n. 1, p.147-164, jan. 2011.

MALAKOOTI, B. Decision making process: typology, intelligence, and optimization. **Springer Science+Business Media.** p. 733-746. jun. 2010.

OFORI, G. Frameworks for analysing international construction. **Construction Management and Economics,** v. 21, n. 4, p. 379-391, 2003. 93

XIAOPENG, D.; PHENG, L. S. Understanding the Critical Variables Affecting the Level of Political Risks in International Construction Projects. **Ksce Journal Of Civil Engineering.** p. 895-907. jul. 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

SINERGIA ENTRE CONSTRUÇÃO VERDE, CONSTRUÇÃO ENXUTA E BIM PARA INTERNACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA[1]

DANTAS FILHO, João Bosco P. (1); CÂNDIDO, Luis Felipe (2); BARROS NETO, José de Paula (3)

(1) IFCE, e-mail: arquibosco@gmail.com; (2) UNICHRISTUS, e-mail: luisfcandido2015@gmail.com; (3) GERCON/UFC, e-mail: barrosneto@gmail.com

RESUMO

Construção Verde, Construção Enxuta e BIM são temas centrais da transformação em andamento da indústria arquitetura, engenharia e construção. Os três temas se sobrepõem no dia a dia das empresas de projeto e construção que buscam os seus benefícios e procuram aplicar na prática os princípios e estratégias orientados por cada tema. Intuitivamente, parece haver significativa sobreposição entre os três temas, porém, observa-se que o ambiente científico estuda apenas as interações dos temas em pares. Dessa forma, este trabalho investiga as interações entre os três conceitos com o objetivo de propor um framework conceitual. Assim, o problema de pesquisa é: como é a estrutura da integração da rede de construção verde, Construção enxuta e BIM? O método utilizado foi a revisão sistemática da literatura buscando interações dos termos aos pares. Conclui-se que há uma lacuna do conhecimento que demanda a investigação científica com a integração dos três temas. Este trabalho contribui para compreensão dos desafios e as perspectivas da internacionalização da construção na medida que reúne uma revisão de literatura que associa os três temas que atualmente transformam internacionalmente a construção.

Palavras-chave: Construção verde. Construção enxuta. BIM.

ABSTRACT

Green Building, Lean Construction and BIM are central themes of the ongoing transformation of the architecture industry, engineering and construction. The three themes overlap on the day of design and construction firms that seek its benefits and seek to apply in practice the principles and strategies guided by each subject. Intuitively, there appears to be significant overlap between the three themes, however, it is observed that the scientific environment only studies the interactions of the subjects in pairs. Thus, this work investigates the interactions between the three concepts in order to propose a conceptual framework. Thus, the research problem is: how is the structure of the integration of green building network, lean construction and BIM? The method used was a systematic review of the literature looking for interactions of the terms in pairs. We conclude that there is a knowledge gap that requires scientific research to the integration of the three themes. This work contributes to understanding of the challenges and prospects of the construction internationalization as it brings together a literature review that links the three themes that currently internationally transform the building.

[1] DANTAS FILHO, J. B. P; CÂNDIDO, L. F; BARROS NETO, J. P. Sinergia entre Construção Verde, Construção Enxuta e BIM para internacionalização da construção: uma revisão sistemática da literatura. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Green building. Lean construction. BIM.*

1 INTRODUÇÃO

Construção Enxuta, Construção Verde e BIM são temas centrais na transformação em curso da Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Intuitivamente parece haver sobreposição significativa entre os três temas. Porém, a comunidade científico tem estudado apenas as interações dos temas em pares tornando os benefícios de sua integração pouco conhecida.

Tais temas emergem, no âmbito da indústria de AEC brasileira, em uma conjuntura econômica de dificuldades, vetor que motiva às empresas avistar novos horizontes de atuação, dentre estes à internacionalização (NAVARRO; ALENCAR, 2016). Porém, para conseguir cumprir as metas de crescimento, as empresas precisam adquirir novas competências e capacidades para tornar-se competitiva frente ao novo contexto mercadológico que atuará, lacuna que pode ser preenchida pelos temas em apreço neste trabalho.

Verifica-se que a construção começou a adotar os princípios da Construção Enxuta. Verifica-se, também, a adoção do Building Information Modelling (BIM), a fim de melhorar a qualidade dos projetos de construção e evitar que problemas de compatibilização, falta de detalhamento, de construtibilidade, dentre outros, sejam descobertos apenas durante a construção. Paralelamente, verifica-se também grande quantidade de adesão voluntária aos sistemas de certificação de construção Verde tornando-se gradualmente uma exigência projeto de empresas que buscam a diferenciação de seus produtos no cenário da cidade. Porém, a implantação de tais temas na indústria de AEC têm ocorrido de forma não estruturada, de forma fragmentada e conduzidas por diferentes setores da empresa e, muitas vezes, por diferentes empresas que atuam em um mesmo projeto.

Diante do crescente interesse verificado nos três temas, este trabalho investiga as conexões entre eles com o objetivo de propor um quadro de integração conceitual.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho inclui a conceituação de construção verde, construção enxuta e BIM, além de aspectos de formulação estratégica das empresas de construção para o processo de internacionalização. Tal referencial propicia condições para análise da contribuição da sinergia entre os temas e de seus impactos para a internacionalização das empresas de construção.

2.1 Construção verde

A filosofia da construção verde foi o resultado de uma significativa preocupação do desempenho ambiental dos projetos na década de 80

(Kibert, 1994 *apud* ROSENBAUM; TOLEDO; GONZALEZ, 2012). Tal conceito foi expandido e hoje abrange, também, o viés social e econômico, o que deu origem ao tripé da sustentabilidade (ELKINGTON, 1999), o qual foi adotado neste trabalho.

Atualmente observa-se a sistematização de requisitos de projeto de diversas especialidades em sistemas de avaliação de construção sustentável. Eles vêm ganhando ampla difusão por permitirem a verificação da relevância em sustentabilidade de projetos autodeclarados sustentáveis.

Assim servem de garantia para os consumidores não investirem em empreendimentos que possuem baixa relevância sustentável e servem ainda de um diferencial de *marketing*. Os sistemas de avaliação são compostos por várias categorias de requisitos como, por exemplo, o LEED que está dividido em: localização e transporte; terreno sustentável, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade ambiental interna, eficiência em água (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2016).

2.2 Construção Enxuta

A Construção Enxuta refere-se à aplicação e adaptação dos conceitos e princípios do Sistema Toyta de Produção (STP) à construção. A utilização do termo Construção Enxuta foi cunhado por um grupo de pesquisadores em 1993 que fundaram o *International Group for Lean Construction* (IGLC, grupo internacional da construção enxuta) (KOSKELA, 2004) e que teve como base trabalho seminal de Koskela (1992).

A grande mudança ocorrida com o surgimento da Construção Enxuta foi reconhecimento do fluxo do processo como parte gerenciável em detrimento da visão da conversão(KOSKELA, 1992), o que implicou em uma mudança drástica na nova forma de enxergar os processos envolvidos na construção.

As aplicações e os conceitos associados à Construção Enxuta são explorados até hoje por profissionais e praticantes, sendo possível apontar que seus desdobramentos produziram um ciclo virtuoso de melhoria contínua, podendo-se resumir seu principais princípios em: reduzir a variabilidade; reduzir tempos de ciclo; reduzir o tamanho dos lotes; aumentar a flexibilidade; padronizar, dentre outros (SACKS et al., 2010).

Os princípios e técnicas de redução de resíduos utilizadas na construção enxuta e construção sustentável podem ser, eventualmente, entendidos como similares, porém o foco de cada um é diferente (GOLZARPOOR; GONZALEZ, 2013). A construção enxuta tem foco na racionalização do processo produtivo e organização do trabalho, o que conduz naturalmente à uma redução do consumo dos recursos e seu consequente descarte (VASCONCELOS et al., 2015), o que também é foco da construção verde.

2.3 Building Information Modeling (BIM)

O termo BIM é compreendido como um conjunto de ferramentas, processos,

e tecnologias que são facilitadas por máquina digital de leitura de documentação sobre um edifício, sua performance, seu planejamento, sua construção e seu funcionamento(EASTMAN et al., 2011). Conforme o Manual BIM, ele é a base para novas capacidades de construção e mudanças nos papéis e relações entre a equipe do projeto. Quando implementado de forma adequada, o BIM facilita a integração do processo de concepção e de construção, o que resulta na melhoria da qualidade dos edifícios, na otimização dos custos e confiabilidade da duração de um empreendimento de construção.

O BIM possibilita a integração entre construção enxuta e verde da fase de concepção à fase de conclusão de um projeto (AHUJA; SAWHNEY; ARIF, 2014).

A amplitude e a profundidade das interligações entre BIM e construção enxuta implicam que qualquer empresa ou projeto baseado em construção enxuta deve considerar seriamente o uso de BIM para melhorar os seus resultados (SACKS et al., 2010).

A utilização de um software de sustentabilidade baseado em BIM gera resultados muito mais rapidamente em comparação com os métodos tradicionais, e isso pode economizar tempo e recursos substanciais (AZHAR et al., 2011).

2.4 Internacionalização da construção

Internacionalização das empresas é um processo em que as empresas aumentam gradualmente o seu envolvimento internacional (JOHANSON; VAHLNE, 1977).

As empresas de construção estão expostas ao desafio de competir dentro de mercados internacionais que são incertos e em expansão (KORKMAZ; MESSNER, 2008). Porém, por terem várias especializações: construção civil, petroquímica, elétricos e mecânicos, podem operar em mercados no exterior usando diferentes vias abertas para elas (MAQSOOM et al., 2014).

São fatores que influenciam de forma significativa a decisão de empresas em sua expansão para o mercado exterior: (a) a intensidade da concorrência; (b) existência de requisitos rigorosos de qualidade; (c) proximidade de concorrentes e país de acolhimento; e (d) competitividade internacional da empresa (ISA; SAMAN; NASIR, 2014).

Empresas desejam expandir internacionalmente devem se equipar com elevado nível de experiência internacional relacionado com projetos e concorrentes, bem como, com informações adequadas sobre o mercado externo para entender o social, o cultural as regras e os regulamentos do país de acolhimento (ISA; SAMAN; NASIR, 2014).

Estudos indicam que empresas com níveis mais elevados de gestão ambiental estratégica estão associados com maiores graus de internacionalização, dessa forma, as empresas de construção que desejam expandir seus negócios globalmente precisam instituir capacidades

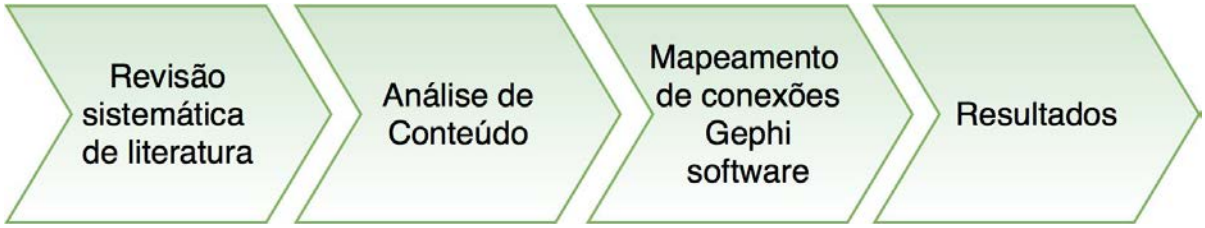
ambientais básicas, como forma de melhorar suas imagens públicas e como uma fonte de vantagem competitiva contra seus concorrentes (CHEN; ONG; HSU, 2015).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa realizou uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). A RSL pode ser considerada uma estratégia de pesquisa que proporciona uma síntese de conhecimentos sobre uma área do conhecimento de interessa que não é possível por um estudo individualmente (MUIANGA; GRANJA; RUIZ,2015). O processo de seleção dos indicadores para a RSL resultou em uma amostra com 131 artigos, os quais foram analisados qualitativamente.

A Figura 1 apresenta o delineamento da pesquisa cujas etapas foram detalhadas a seguir.

Figura 1 – Delineamento da Pesquisa



Fonte: Os autores.

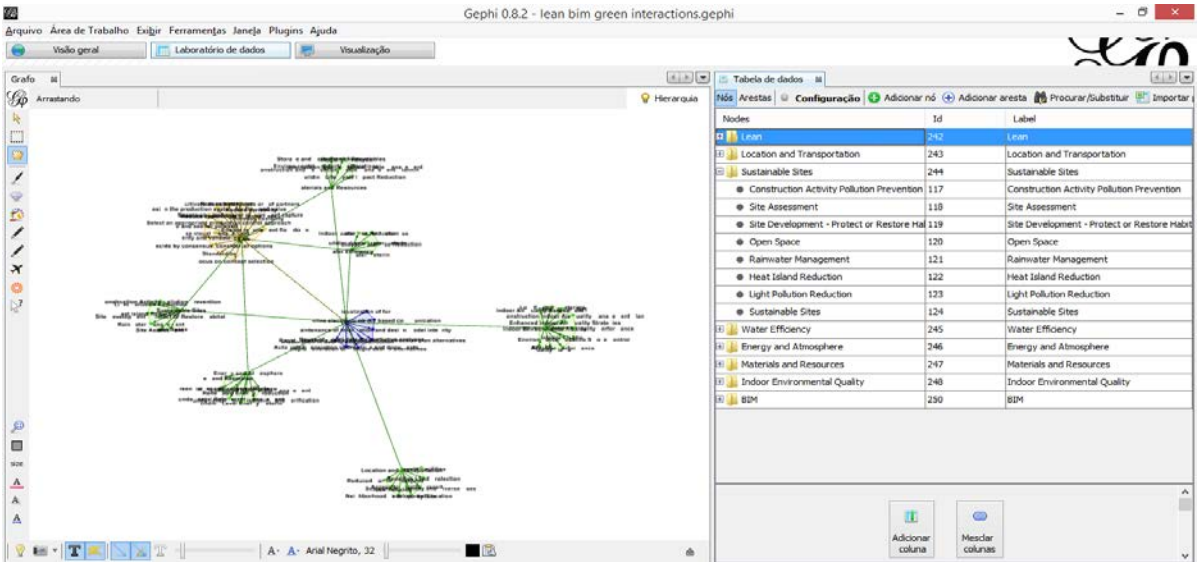
Para a revisão sistemática de literatura utilizou-se as bases de dados da plataforma *ScienceDirect* e os anais de congresso do Grupo Internacional de Construção Enxuta (IGLC). As palavras chaves escolhidas foram *Lean Construction*, *Green architecture* e *Building Information Modelling* (BIM).

O portal *ScienceDirect* foi escolhido porque é considerado um das principais fontes para a pesquisa científica, técnica e médica do mundo. É líder em banco de dados de textos científicos completos oferecendo artigos de periódicos e capítulos de livros com cerca de 2.500 periódicos e 30.000 livros. Já o Grupo Internacional da construção enxuta (*International Group for Lean Construction - IGLC*) foi escolhido por congregar profissionais e pesquisadores em AEC que pesquisa e aplicam a construção enxuta.

Delimitou-se o período de 10 anos com o objetivo de se verificar a frequência de publicações ao longo dos anos. Restringiu-se os resultados para trabalhos que investigaram a associação dos conceitos aos pares.

A análise de conteúdo focou em identificar quais relações entre os termos estavam sendo estudadas para sustentar pontos de conexão entre os termos. Em seguida, as conexões identificadas na revisão de literatura foram estruturadas para que pudessem ser analisadas com *software* Gephi (Figura 2) de visualização e análise de redes.

Figura 2 – A estrutura de rede no software Gephi



Fonte: Os autores.

O Gephi é um programa de código aberto que possibilita a exploração e manipulação de gráficos e a análise de redes com um foco especial em redes hierárquicas de *clusters* (BASTIAN; HEYMANN; JACOMY, 2009). Os gráficos gerados foram utilizados para analisar as rede de colaboração multidisciplinar entre os pesquisadores (FERRAZ; QUONIAM; ALVARES, 2014).

Além da visualização da rede, o Gephi possibilita o cálculo de algumas métricas de análise de rede social que, por sua vez, permitem identificar aspectos, tais como: a) padrões de relacionamento entre os atores de uma rede; b) a conectividade entre os mesmos; c) a formação de clusters; d) a evolução da rede ao longo do tempo e, e) o fluxo de comunicação, informação e conhecimento dentro da rede (GIORDANO; BRUNING; BORDIN, 2015).

Escolheu-se a utilização do Gephi para realização deste trabalho pois tem a capacidade de lidar com grandes conjuntos de dados de forma eficiente e produzir uma gama de opções de visualização, análises e investigação inovadoras conforme defendido por outros autores da área da construção civil (AL HATTAB; HAMZEH, 2015; MISHRA et al., 2016).

Verificou-se que os trabalhos selecionados são relevantes, mas possuem um recorte temático pontual garantindo a pertinência do presente trabalho que visa relacionar os temas de forma mais abrangente. A seguir, os resultados são apresentados e discutidos.

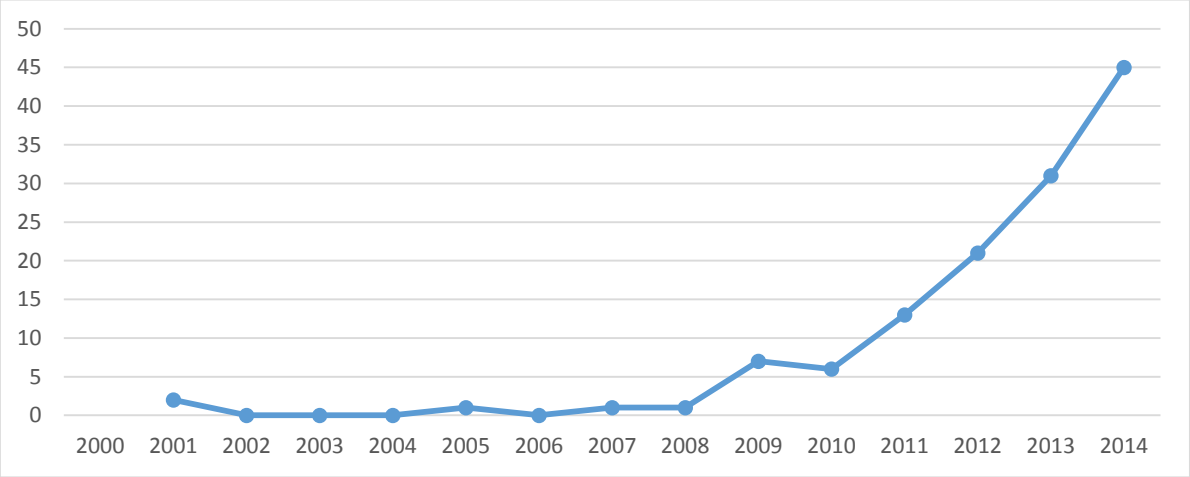
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização das publicações revisadas

A seleção final dos artigos resultou em 131 artigos relevantes relacionadas a três tipos de combinação dos temas: (1) Construção verde associada a Construção Enxuta, (2) Construção Enxuta associado ao BIM e (3) BIM

associado a Construção verde. A Figura 3 apresenta a distribuição temporal dos artigos encontrados ao longo dos anos.

Figura 3 – Comportamento das publicações ao longo dos anos



Fonte: Os autores.

Destaca-se significativo crescimento a partir de 2009. Como veículo de publicação, verifica-se que o *Automation in Construction*. A Tabela 1 apresenta a lista completa dos periódicos que possuem artigos no tema.

Tabela 1 – Comportamento das publicações ao longo dos anos

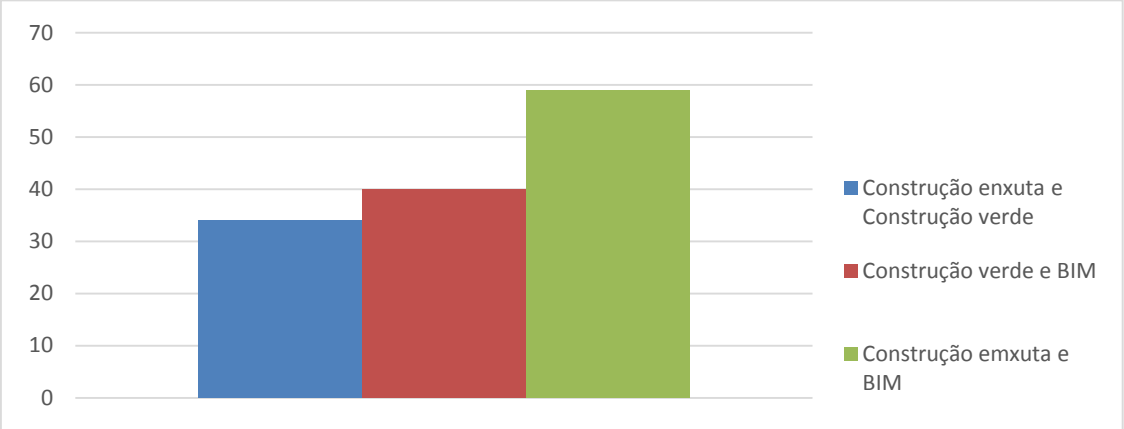
Veículo de Publicação	**Tipo**	**Ocorrência**	**%.**
Automation in Construction	Periódico	70	53%
Journal of Cleaner Production	Periódico	24	18%
International Group for Lean Construction (IGLC)	Anais	14	11%
Advanced Engineering Informatics,	Periódico	9	7%
Procedia Engineering	Periódico	3	2%
Production and Operations management	Periódico	2	2%
Building and Environment	Periódico	2	2%
Production and Operations management	Periódico	2	2%
Electronic Journal of Information Technology in Construction	Periódico	1	1%
Journal of construction engineering and management	Periódico	1	1%
Construction Innovation	Periódico	1	1%
Structural Survey	Periódico	1	1%
Proceedings of the European Conference on Product and Process Modelling	Anais	1	1%
Proceedings - Winter Simulation Conference	Anais	1	1%

Fonte: Os autores.

Conforme explicitado, os artigos se concentram em analisar aos pares os temas em questão. Observa-se que existe um relativo equilíbrio na distribuição do número de publicações com este viés. Vale ainda destacar não se observou artigos que tratem das três temáticas em questão de forma

integrada, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Distribuição temática das publicações revisadas

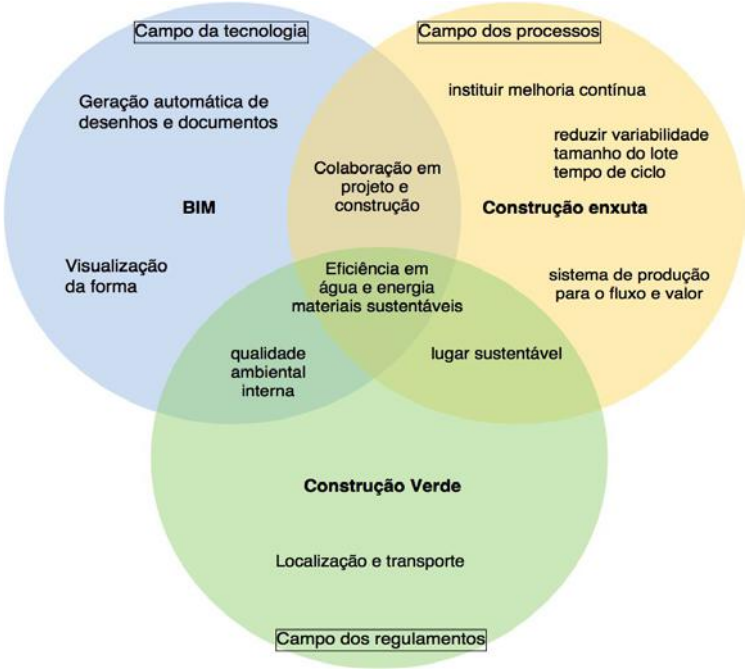


Fonte: Os autores.

4.2 Rede de integração conceitual

Inicialmente apresenta-se a versão contraída do *framework* proposto contendo os três temas dispostos em uma relação de sinergia (Figura 5). Deste ponto de vista pode-se relacionar os três temas em questão com os campos BIM (SUCCAR, 2012).

Figura 5 – Diagrama de Vens com e campos de conexão predominante



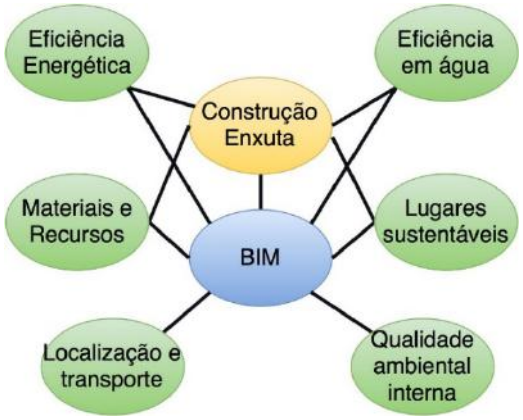
Fonte: Os autores.

Propõem-se aqui para cada tema em estudo o campo de interação de maior interferência. São eles: a Construção Enxuta interferindo nos processos de projeto e construção; o BIM interferindo na tecnologia para o desenvolvimento de projetos e construção; e a Construção verde

interferindo nos regulamentos de projetos e construção.

Apresentamos a seguir a *framework* que mantem os temas construção enxuta e BIM ainda contraídos, mas expande o tema Construção verde em 6 subcategorias visando a proposição das conexões entra cada uma delas e os temas principais. Observa-se que quatro categorias estão associadas a Construção Enxuta e BIM e duas estão associadas apenas ao BIM (Figura 6).

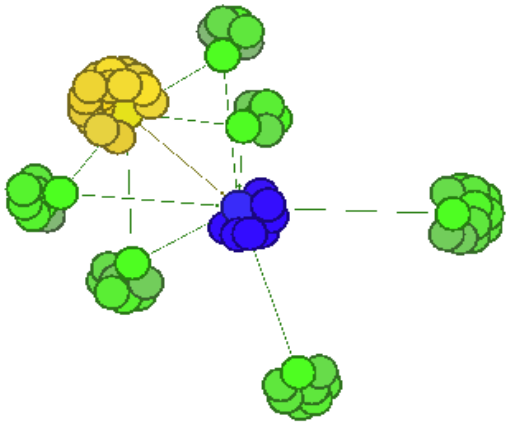
Figura 6 – Rede de integração conceitual e associações predominantes



Fonte: Os autores.

Cada categoria da Construção verde, bem como só temas relacionados à Construção Enxuta e BIM são aglomerados de subcategorias passiveis de novos estudos de integração conceitual (Figura 7).

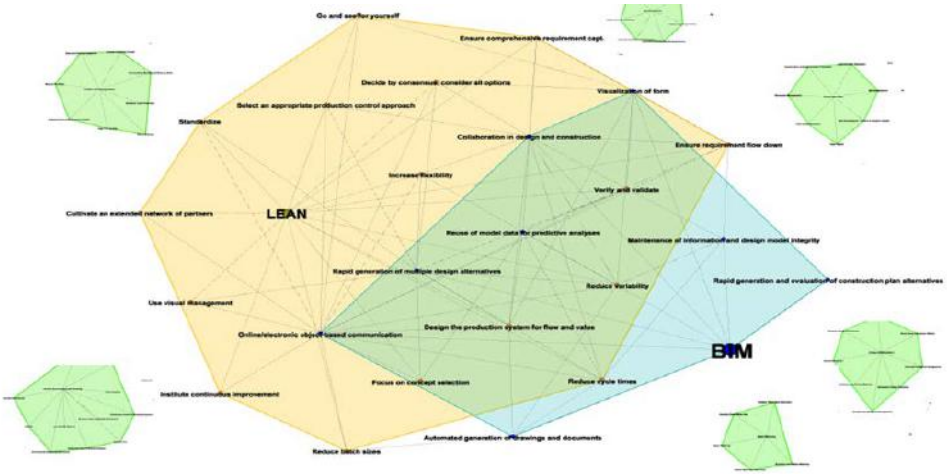
Figura 7 – Rede de integração conceitual



Fonte: Os autores.

A sinergia entre construção enxuta e BIM (SACKS et al., 2010) relaciona os princípios da Construção Enxuta com as funcionalidades do BIM. Gravitando ao redor dessa sinergia mais coesa encontram-se as sub categorias da Construção Verde que se relacionam ora com Construção Enxuta, ora com o BIM ou com dos dois temas (figura 8).

Figura 8 – Rede de integração conceitual



Fonte: Os autores.

5 CONCLUSÕES

Este artigo utiliza a teoria de rede social para analisar a sinergia entre a Construção Verde, a Construção Enxuta e o BIM evidenciando os potenciais benefícios dos três conceitos para internacionalização da construção. Trata-se uma revisão sistemática de literatura que foi realizada com o objetivo de propor um *framework* de integração conceitual entre os três temas em questão. Foram analisados 131 artigos de periódicos de renome internacional.

Usando o software Gephi para modelar as estruturas de cada rede para cada conceito, os resultados indicam que a sinergia entre Construção Enxuta e BIM é mais coesa. As estratégias de sustentabilidade se conectam ora com o BIM, ora com a Construção Enxuta, ora com os dois conceitos. Ou seja, identificou-se mais conexões entre BIM e Construção Enxuta.

Os princípios, características, e estratégias de construção enxuta, construção verde e BIM têm uma associação predominante quando comparados uns com os outros e aos campos BIM (SUCCAR, 2009). Como se segue: construção enxuta para campo de processo, construção verde para área política e BIM no campo da tecnologia.

As categorias de construção verde: a) Eficiência da Água; b) Energia e Ambiente; c) Materiais e Recursos são aquelas com a maior a conectividade entre os temas analisados.

Os conceitos de Construção verde e Enxuta devem ser introduzidos como premissas e requisitos desde o início do processo, em especial no projeto. Enquanto que o BIM é uma plataforma interativa que permite a adoção desses conceitos com mais facilidade permeando, portanto, todas as fases do empreendimento de construção.

Mais pesquisas são necessárias para testar os experimentos teóricos apresentados nesta pesquisa com estratégias mais empíricas, como estudos de caso.

APÊNDICE A

As referências da revisão sistemática de literatura estão disponíveis em: <https://drive.google.com/file/d/0B781I8fLeBlfRGpzMjh6VWRTV1k/view?usp=sharing>

REFERÊNCIAS

AHUJA, R.; SAWHNEY, A.; ARIF, M. Bim based conceptual framework for lean and green integration. In: 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Oslo, Norway. **Anais**... Oslo, Norway: 2014. p.123–132

AL HATTAB, M.; HAMZEH, F. Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM–lean practice for design error management. **Automation in Construction**, v. 52, p. 59–69, abr. 2015.

AZHAR, S.; CARLTON, W. A.; OLSEN, D.; AHMAD, I. Building information modeling for sustainable design and LEED ® rating analysis. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 217–224, 2011.

BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *In*: Proceedings of International AAAI Conference on Web and Social Media, San Jose, California. **Anais**... San Jose, California: The AAAI Press, 2009.

CHEN, P. H.; ONG, C. F.; HSU, S. C. The linkages between internationalization and environmental strategies of multinational construction firms. **Journal of Cleaner Production**, v. 116, p. 207–216, 2015.

EASTMAN, C.; EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **Bim handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2011.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: triple bottom line of 21st century business**. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 1999.

FERRAZ, R. R. N.; QUONIAM, L.; ALVARES, L. M. A. de R. Avaliação de redes multidisciplinares com a ferramenta scriptlattes: os casos da nanotecnologia, da dengue e de um programa de pós-graduação Stricto Sensu em Administração. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 19, n. 40, p. 67–98, 2014.

GIORDANO, D. M.; BRUNING, E.; BORDIN, A. S. Uso do scriptLattes e Gephi na Análise da Colaboração Científica. **Anais do Computer on the Beach**, p. 239–248, 2015.

GOLZARPOOR, H.; GONZALEZ, V. A green-Lean simulation model for assessing environmental and production waste in construction. In: Proceeding of 21h Annual Conference of IGLC, Fortaleza, Brazil. **Anais**... Fortaleza, Brazil: IGLC, 2013, 2013. p.885–894

ISA, C. M. M.; SAMAN, H. M.; NASIR, S. R. M. Specific-factors Influencing Market Selection Decision by Malaysian Construction Firms into International Market. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 129, n. 2002, p. 4–10, 2014.

JOHANSON, J. A. N.; VAHLNE, J.-E. the Internationalization Process of a Firm - a Model of Knowledge Foreign and Increasing Market Commitments. **Journal of International Business Studies**, n. May 2013, p. 23–32, 1977.

KORKMAZ, S.; MESSNER, J. I. Competitive positioning and continuity of construction firms in international markets. **Journal of Management in Engineering**, v. 24, n. 4, p. 207–216, 2008.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. 1992. Techniccal Repport 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford Univeristy, Stanford, 1992.

KOSKELA, L. Moving on - beyond lean thinking. **Lean Construction Journal**, v. 1, n. 1, october, p. 24–37, 2004.

MAQSOOM, A.; CHAROENNGAM, C.; MASOOD, R.; AWAIS, M. Foreign market entry considerations of emerging economy firms: An example of Pakistani contractors. **Procedia Engineering**, v. 77, p. 222–228, 2014.

MISHRA, D.; GUNASEKARAN, A.; PAPADOPOULOS, T.; CHILDE, S. J. Big Data and supply chain management: a review and bibliometric analysis. **Annals of Operations Research**, 2016.

NAVARRO, F. A. R.; ALENCAR, C. Análise dos elementos estratégicos em processos de internacionalização: empresas brasileiras de real estate visando ao mercado residencial da Costa Rica. **Revista Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 285–299, 2016.

ROSENBAUM, S.; TOLEDO, M.; GONZALEZ, V. Green-lean approach for assessing environmental and production waste in construction. **20th Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2012**, n. c, 2012.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; OWEN, R. Interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968–981, 2010.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED v4 for Building Design and Construction**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>.

VASCONCELOS, I. A. de; CÂNDIDO, L. F.; HEINECK, L. F. M.; BARROS NETO, J. de P. Guidelines for Practice and Evaluation of Sustainable Construction Sites: a Lean , Green and Wellbeing Integrated Approach. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23. 2015, Perth, Australia. **Anais**... Perth: 2015. p.p. 773–782.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INTERNACIONALIZAÇÃO DE PROJETOS: CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO NO CONTEXTO BRASILEIRO E O IMPACTO INICIAL NO PROCESSO DE PROJETO[1]

LAURINDO, Rafael (1); BORGES, Gabriel (2); MELHADO, Silvio (3); LEITE, Brenda (4)

(1) POLI-USP, e-mail: rafael.laurindo@gmail.com; (2) POLI-USP, e-mail: gabrielborges@usp.br; (3) POLI-USP, e-mail: silvio.melhado@usp.br; (4) POLI-USP, email: brenda.leite@poli.usp.br

RESUMO

Este artigo procura introduzir a internacionalização de empresas de projeto de engenharia e arquitetura no contexto brasileiro. Diversos estudos existem sobre o tema em relação aos aspectos econômicos deste processo, no entanto pouca ênfase é dada às empresas de serviço em geral, e, em particular, no impacto no próprio processo de projeto e na estrutura organizacional dessas empresas. Além disso, as características setoriais envolvidas nos estudos existentes reforçam a importância de uma contextualização regional do tema e, nesse sentido, este artigo também caracteriza as iniciativas institucionais e governamentais brasileiras que suportam direta e indiretamente este processo. No âmbito do processo de projeto, através de um estudo de caso, há uma avaliação do entendimento das fases de projeto conforme duas organizações distintas, reforçando a necessidade de comparação de conteúdo, independente da formalização da nomenclatura. De modo geral, há a indicação de que as empresas devem possuir formas de se adaptar e compreender uma maneira possivelmente diferente de se trabalhar, incluindo novas competências e habilidades. Sob o aspecto global, a internacionalização mostra-se irreversível, progressivamente mais inserida na forma de trabalho das empresas e também um meio para garantir a consistência e perenidade de avanços organizacionais e tecnológicos adquiridos ao longo do tempo.

Palavras-chave: Internacionalização de projeto. Processo de projeto. Internacionalização de empresas de projeto de engenharia e arquitetura.

ABSTRACT

This article seeks to introduce the internationalisation of engineering and architectural design firms in the Brazilian context. Several studies exist on the subject focusing on the economic aspects of this process, however, little focus is given to service companies in general, the impact on the own design process, and organizational structure of these companies. In addition, sectoral characteristics involved in existing studies reinforce the importance of a regional contextualization, and, in that sense, this article also features the institutional and governmental initiatives that support directly and indirectly this process in Brazil. Within the design process, through a case study, there is an assessment of the understanding of the design phases by two separate organizations, reinforcing the need for comparison of

[1]LAURINDO, Rafael; BORGES, Gabriel; MELHADO, Silvio; LEITE, Brenda. Internacionalização de projetos: contribuição para o estudo no contexto brasileiro e o impacto inicial no processo de projeto In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

content, regardless of the formal nomenclature. In general, there is an indication that companies should have ways to adapt and understand a potentially different way of working, inlcuding new skills and abilities. Under the overall appearance, internationalisation appears to be irreversible, increasingly inserted in the way of work of companies and also a means to ensure consistency and continuity of organizational and technological advances acquired over time.

***Keywords**: Design internationalisation. Design process. Internationalisation of engineering and architecture design firms*

1 INTRODUÇÃO

O processo de internacionalização de pequenas e medias empresas de projeto de engenharia e arquitetura é um aspecto bastante específico no contexto da globalização em geral. Por se tratar da prestação de um serviço, fornecendo bens mais intangíveis e possuindo características muito específicas, representam um processo de compreensão mais difícil.

Reforçando esta ideia, pode-se constatar que a própria literatura preocupa-se constantemente em salientar que a maioria dos trabalhos publicados sobre exportação são direcionados às indústrias e manufatura de um modo geral. (MOREIRA, 2013; LONDON, 2008; KRULL, 2011).

Além disso, na medida em que a análise torna-se particular para as empresas de projeto, a quantidade e profundidade dos trabalhos existentes torna difícil a generalização para empresas alheias aos estudos em questão. Como mencionado por London (2005), e London (2007) as especificidades sociais, culturais e economicas encontradas nas diversas regiões geográficas das empresas em estudo, levaram a diferenças extremas nos seus aspectos organizacionais e também nas respostas à própria pesquisa.

Desta forma, a existência de uma abordagem ainda incompleta relacionada aos aspectos mais gerais sobre o processo de internacionalização, levam tanto ao pouco enfoque dado às consequências no processo de projeto em si, quando à pouca profundidade na avaliação das diferenças e adaptações operacionais dessas empresas.

Este contexto inicial, associado à produção recente do mercado imobiliário brasileiro, com o crescente envolvimento de empresas estrangeiras (MELENDEZ, 2015), ressalta a relevância de um estudo mais detalhado sobre o tema, e, mais especificamente, sua inserção no no contexto nacional.

Sendo assim, através de um estudo de caso e avaliação de iniciativas setoriais no Brasil, procura-se estruturar a análise do processo de internacionalização de modo geral, evidenciando a complexidade da questão, apontando os impactos iniciais no processo de projeto e também possíveis caminhos para uma melhor capacitação e estruturação das empresas projetistas envolvidas.

1.1 Empresas de serviço e de projeto

Dentro dos objetivos deste trabalho, a atividade de projeto deve ser considerada como serviço, uma vez que a atuação principal envolve a solução de problemas, integração entre equipes, planejamento e acompanhamento das atividades e demais ações integradores e essencialmente intangíveis. (MEHADO, 2005)

De acordo com Moreira (2013), a literatura existente possui abordagens conflitantes sobre a aplicabilidade dos modelos correntes para internacionalização dessas empresas, principalmente quando comparado aos resultados mais consistentes encontrado nas empresas e organizações industriais, por exemplo.

Em relação à complexidade dos estudos relacionados à prestação de serviço, Moreira (2013) e Melhado (2005) elencam as principais diferenças:

- Intangibilidade - Os serviços não podem ser armazenados, transportados ou serem pré-avaliados;
- Simultaneidade - A produção e o consumo de serviços ocorrem ao mesmo tempo;
- Perecibilidade - Serviços não podem ser estocados e devem ser consumidos na medida em que são produzidos;
- Heterogeneidade - Serviços são únicos e difíceis de se padronizar. Podem ser definidos como sistemas complexos, em que a partir de um mesmo conjunto de agentes e dados inicias, tem-se resultados diferentes;
- Cliente-fornecedor - O contato pessoal e direto é inerente à prestação de qualquer serviço, com grande circulação das entregas e frequentemente tendo o cliente como "cocriador" das soluções finais.

Sobre os estudos de caso existentes, mesmo em pesquisas mais abrangentes, London (2008) afirma que, no fundo, elas apresentam informações superficiais sobre uma grande quantidade deles, e promovem pouco entendimento das experiências reais das empresas e suas equipes nos projetos, pouco menciona as complexidades envolvidas na superação de barreiras específicas, e, ainda, não indicam com clareza as diferenças entre países e contextos distintos.

Outro ponto importante, citado por Jewell et al. (2010), é a dificultade de se quantificar esses casos, já que as empresas de arquitetura e engenharia podem até fazer parte das estatísticas sobre exportação das empresas de serviço em geral, mas, por se diferenciarem na sua operação e estratégia, principalmente em relação à sobreposição de atividades e à crescente integração de processos, fazem com que os dados existentes também não sejam representativos para este mercado específico.

Ainda assim, é fundamental uma avaliação de todos estes aspectos como forma de entender as principais deficiências e contribuir para o direcionamento dos estudos externos ou internos às empresas interessadas na viabilização do processo de internacionalização.

De modo geral, pode-se afirmar que ainda não há elementos que justifiquem uma generalização das conclusões para empresas que independam dos mesmos fatores culturais, mercadológicos e econômicos inerentes à cada conjunto de estudo.

2 INICIATIVAS BRASILEIRAS E MUNDIAIS

Nos últimos anos as empresas brasileiras de projeto, mais especificamente as de arquitetura, tem se organizado com apoio de organizações governamentais na estruturação de modelos de colaboração com o objetivo de promover o aumento da exportação deste tipo de serviço.

Dentro deste contexto, torna-se muito relevante a capacitação dessass empresas em um crescente cenário de fomento à sua internacionalização. Isto ocorre tanto para empresas brasileiras prestando serviços fora do país, quanto para empresas locais envolvidas em projetos influenciados por agentes internacionais.

A consolidação da parceria entre a AsBEA (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura) e a ApexBrasil (Agencia Brasileira de Promoção de Importações e Investimentos) é uma evidência deste movimento. O primeiro protocolo de intenções foi assinado em 2009, onde iniciou-se o desenvolvimento do planejamento estratégico para os anos subsequentes, realizado, no entanto, de forma descontinuada.

Como desdobramento dessas ações houve a criação do *Built by Brazil*, que é um programa que estimula a internacionalização dos serviços de arquitetura brasileiros por meio de ações estruturantes para o segmento, bem como ações de promoção e posicionamento no exterior.

Dentre os objetivos estratégicos elencados pelo programa podem ser destacados:

- Capacitar os escritórios de arquitetura locais a competirem no mercado internacional;
- Internacionalizar os escritórios brasileiros de arquitetura;

Dentre as iniciativas já elaboradas por este grupo, destaca-se a definição do modelo de segmentação do grau de internacionalização de empresas de arquitetura, indicado no Quadro 1:

Quadro 1 - Modelo de Segmentação de Internacionalização de empresas de arquitetura

Estágio 1 Potencial	**Estágio 2 Exportadora eventual**	**Estágio 3 Exportadora contínua**	**Estágio 4 Internacionalizada**
1. Empresa formalmente constituída por lei.	6. Ter um profissional dedicado ao desenvolvimento de negócios na área de gestão e planejamento.	14. Utilizar o sistema de gerenciamento BIM	18. Ter escritórios, ou joint-venture no exterior.
2. Ter um profissional com registro no CAU - Conselho de Arquitetura e Urbanismo	7. Ter um profissional bilíngue.	15. Possuir planejamento estratégico de exportações	"com a exportação sendo prática frequente, a empresa já possui infraestrutura própria no exterior e altos índices de exportação bem como cases internacionais para divulgação. Nesse caso, os lucros oriundos da produção realizada no exterior é contabilizada como exportação." Desenvolve inteligência de mercado e possui vasta experiência no trabalho com fornecedores estrangeiros
3. Ter site em Português	8. Atendimento eletrônico e pessoal bilíngue	16. Relações comerciais com escritórios ou empresas internacionais de forma contínua	
4. Ter portfólio de serviços em português	9. Site bilíngue	17. Conhecer os standards de trabalho dos mercados-alvo e/ou conhecer os standards da UIA (União Internacional dos Arquitetos)	
5. Ter certificado Digital e procuração eletrônica para registro das exportações no SIScoserv[1] (pré-requisito para mudar estágio)	10. Portfólio de serviços e produtos bilíngue	Neste nível já estão estabelecendo-se como exportadoras de serviços, com uma cultura corporativa de exportação em desenvolvimento. "" exportação é uma prática comum com pelo menos uma exportação por ano."	
" A empresa nunca exportou". Apresentado pouca ou nenhuma compreensão desse processo. Podem ter determinado o mercado nacional como seu foco de interesse.	11. Conhecimento sobre os tramites de exportação de serviços		
	12. Ter assessoria local para entendimento das exigências técnico/legais para cada mercado alvo		
	13. Relações comerciais com escritórios ou empresas internacionais de forma pontual - por oportunidade.		
	As empresas participantes deste nível começam a buscar uma capacitação maior e até mesmo contatos no exterior de forma indireta e por oportunidades, com vistas à exportação de serviços. No entanto, "atuam de forma pontual e não contínua (mínimo de uma exportação nos últimos dois anos.		

[1] SIScoserv – Sistema Integrado de Comercio Exterior de Serviços, lançado em 2012

Fonte: Adaptado de material cedido por AsBEA e APEXBRASIL, 2015

Em paralelo, como parte do conjunto de orientações básicas para a exportação de serviços, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), publicou um resumo das principais características comuns aos exportadores bem sucedidos, entre as quais se destacam:

- sua empresa está comprometida em desenvolver mercados externos, é capaz e possui o objetivo de dedicar pessoas, tempo e recursos a esse processo?
- sua empresa está comprometida em prover aos clientes internacionais o mesmo nível de serviços oferecidos a seus clientes domésticos?
- Sua empresa possui capacidade técnica para adequar o produto a regulamentos de importação e preferências culturas de outros mercados?

E, principalmente:

- quais os níveis exigidos de personalização, complexidade de elaboração de tecnologia?
- alterações no serviço ou intangível a exportar e o modo de prestação de exportação desses serviços exigem alterações significativas no modelo de governança, processos administrativos, operacionais e produtivos na empresa?
- alterações em processos exigem reestruturação da empresa?

Ao mesmo tempo, para a empresa exportadora, algumas das vantagens incluem, entre outras, a diversificação de mercado, redução da dependência do mercado interno, assimilação de melhores práticas gerenciais, aumento de produtividade, aumento da capacidade inovadora, incremento da qualidade, conhecimento de tendências de mercado e inclusão em cadeiras produtivas globais. Em outras palavras, a internacionalização leva ao desenvolvimento da empresa a partir de uma modernização necessária e inerente ao próprio processo. (MDIC, 2015)

Frente ao exposto acima, o próprio MDIC conclui que, para as empresas (independente do serviço exportado), "a internacionalização é uma questão de condição e vocação", e isto torna-se especialmente relevante quando há o questionamento do fato de que "o(s) modos de prestação de exportação desses serviços exigem alterações significativas no modelo (...) de processo produtivo".

Neste contexto insere-se um dos objetivos finais deste trabalho, que procura auxiliar e suportar as empresas de projeto de engenharia e arquitetura envolvidas em um processo de internacionalização.

3 O IMPACTO NO PRODUTO

A internacionalização é uma questão que pode estar presente mesmo para as empresas que não estão interessadas no processo em si. A própria natureza colaborativa do processo de projeto faz com que qualquer empresa envolvida no desenvolvimento de um projeto ou empreendimento que possua a participação de uma empresa internacional tenha que conviver direta ou indiretamente com esta questão.

Dependendo do posicionamento e do poder de decisão da empresa internacional, diversos aspectos do processo de projeto podem ser afetados, sendo necessário que as empresas possuam mecanismos de adaptação e compreensão de uma forma possivelmente diferente de trabalho. Essas mudanças podem envolver desde a especificação de materiais não disponíveis localmente, entregas por etapas de projeto divergentes, como até a necessidade de novas atribuições, responsabilidades e qualificações dentro da equipe.

De acordo com Souza et al. (2014), a principal responsabilidade do coordenador no processo de coordenação de projetos está diretamente relacionada à facilitação do fluxo de informações entre a equipe de projetistas e a gestão do empreendimento. No caso da internacionalização, há a eventual separação geográfica entre um elemento e outro, também podendo ser agravada por questões culturais, normativas e processuais, aumentando ainda mais a relevância da gestão sobre o fluxo de informações e dos processos em geral

Avançando nesta questão, o bom desenvolvimento de um projeto depende de um gerenciamento adequado e das distribuições de tarefas e etapas de processo bem definidas. Segundo o Manual AsBEA (2012) é uma necessidade a definição prévia, clara e cuidadosa do escopo dos serviços envolvidos na elaboração de projetos para o início de qualquer projeto.

3.1 Estudo de caso

Como forma de exemplificar esta análise incial utilixou-se um estudo de caso para a determinação prática dos principais pontos de conflito, de modo a direcionar os detalhamentos inicias sobre a questão.

O estudo utilizado consistiu na etapa de desenvolvimento inicial de projetos de um edifício de uso misto para a cidade de São Paulo, de cerca de 180.000,00m2 de área, congregando na mesma projeção um centro de compras, um hotel, andares de escritório, residências e andares de estacionamento. A concepção arquitetonica foi realizado por escritório internacional, e por apresentar desafios técnicos não usuais no mercado brasileiro, como altura da edificação, compartilhamento das instalações prediais, logística, acessos e fluxos, complexidade do transporte vertical, fachadas irregulares e utilização avançada do BIM, optou-se por concentrar

o desenvolvimento inicial dos projetos também em escritórios internacionais, mais acustumados às soluções necessárias ao projeto.

No decorrer do desenvolvimento deste projeto, tanto a estruturação das adaptações das fomas usuais de trabalho, quanto a avaliação de que modo o processo de projeto poderia ser afetado, ocorreram de maneira essencialmente empíricas, lidando com os problemas conforme sua ocorrência.

Os principais conflitos se relacionaram à falta de definição de escopo e entregas entre as empresas locais e as de fora, responsabilidades detalhadas e atribuições não definidas para a organização específica e não usual da equipe, falta de modelos e práticas contratuais de parceria, subcontratação ou joint-venture, entre outros. Como consequência, a equipe investiu tempo considerável e não produtivo na definição de uma forma de trabalho que garantisse justamente a manutenção da maneira convencional de entrega e produção de projetos.

De maneira mais pontual, a diferença de responsabilidade dos fornecedores e projetistas nas etapas de construção, seja em relação ao acompanhamento da obra ou à etapa de projetos de fabricação (*shop drawings)* levou à escopo de contratos mais abertos e frágeis, sucetíveis a reajustes e aditivos consideráveis.

Utilizando-se como modelo a segmentação proposta por Souza et.al. (2014), indicado na Figura 1, abaixo, os responsáveis pelo estudo de caso foram convidados a optar pelo aspecto principal a ser inicialmente detalhado que melhor contribuísse com o desenvolvimento dos trabalhos.

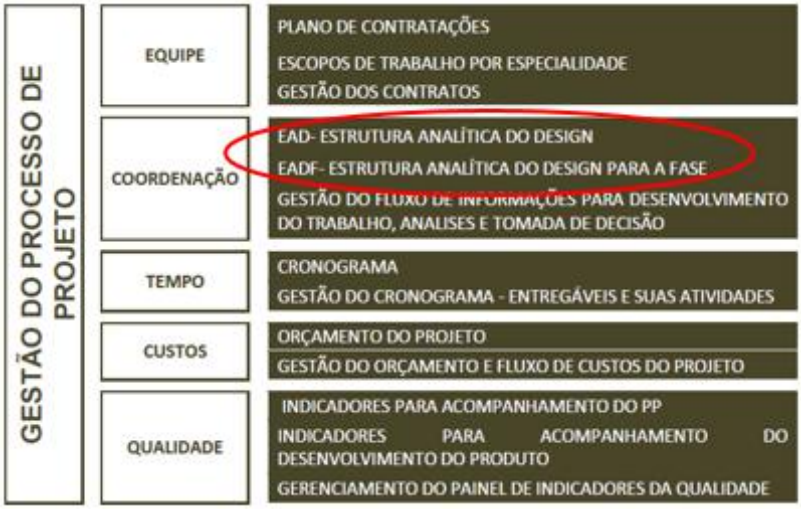
Figura 1 - Estrutura Geral das Atividades de Coordenação de Projetos



Fonte: Adaptado de Souza, et al. (2014)

A partir de uma percepção pragmática que pudesse contribuir rapidamente com a solução dos problemas mencionados, houve interesse no aprofundamento das questões relacionadas ao detalhamento do escopo de projeto por fase, indicado nas categorias *estrutura analítica do design* (EAD) e *estrutura analítica do design para a fase* (EADF), apresentadas na Figura 2, adaptada de Souza et al. (2014).

Figura 2 - Estrutura geral das atividades de Gestão de Processo de Projeto



Fonte: Adaptado de Souza, et al. (2014)

Nota-se, portanto, a grande importância inicial percebida para uma definição do escopo de projeto e suas fases, bem como da definição da atuação do coordenador de projeto neste aspecto.

É natural que as empresas que se veem envolvidas em um processo de internacionalização, seja de forma direta ou indireta, procurem nas normas existentes uma maneira de balizar e planejar a interface no desenvolvimento do trabalho. Como consequência, há a tentativa de correlação entre fases de entrega, de forma a reduzir as diferenças do próprio processo de projeto a uma simples tabulação de nomenclaturas distintas, como se fossem, de fato, comparáveis. Assim, na Tabela 1 a seguir optou-se por avaliar dois padrões técnicos bem conceituados em seus respectivos países. Sendo o primeiro nacional, descrito pela Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), e o segundo internacional, produzido pela *American Institute of Architects* (AIA).

Tabela 1 - Comparação de fases de projeto entre referenciais AsBEA e AIA

ASBEA	AIA
Fase A – Concepção de produto	***Schematic Design Phase (SD)***
Subdividida em Levantamento de Dados - LV, Programa de Necessidades - PN e Estudo de Viabilidade - EV, esta etapa busca levantar um conjunto de informações jurídicas, legais, programáticas e técnicas objetivando determinar as restrições e possibilidades que regem e limitam o produto imobiliário pretendido. Saídas: Caracterização do do partido arquitetônico e urbanístico;possíveis soluções das edificações e implantação	O arquiteto, em conjunto com o proprietário, determina os objetivos e requisitos do projeto. São desenvolvidos desenhos de estudo, documentos e outros meios de comunicação que ilustram os conceitos do projeto e incluem relações espaciais, escala e forma para a avaliação do proprietário. Requisitos de zoneamento e restrições jurisdicionais são observados e endereçados. Saídas: Projeto esquemático final; estimativa de custos paramétricos (volume)
Fase B – Definição do produto	***Design development phase (DD)***
Subdividida em Estudo Preliminar - EP, Anteprojeto - AP e Projeto Legal - PL, desenvolve o partido arquitetônico e demais elementos do empreendimento, define e consolida as informações necessárias a fim de verificar sua viabilidade física, legal e econômica. Possibilita a elaboração dos Projetos Legais.	É a fase em que os sistemas mecânicos, elétricos, hidráulicos, estruturais e arquitetônicos do projeto são detalhados. Resulta em especificações dos tipos de materiais e localização de janelas e portas. O nível de detalhe fornecido é determinado em função da demanda do proprietário e dos requisitos do projeto. São entregues plantas, seções e elevações com dimensões totais.
Fase C – Identificação e soluções das interfaces	***Construction Document phase (CD)***
A soluções de interferências entre sistemas são discutidas e resolvidas, o projeto resultante deve ter todas as suas interfaces solucionadas, possibilitando uma avaliação preliminar dos custos, métodos construtivos e prazos de execução. Quando for necessário licitar a obra, esta fase opcional se caracterizará como Projeto Básico - PB.	Prescinde da aprovação do proprietário e arquiteto da fase anterior (DD) São produzidos desenhos com maior nível de detalhe, focado em detalhes de construção e materiais. Em seguida o arquiteto passa a documentação para o contratante fixar os preços ou licitar, se for o caso. Esta fase resulta na estimativa final dos custos do projeto.
Fase D – Projeto de detalhamento de especialidades	***Bid or negotiation phase (B/N)***

Denominada como Projeto Executivo - PE. Realiza-se o detalhamento de todos os elementos do projeto gerando um conjunto de informações suficientes para a perfeita caracterização dos serviços a serem executados. A avaliação dos custos, métodos construtivos e prazos de execução também deverão ser caracterizados. O resultado deve ser um conjunto de informações técnicas claras e objetivas sobre todos os elementos, sistemas e componentes do empreendimento.	Preparação da licitação ou negociação do projeto. Resulta no contrato de construção que, uma vez assinado, permite o início da construção.
Fase E – Pós-entrega do projeto	***Construction phase***
Deve garantir a plena compreensão e utilização das informações de projeto, bem como sua aplicação correta nos trabalhos de campo.	Nesta etapa a responsabilidade central do arquiteto é ajudar o empreiteiro a construir o Projeto, conforme especificado nos CDs aprovados pelo proprietário. A entrega desta fase caracteriza um projeto construído e contratado com sucesso.
Fase F – Pós-entrega da obra	
Tem o interesse de analisar e avaliar o comportamento da edificação em uso para verificar se os condicionantes e pressupostos de projeto foram adequados, e se eventuais alterações realizadas em obra estão compatíveis com as expectativas do empreendedor e da ocupação dos usuários.	

Fonte: Autores, adaptado de AIA (2007) e AsBEA

Não é difícil avaliar que tentativas de conciliar fase a fase entre as duas normas repesentam um esfoço significativo, sem, no entanto, produzir informações concretas que contribuam para a oganização das equipes de projeto. Este resultado também foi identificado no estudo de caso, reforçando a complexidade do tema e a necessiade de compreensão dos mecanismos gerais relacionados à internacionalização em si, e da forma de trabalho das equipes, antes de concentrar-se no detalhamento de soluções ou formas de trabalho pontuais.

Além disso, percebe-se notadamente a diferença da expectativa de atuação dos próprios profissionais em cada um dos mercados. Enquanto a AIA (2007) claramente enxerga o papel do arquiteto durante a execução da obra, tal atribuição não é levada em consideração no mercado brasileiro da

mesma forma, indicando uma necessidade de reavaliação organizacional e gerencial das equipes envolvidas em preojetos internacionais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade do tema da internacionalização e a sua contextualização no mercado brasileiro necessariamente passa por uma avaliação inicial mais abrangente, objetivo deste artigo, que procura caracterizar as principais linhas de desenvolvimento a serem seguidas.

Primeiramente, o processo de internacionalização deve ser encarado tanto sob o ponto de vista do mercado, em que características setoriais e aspectos externos à empresa são condicionantes deste processo, como sob o ponto de vista interno às empresas, em que os impactos desse processo são relacionados à sua própria estrutura organizacional e no desenvolvimento do produto.

Em relação às iniciativas setoriais brasileiras, há a indicação de um alinhamento do que está sendo colocado em prática com o que existe nos países desenvolvidos, mas ainda é incipiente enquanto aos resultados e materiais práticos sobre o tema.

Como estudos futuros, outros aspectos podem ser incorporados ao modelo de segmentação proposto pela AsBEA e APEXBRASIL, conforme estudada por Krull (2011), como, por exemplo, a motivação para se internacionalizar, seleção de mercado, modo de entrada e operações subsequentes.

Além disso, como forma de garantir o entendimento e a consideração das condicionantes do mercado local, deve-se avaliar de forma especifica o diferencial do produto das empresas brasileiras e de que forma podem influenciar positivamente o processo de internacionalização. De forma complementar, a estruturação de estudos de casos consistentes, confrome desenvolvido por London (2005) é fundamental para direcionar o estudo do tema no contexto brasileiro, de modo a melhor compreender os aspectos mais relevantes das iniciativas existentes.

De modo geral, a partir dos estudos realizados em outros mercados, identificou-se que os aspectos regionais impossibilitam a generalização imediata das conclusões e exemplos apresentados para outras realidades setoriais. Além disso, pouca atenção é dada na forma que as empresas devem se estruturar para absorver esta demanda.

Ao mesmo tempo, percebe-se que em projetos internacionais, a aprendizagem permeia todo o processo, uma vez que as empresas são obrigadas a encontrar soluções inovadoras para alcançar e atender as características mercadológicas locais que, comumente, são diferentes dos produtos e serviços fornecidos no seu país de origem.

No contexto brasileiro há a indicação de que a ausênica da estruturação e organização de determinadas competências empresariais e gerenciais

podem se configurar como fatores impeditivos para o sucesso do processo de internacionalização.

O desenvolvimento deste assunto busca o entendimento, as implicações e benefícios que a internacionalização estruturada e coerente de uma empresa de projeto leva ao seu produto e na sua forma de projetar. O levantamento de questões que abordam esta problemática, mesmo quando não levam a diretrizes e modelos mais detalhados, indicam um caminho a ser seguido dentro do contexto brasileiro, além de proporcionar um amadurecimento sobre o processo de projeto como um todo.

REFERÊNCIAS

AIA. **Defining the Architect's Basic Services**. AIA Best Practices. July 2007, 2p.

APEXBRASIL. **Agência brasileira de promoção de exportações e investimentos**. Disponível em:<http://www.apexbrasil.com.br/>. Acessado em: 17 de agosto de 2015.

AsBEA. **Associação brasileira dos escritórios de arquitetura.** Disponível em:< http://www.asbea.org.br/>. Acessado em: 16 de agosto de 2015.

AsBEA. **Manual de escopo de projetos e serviços de arquitetura e urbanismo: indústria imobiliária**. Associação brasileira dos escritórios de arquitetura AsBEA. 2012, 1ª ed., 132p.

JEWELL, C.; FLANAGAN, R.; ANAC, C. **Understanding UK construction professional services exports: definitions and characteristics**. Construction Management and Economics, 2010, 28 (3). pp. 231-239. ISSN 0144-619.

KRULL, A. E. **The international evolution of engineering consulting firms: a strategy-tripod perspective**. Masters Thesis - University of Auckland, UoA2160954, 2011.

LONDON, K. **Internationalisation process for construction design service SMES on multi national projects.** In: International Conference on Multinational Construction Projects: Securing high performance through cultural awareness and dispute avoidance, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Rotterdam, Netherlands, 2008, p. 1-17.

LONDON, Kerry; CHEN, Jessica. **Role of cultural capital towards the development of a sustainable business model for design firm internationalisation**. In: CIB World Building Congress, CIBW96 Architectural Management. 2007. p. 14-18.

LONDON, K. **FINAL REPORT** In: CRC for Construction Innovation, Brisbane, 2005.

MELENDEZ, A. **Face em arco dilui impacto visual.** Pichard Clinton e Pontual Arquitetura: Torre Z, São Paulo. Artigo revista Projeto Design, Edição 424, 2015.

MELHADO, S.B. **Coordenação de projetos de edificações**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. v. 1. 120p.

MDIC. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.** Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sitio/>. Acessado em: 17 de agosto de 2015.

MOREIRA, M. R. A. et al. **Factors Influencing the Internationalization of Services Firms: The Case of Design, Engineering and Architecture Consulting Firms.** 4th International Conference, IESS 2013, Porto, Portugal, February 7-8, 2013. Proceedings.

SOUZA, F. R.; MELHADO, S. B.; CAVALHEIRO, M. W. **Guia para gestão do processo de projeto no contexto da modelagem.** Departamento de engenharia de construção civil da escola politécnica da Universidade de São Paulo. Novembro de 2014, 17p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A COORDENAÇÃO MODULAR COMO ALTERNATIVA PARA IMPULSIONAR AS EXPORTAÇÕES DE COMPONENTES CERÂMICOS NO BRASIL[1]

FERRO, Fernanda (1); BARBOZA, Aline (2); FERREIRA, Dilson (3)

(1) UFAL, e-mail: fmonteferro@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: aline@lccv.ufal.br; (3) UFAL, e-mail: dilson.batista@gmail.com

RESUMO

Este artigo objetiva abordar a coordenação modular sob a ótica de uma ferramenta útil para impulsionar as exportações de componentes cerâmicos no Brasil, através da padronização dimensional dos mesmos. Os resultados apresentados são indicativos e não conclusivos. A metodologia se baseou no levantamento de dados atuais sobre a indústria e exportação de componentes cerâmicos no Brasil, revisão bibliográfica sobre a coordenação modular e na análise da norma de bloco cerâmico de vedação e norma para revestimento cerâmico, com base na norma de coordenação modular. É possível constatar que, muito provavelmente se o Brasil incorporar, de fato, os conceitos de coordenação modular em seus meios de produção, os caminhos para que haja um impulsionamento nas exportações de componentes construtivos serão bem mais fáceis, visto que a ausência de padronização eficaz dos produtos, o não cumprimento a um sistema de medidas estabelecido em norma e a falta de articulação e coordenação nos meios de produção aqui são as principais barreiras enfrentadas pelo setor. Este estudo tem como finalidade incentivar a discussão sobre os aspectos positivos da incorporação efetiva do uso da coordenação modular no país, visto que o Brasil possui ferramentas concretas, como normas vigentes, por exemplo, que dão subsídios para tanto.

Palavras-chave: Coordenação modular. Exportações. Componentes cerâmicos.

ABSTRACT

This article aim to address the modular coordination, from the perspective of a useful tool to boost exports of ceramic components in Brazil, through the dimensional standardization of the same. The results presented here are indicative and not conclusive. The methodology was based on the survey of current data on the industry and export of ceramic components in Brazil, literature review on modular coordination and review of standard ceramic block and standard for ceramic coating, based on standard modular coordination. It is possible to see that most likely if Brazil in fact incorporate the concepts of modular coordination in their means of production, the paths that there is a thrust on exports of building components will be much easier, since the absence of effective product standardization, failure to comply with a system of measures set out in rule and the lack of articulation and coordination in the means of production here are the main barriers faced by the sector. This study aims to encourage discussion about the positive aspects of the effective incorporation of the use of modular coordination in the country, as Brazil has specific tools, such as current rules, for example, giving subsidies to do so.

[1] FERRO, Fernanda; BARBOZA, Aline; FERREIRA, Dilson. A coordenação modular como alternativa para impulsionar as exportações de componentes cerâmicos no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Modular coordination. Exports. Ceramic component.*

1 INTRODUÇÃO

Com a alta do dólar, que vem ocorrendo desde o início do ano de 2015, as exportações do Brasil vêm crescendo e superando médias registradas nos últimos anos. Informações publicadas no mês de abril de 2016, pelo site do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior, registram superávit de US$ 1,623 bilhão. Por conta do câmbio desvalorizado, no ano de 2016, as exportações de material de construção devem aumentar em até 10% e diminuir em até 30% a compra desse material importado, aponta a Abramat - Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção. Diante da competição no mercado internacional e também devido à importância das exportações para a economia de uma nação, visto que esta significa uma fonte autônoma de geração de emprego, renda e divisas, governos de diversos países têm desenvolvido esforços para estabelecer e manter um ambiente de negócios que ajudem empreendedores locais a investir, gerar conhecimento, tecnologia, lucro e a expandir-se internacionalmente (COLUCHI, 2011). Dados publicados pelo site do BNDES, através do documento denominado "Panorama do setor de revestimentos cerâmicos no Brasil" de 2013, apontam o Brasil como o segundo maior produtor de revestimentos cerâmicos no mundo, com 7,7% da produção mundial, perdendo apenas para China, que detém 46,6% da produção. Quanto às exportações, o Brasil encontra-se no 7º lugar dos principais países exportadores de revestimentos cerâmicos, perdendo para China, Espanha, Itália, Irã, Turquia e México. Monteiro Filha (2010) destaca a descoordenação da indústria de materiais de construção, como sendo um dos maiores desafios a serem superados em curto e médio prazo para que se possam difundir e aprimorar os processos produtivos inovadores na cadeia da construção civil. Nesse sentido, a coordenação modular se apresenta como uma alternativa capaz de ordenar essa cadeia, desde a fase projetual, passando pela produção de componentes construtivos até a execução em canteiro de obra. A coordenação modular é capaz de garantir essa padronização através da utilização do módulo base M=10cm, podendo ser aplicado, por exemplo, ao sistema de produção de componentes cerâmicos no Brasil. Rosso (1976), já destacava a padronização de componentes como um meio para viabilizar as exportações, abrindo a possibilidade dos produtos circularem internacionalmente, destacando que essa estratégia foi amplamente utilizada por países europeus, como Dinamarca, Espanha, França e Itália, para desenvolver as exportações e equilibrar a balança comercial. Hélio Greven, um dos maiores influenciadores da coordenação modular no país, em uma entrevista à revista Techne (ed.138, 2008), afirmou que a coordenação modular configura uma ferramenta que contribui para o aumento da produtividade, redução de retrabalho e de desperdícios, ou seja, conceitos tão óbvios que em países industrializados esse assunto nem é mais debatido, por tratar de conceitos já incorporados à indústria, onde também não se compreende a falta de respeito ao sistema decimétrico. A implantação da Coordenação

Modular no Brasil, configura um dos maiores e mais importantes desafios a serem superados, além do que constitui requisito para uma efetiva industrialização do setor, com impacto direto no aumento da produtividade e diminuição das perdas. O Inmetro, através da portaria de número 558, de 19 de novembro de 2013, estabelece diretrizes e critérios para a atividade de avaliação e conformidade para a produção de blocos cerâmicos no Brasil e considera a importância da implementação da coordenação modular para a promoção da compatibilidade dimensional entre elementos e componentes construtivos fabricados a partir dos diversos materiais de construção, e para a difusão da construção industrializada aberta no país.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados na elaboração deste artigo se basearam no levantamento de informações referentes à industria, aos meios de fabricação e dados sobre as exportações de componentes construtivos cerâmicos no Brasil, disponibilizados através de documentos publicados (entre 2013 e 2016) em sites oficiais de instituições como a ANICER (Associação Nacional da Industria Cerâmica); ANFACER (Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças e Congêneres); INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia); BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social); ABRAMAT (Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção); MDIC (Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior); ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial). Também foi feita uma revisão bibliográfica acerca do histórico da utilização da coordenação modular no Brasil e no mundo, principalmente em países europeus e como se deu a consolidação desses conceitos lá. Além disso, foram analisadas as normas para blocos (NBR 15270-1) e revestimentos cerâmicos (NBR 15463) no que diz respeito à padronização de dimensões para que pudesse ser feito um comparativo com o que a norma de coordenação modular (NBR 15873) recomenda. Ao final, com base em todas essas informações, foi feita uma reflexão sobre como a padronização dimensional, através do sistema de medidas decimétrico proposto pela coordenação modular e utilizado em diversos países no mundo, pode trazer vantagens para as exportações dos produtos cerâmicos brasileiros.

3 PANORAMA GERAL DA INDUSTRIA DE COMPONENTES CERÂMICOS NO BRASIL

3.1 Coordenação da Indústria cerâmica no Brasil

De acordo com o site da Anicer, existem aproximadamente 6.903 Cerâmicas e Olarias no país. De acordo com informações publicadas pela Abramat, através do documento denominado Perfil da Indústria de Materiais de Construção Ed. 2015, o segmento de produtos cerâmicos é o que mais gera empregos na indústria da produção de materiais de construção, embora o setor seja marcado por seu caráter heterogênico em relação ao porte e à

tecnologia das empresas. Essa heterogeneidade do setor implica descoordenação dos elos da cadeia da construção civil, o que dificulta a padronização em massa dos processos e produtos fabricados e o desbalanceamento dos fluxos de produto, surgindo mercados intermediários. Esses mercados intermediários absorvem a demanda de produção e atendem aos segmentos como o da autogestão, por exemplo, setor este que está fora do contexto empresarial, dificultando ainda mais qualquer tentativa de padronização e racionalização, visto que não contribuem para a coordenação da cadeia da construção civil, de acordo com Monteiro Filha (2010). A mesma autora destaca que os principais problemas identificados na cadeia da indústria de materiais de construção se caracterizam pela ausência de padronização eficaz dos componentes, ressaltando que a venda de produtos em não conformidade internacional também é prática comum nos segmentos dessa indústria, o que desestabiliza a estrutura de mercado. Vale lembrar também que segmentos como os de aço e cimento, que possuem estrutura de mercado baseado em grandes empresas e também com inserção no mercado exportador, mostram índices de conformidade próximos a 100% (MONTEIRO FILHA, 2010).

3.2 Exportações no Brasil

É notável a importância da indústria cerâmica dentro da cadeia da construção civil do Brasil e também para a economia do país, visto que o segmento representa aproximadamente 1% do PIB do Brasil. Dentro desta indústria, o setor produtivo de materiais, como o de revestimento cerâmico, no que se refere à produção e exportação dos produtos, se destaca em relação à produção e venda de outros componentes como tijolos e blocos, por exemplo. Enquanto a fabricação de revestimentos possui um destaque maior no tocante à tecnologia, com uma imensa gama de tipos, características e, especialmente, dimensões variadas, as empresas fabricantes de outros componentes, no geral, ainda possuem uma configuração marcada pelas pequenas empresas e com meios de fabricação menos avançados. O que todos os segmentos da indústria produtora de componentes cerâmicos possuem em comum é a ausência de padronização em suas medidas, o que implica, frequentemente e significativamente, perdas durante o processo de execução das obras, visto que os produtos não possuem um sistema de medidas comum, quase sempre necessitando de ajustes e cortes, seja na alvenaria ou no assentamento das peças cerâmicas e inviabilizando um possível sistema de construção industrializado de ciclo aberto. Como exemplo da importância das dimensões dos componentes fabricados para as exportações, temos a produção de folhas de madeira compensada no Brasil, onde os Estado Unidos são os maiores compradores deste material. Uma das medidas mais vendidas é a de 1,22m x 2,44m, que corresponde a 4x8 pés, que é o sistema de medidas adotado por aquele país.

3.3 Normas Vigentes

Foram analisadas normas vigentes para componentes cerâmicos como a NBR 15463 para placas cerâmicas para revestimento e a NBR 15270-1 para blocos cerâmicos de vedação, a fim de pontuar algumas características destes documentos que dificultam a incorporação da coordenação modular no Brasil. Primeiramente, a norma pra blocos recomenda dimensões diversas que se baseiam em mais de um sistema de medidas. Podemos observar, em destaque no quadro 1, dimensões recomendadas baseadas no sistema octamétrico, ou seja, distinto do sistema decimétrico baseado no módulo M=10cm. Já a norma para revestimentos cerâmicos não se refere a dimensões específicas ou um sistema de medidas padrão, permitindo a produção de incontáveis tipos de componentes com características e dimensões das mais diversas, ou seja, princípio oposto aos conceitos da coordenação modular que visa à redução dos tipos de componentes para que a padronização dos componentes seja alcançada.

Quadro 1 – Medidas normalizadas para blocos cerâmicos de vedação

DIMENSÕES DE FABRICAÇÃO NORMALIZADAS (cm)			
Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
		Bloco Inteiro	Meio Bloco
6,5	19	Somente em função secundária	
9	9	19	9
		24	11,5
	14	19	9
		24	11,5
		29	14
	19	19	9
		24	11,5
		29	14
		39	19
11,5	11,5	24	11,5
	14	24	11,5
	19	19	9
		24	11,5
		29	14
14	19	19	9
		24	11,5
		29	14
		39	14
19	19	19	9
		24	11,5
		29	14
		39	19
24	24	24	11,5
		29	14
		39	19

Fonte: Ciqueira, 2015 adaptado pelos autores

4 COORDENAÇÃO MODULAR NA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

4.1 Histórico da Incorporação da Coordenação Modular em países industrializados

De acordo com Greven e Baudalf (2007), Farwell Bemis, industrial de Boston, originou o primeiro estudo sobre uma nova técnica de construção, em 1930, o qual denominou de "método modular cúbico". Bemins indicou 4 polegadas como dimensão modular, pois na época acreditava que essa seria a mais racional. As ideias de Bemis impactaram nos primeiros estudos, realizados na Europa e nos EUA, sobre Coordenação Modular. Posteriormente, a França iniciou alguns estudos a fim de coordenar as dimensões dos componentes da construção e em 1942 tais estudos foram apresentados à Associação Francesa para a Normalização (AFNOR), se tornando projeto de norma e, posteriormente, norma fundamental sobre o assunto. Assim, a França foi o primeiro país a obter uma norma de Coordenação Modular de caráter nacional. Os Estados Unidos publicaram sua primeira norma em 1945, a Suécia em 1946 e a Belgica em 1948 (Lisboa, 1970 apud Greven, Bauldaulf, 2007). O alemão Ernest Neufert, durante a Segunda Guerra, desenvolve um estudo sistemático sobre o assunto e em 1943 publicou em seu livro *Bauordnungslehre,* um sistema de coordenação octamétrica (100cm/8), baseado no módulo de 12,5cm. Os estudos de Neufert foram tão importantes que a primeira norma alemã sobre a Coordenação Modular, a DIN 4172, foi extraída dos seus trabalhos. Calcula-se que em 1970 eram produzidos em dimensões octamétricas 90% dos blocos sílico-calcários, 90% dos blocos de concreto leve, 89% das lajes mistas pré-fabricadas, 75% dos caixilhos, 100% das chapas de fibrocimento e 65% das estruturas pré-fabricadas, de acordo com Greven e Baldaulf (2007). Embora tenham ocorridas diversas objeções em relação ao sistema octamétrico, principalmente em função do módulo decimétrico, opção da maioria dos países, os resultados obtidos com o seu uso comprovaram a viabilidade da utilização da Coordenação Modular. Ainda durante a segunda guerra, Bergvall e Dahlberg estudaram, na Suécia, a Coordenação Modular através do módulo base 10cm, enquanto na América do Norte os estudos se guiavam através da utilização do módulo baseado em 4 polegadas (10,16). A partir do final da segunda guerra, esses trabalhos passaram a ser encarados com mais atenção, já que os problemas habitacionais decorrentes da Guerra exigiam novos métodos construtivos foi quando então a Coordenação Modular assumiu um caráter universal sendo uma questão tratada a nível de cooperação internacional. Como resultado de todas as experiências que vinham se desenvolvendo por diversos países, em 1953 foi criada a Agência Europeia para a Produtividade (AEP) e faziam parte desta organização a Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Grécia, Holanda, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suécia, Suíça e a Turquia. A AEP, então, concluiu que as maiores vantagens da utilização da Coordenação Modular, só seriam alcançadas através de um estudo metódico em âmbito internacional e em

1953 foi organizado um estudo do qual participaram onze países europeus (Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Grécia, Itália, Noruega, Holanda, Grã-Bretanha e Suécia) e mais o Canadá e os Estados Unidos. Os estudos realizados pela AEP demonstraram que, em tese, os módulos 10cm ou 4 polegadas eram o que melhor se adaptavam às exigências. Assim, a teoria modular foi completa com investigações práticas e discussões teóricas, baseadas nos experimentos desenvolvidos em cada um dos países (GREVEN; BALDAUF, 2007). Em 1957 foi aprovada a adoção da medida de 10cm ou 4 polegadas como módulos-base. Dos países membros da ISO, na época, 31 adotaram o módulo decimétrico incluindo todos os países europeus, com exceção da Alemanha que ainda debatia as vantagens da aceitação do módulo octamétrico (12,5cm) e da Inglaterra (4 polegadas), enquanto Canadá e Estados Unidos normalizaram o módulo em 4 polegadas. Na década de 1970, a Áustria publica o *Modulor Metric Handbook,* a fim de solucionar os problemas decorrentes da mudança do sistema nacional de medidas pé/polegada para o métrico. O manual estimulava, mediante a utilização da Coordenação Modular, a implantação de um sistema aberto em que os componentes provenientes de fabricantes diferentes pudessem ser usados concomitantemente em um mesmo edifício, excluindo assim o sistema fechado, que utiliza componentes especialmente desenhados e produzidos para um projeto específico. Em 1971 o Comitê Alemão de Normas propôs uma nova norma para a Coordenação Modular baseado no sistema decimétrico, de uso internacional, em detrimento do sistema octamétrico proposto por Neufert. Atualmente, as normas utilizadas na Europa estão centralizadas nas normas da ISO – Internacional Organization for Standardization (GREVEN; BALDAUF, 2007). Toda essa revisão histórica é importante para que compreendamos que, para que haja sucesso na incorporação de qualquer conceito na indústria, é necessário empenho, dedicação e tempo. Pudemos observar boa parte do processo pelo qual aqueles países passaram até que houvesse a incorporação, de fato, da coordenação modular em seus meios de produção, e os benefícios hoje são visíveis.

4.2 Coordenação modular e Industrialização aberta

Ao abordarmos o assunto da construção industrializada, temos dois sistemas industriais de construção: o sistema aberto e o sistema fechado, que se diferem basicamente por meio da utilização dos componentes fabricados. Como exemplo para o sistema industrial fechado, temos o automóvel onde as peças que o compõe são fabricadas e especificadas por uma única empresa (a montadora), em decorrência disto ao haver a necessidade da substituição de alguma peça será exigido a compra de outra com as mesmas especificações técnicas e características equivalentes. Assim, o domínio tecnológico do produto pertence à montadora, que pode terceirizar a produção de partes ou peças, porém, continuando a figurar no papel de integradora do conjunto. Como exemplo para a indústria aberta, temos os computadores desktops, que podem ser montados a partir de

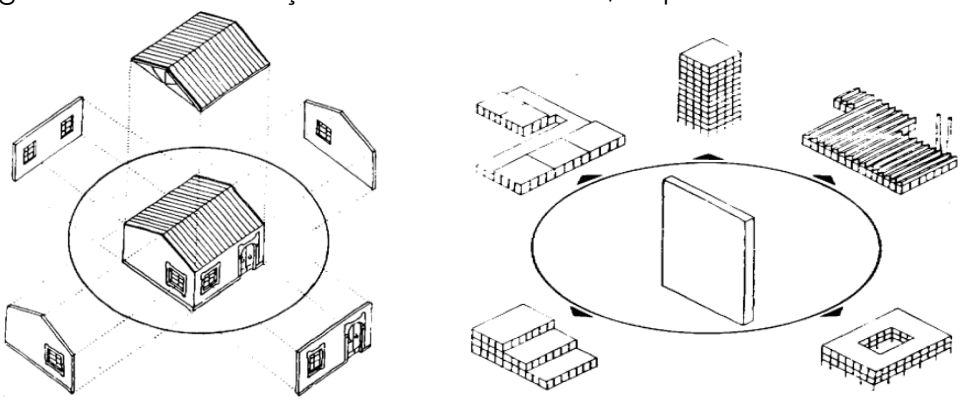
diferentes componentes como memória, placa-mãe, placa de vídeo, monitor etc., de diferentes fabricantes e relativamente intercambiáveis, podendo ser substituídas e atualizadas com componentes do fabricante original ou de terceiros.
Mandolesi apud Ribeiro 2002, elenca as seguintes limitações intrínsecas à industrialização fechada:

- Requer uma determinada quantidade de unidades do mesmo tipo para viabilizar a sua concepção e seu desenvolvimento;
- Exclui a possibilidade de abrir o mercado aos componentes industrializados para serem aplicados em outros tipos e categorias de edificações;
- Limita a variedade de edificações que poderiam ser criadas devido às características únicas dos componentes do sistema;
- Torna-se exclusivo às grandes empresas, em detrimento das pequenas e médias a não ser que estas se associem em consórcio ou cooperativas;

Mandolesi apud Ribeiro 2002, elenca as seguintes finalidades do processo de industrialização aberta:

- Maior penetração do produto no mercado de construção, pelas amplas possibilidades de escolha oferecidas ao consumidor;
- Maior flexibilidade sobre o tamanho da série do produto, pois não existe a sujeição a valores mínimos de intervenção por unidade de construção do mesmo tipo;
- Permitir uma organização maior das empresas produtoras de componentes;
- Limitar os custos de instalação por meio da criação de empresas produtoras especializadas em cada tipo de componente;
- Dar liberdade efetiva ao projeto do produto a nível arquitetônico e sobretudo dar a possibilidade de uma constante manutenção nos modelos concebidos.

Figura 1 – Industrialização fechada e aberta, respectivamente - Ilustração



Fonte: Mandolesi apud Ribeiro 2002

A produção em ciclo aberto garante benefício tanto à construção civil no Brasil quanto ao comércio de componentes construtivos entre o país e outras nações que utilizam o mesmo sistema de medidas decimétrico, permitindo a intercambialidade entre os mesmos e que os produtos sejam comercializados a nivel internacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pudemos perceber que a indústria produtora de componentes cerâmicos no Brasil, no geral, é caracterizada pelo seu alto nível de descoordenação, o que impede que o setor se destaque de madeira unificada e se fortaleça no mercado mundial. As normas brasileiras, para produção de componentes cerâmicos, não se baseiam em um sistema de medidas único, seja ele decimétrico, octamétrico ou pés/polegadas, o que permite e estimula, de certa forma, a produção de diversos produtos com medidas variadas, característica esta que contribui para a ausência de uma padronização nas peças. Podemos observar a especificação de medidas como 11,5cm e 10cm em uma mesma norma, ou seja, medidas justificadas através do sistema octamétrico e decimétrico respectivamente, deixando claro que é necessário que haja uma filtragem a fim de obtermos uma norma que se baseie em um sistema de medidas único. Há também ausência de especificidades em relação a padrões dimensionais quando nos referimos aos produtos cerâmicos para revestimento. Esse segmento, que de fato representa a parcela mais expressiva no tocante às exportações dos componentes cerâmicos como um todo, é caracterizado também como o segmento que detém maior tecnologia em relação aos meios de produção, bem como uma imensa variedade de dimensões nesses produtos. Países industrializados, como pudemos ver, ao contrário do Brasil, se detém a um sistema de medidas específico, característica que permite a incorporação da coordenação modular na indústria da construção civil possibilitando a industrialização do setor e a intercambilidade dos componentes a nivel nacional e mundial. O que vemos na indústria brasileira, de componentes cerâmicos, é que os segmentos dialogam de maneira falha. É necessário que haja empenho entre os fabricantes para garantir que seus produtos possam ser utilizados da forma correta, livre de cortes e remendos, para tanto é importante que o sistema construtivo em alvenaria de blocos seja compatível dimensionalmente com as placas de revestimento cerâmico, a fim de se evitar ao máximo a produção de resíduos provenientes de cortes em decorrencia da incompatibilidade dimensional, assim como retrabalho e todos os prejuízos que um sistema descoordenado implica. A coordenação modular se apresenta como ferramenta capaz de reparar essas fragilidades entre os elos dessa indústria, fortalecendo o setor como um todo e agregando características importantes para a circulação desses produtos internacionalmente, incorporando padrões já adotados em países industrializados. Existem projetos e iniciativas interessantes, divulgados no site da Anicer, por exemplo, onde há a intenção de melhorar os processos de fabricação dos componentes cerâmicos, porém, a questão dimensional dos

produtos quase nunca é um dos focos da questão. A ausência de um sistema de medidas padrão impossibilita ainda o processos construtivo em ciclo aberto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagas – FAPEAL e à Fundação Universitária de Desenvolvimento de Extenção e pesquisa – Fundepes, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.873 - Coordenação Modular em Edificações**. São Paulo – ABNT – 2010.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 15463: placas cerâmicas para revestimento - Porcelanato**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 15270-1: componentes cerâmicos - parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAMAT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Perfil da cadeia produtiva da construção e da indústria de materiais e equipamentos** – ABRAMAT. São Paulo: FGV, 2015. Disponível em: < http://www.abramat.org.br/site/datafiles/uploads/Perfil%20Ed.%202015.pdf>. Acesso em 20 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. **www.anicer.com.br**. Acesso em 20 jun. 2016.

BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Departamento de bens de consumo. **Panorama do setor de revestimento cerâmicos no Brasil**. Novembro 2013. Disponível em: < http://www.bndes.gov.br/ > Acesso em: 20 jun. 2016.

CIRQUEIRA, C. B. R. P. **A coordenação modular como ferramenta de projeto de arquitetura e levantamento de componentes normatizados no mercado da construção civil do Distrito Federal**. 2015. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília.

COCLUCHI, A. **Promoção de exportações brasileiras: avaliação de desempenho.** 2011. 105 f. P. 19. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

GREVEN, H. A. **Módulo de Projeto**. Techne (ed.138, 2008). Disponível em http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/138/artigo286539-1.aspx. Acesso em: 10 de abr. 2016.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil**: uma abordagem atualizada. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Coleção Habitare, 9).

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria Inmetro Nº 558. 19 nov. 2013**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002045.pdf>. Acesso em 20 jun. 2016.

MDIC, **Balança Comercial**. Rio de Janeiro: Ministério do Desenvolvimento, Industria e Comercio Exterior – MIDC. Disponível em: < http://www.mdic.gov.br/balanca-comercial >. Acesso em 20 jun. 2016.

MONTEIRO FILHA, D. C.; DA COSTA, A. C. R.; ROCHA, E. R. P. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. BNDES Setorial, [S.l.], n.31 p. 353-410, 2010. Disponível em: www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/ Setor/Construcao_Civil/201003_10.html. Acesso em: 10 de abr. 2016.

RIBEIRO, M. S. **A industrialização como requisito para racionalização da construção**. 2002. . Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONSTRUÇÃO INTERNACIONAL: BRASIL, INGLATERRA, PORTUGAL E MERCADOS EM CRESCIMENTO[1]

MUTTI, Cristine do Nascimento (1); BRIDI, Paulo Eduardo Howe (2); MIRANDA, Alice Mazon (3)

(1) UFSC, e-mail: cristine.mutti@ufsc.br; (2) Engefisc, e-mail: bridi.pb@gmail.com; (3) APPE, e-mail: alice.mazon.miranda@gmail.com

RESUMO

O setor da construção representa parte importante da economia mundial, tornando contratos internacionais um grande negócio. Nesse sentido, entidades, indústria e grupos de pesquisa tem discutido amplamente o tema. Este artigo é resultado de um conjunto de estudos de caso múltiplos sobre a operação internacional de empresas da construção civil. Foram pesquisadas 14 construtoras brasileiras, 6 portuguesas e uma inglesa, bem como entidades do setor. Os resultados das empresas estrangeiras com operação internacional foram comparados com os das empresas internacionais brasileiras, visando compreender as diferenças na internacionalização de empresas de países em níveis de desenvolvimento distintos. Verificou-se que a empresa inglesa investe nos continentes europeu e asiático enquanto as portuguesas estão voltadas aos mercados africano, europeu e brasileiro. As empresas brasileiras têm foco nos países da América Latina, África e Ásia. Experiência, reputação e tradição aparecem como vantagens competitivas para as empresas dos três países. As dificuldades encontradas pelas empresas Europeias também foram identificadas nas brasileiras. Pode-se averiguar que o mercado da construção civil está em crescimento na maioria dos países em desenvolvimento. Perspectivas apontam para a expansão dos projetos nos continentes Asiático e Africano. O mercado futuro envolverá empresas da China, América do Sul, Sudeste da Ásia e África.

Palavras-chave: Construção internacional. Vantagens competitivas. Padrões de operação. Mercado.

ABSTRACT

The construction sector represents an important share of the world economy. This makes international contracts a great business. In this sense, construction related entities, industry and research groups have been discussing the subject widely. This paper is a result of a series of multiple case studies conducted on the international operation of contractors. Fourteen Brazilian, six Portuguese and one English construction companies were studied, together with construction related entities. Data from foreign companies operating internationally were compared with those obtained from internationally operating Brazilian companies with the aim of understanding the differences on the internationalization processes of contractors from countries in different levels of development. It could be verified that the English company invests in Europe and Asia, while the Portuguese companies are oriented towards the African, European and Brazilian Markets. Brazilian contractors focus on Latin America, Africa and Asia. Experience, reputation and tradition appear as competitive advantages to the companies of all three countries. Difficulties found by European companies were

[1] MUTTI, Cristine; BRIDI, Paulo Eduardo; IRANDA, Alice. Construção internacional: Brasil, Inglaterra, Portugal e mercados em crescimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

analogous to those found by Brazilian ones. It could be noticed that the construction Market is growing in most developing countries, indicating an increase in projects in Asia and Africa.

***Keywords**: International construction. Competitive advantages. Patterns of operation. Market.*

1 INTRODUÇÃO

A globalização criou um mundo interconectado e interdependente. Ela transforma o mundo num lugar dinâmico e complexo, com liberdade de operação, de competição, e com aumento de exportação. Uma revolução nas comunicações e na mobilidade do capital trouxeram uma compressão de tempo e espaço que superam as fronteiras nacionais (FLANAGAN et al, 2005).

Mão de obra de baixo custo é procurada em outros países, e mesmo não sendo o motivo pelo qual as empresas de construção civil internacionalizam, o baixo custo de mão de obra é atrativo à instalação de novas indústrias produtoras de bens de consumo para que possam manter preço competitivo. Isso gera demanda de construção das plantas industriais e de infraestrutura para o país (BRIDI, 2014).

Previsões destacam um crescimento maior que o PIB mundial para o mercado global da construção nos próximos anos. A previsão é de um crescimento de 72% no período de 2012 a 2025, chegando a uma movimentação de US$15 trilhões até 2025 (GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES, 2013). De acordo com o Comitê do Construbusiness (2012), a cadeia da construção no Brasil possuía, em 2010, um valor adicionado de cerca de 8% do PIB brasileiro, e empregava 14% do total de ocupados na economia.

Este artigo tem como objetivo traçar comparativos sobre a operação internacional de empresas do setor da construção do Brasil, Portugal e Inglaterra, destacando padrões de operação, riscos e benefícios. Através dos resultados, podem-se aproveitar lições importantes para a operação internacional pelo Brasil.

2 CONSTRUÇÃO INTERNACIONAL: CARACTERÍSTICAS

Uma empresa que atua além de suas fronteiras (multinacional ou transnacional) é aquela "[...] que empenha investimento direto estrangeiro (IDE) e detém, ou de algum modo, controla atividade de valor agregado em mais de um país" (DUNNING E LUNDAN, 2008, p. 3).

A internacionalização das empresas da construção civil está muito relacionada com a falta de demanda do mercado doméstico, pois se a demanda doméstica é estável, empresas estarão menos interessadas no mercado internacional (Chen e Messner, 2011). Contudo, sabe-se que também é motivo a procura pela diversificação de riscos. Esse movimento também está fortemente relacionado aos bens intangíveis da empresa, como tecnologias e práticas gerenciais utilizadas (CASTRO et al, 2008). A

operação internacional traz vários benefícios para as empresas, e para o país de origem. Mas como toda a operação que envolve muitas variáveis, as empresas também correm vários riscos.

2.1 Padrões

A internacionalização de uma empresa pode ser dividida em três etapas: início no mercado internacional; expansão nos mercados conquistados; e a racionalização global. Essas etapas são, ainda, precedidas pela pré-internacionalização da empresa, onde o mercado doméstico é o ponto focal da estratégia (SCHERER, 2012).

O setor da construção civil distingue-se de outras indústrias nos modos de entrada em mercados externos, a exemplo da exportação de bens que não é possível para a construção. Além disso é observado um modo que somente é visto para a indústria baseada em projetos, o "Build, Operate and Transfer" (construir, operar e transferir) (CHEN; MESSNER, 2011).

O modo de entrada das empresas em outro mercado pode ser permanente ou transitório. O primeiro ocorre quando a empresa continua mantendo atividades de apoio, como desenvolvimento de negócios e gestão de recursos humanos, mesmo se houver redução em seu portfólio. No modo de entrada transitório, ao fim do projeto as atividades da corporação são suspensas e a empresa sai daquele mercado, mesmo sabendo que pode voltar no futuro com o surgimento de novos negócios (CHEN; MESSNER, 2011).

2.2 Benefícios

Empresas internacionais trazem benefícios para si e para seu país de origem, sendo estes: geração de empregos; valor adicionado dos serviços (difusão natural de tecnologia, conhecimento e cultura); maior capacidade de expansão (COUTINHO, 2003).

Uma razão importante para atuar no exterior é a captação de moeda estrangeira (embora as taxas para a repatriação do lucro sejam altas). Empresas que atuam no mercado internacional acabam trazendo desenvolvimento para o país sob a forma de conhecimento e tecnologia. Por estes motivos, o incentivo à atuação internacional é uma das metas do MDIC e outras instituições.

A diversificação de mercados/ciclos proporcionada na internacionalização faz com que a empresa esteja menos exposta ao risco. Isso ocorre porque a instabilidade política ou econômica num dos países que a empresa atua tem um efeito menos intenso para esta, pois o desempenho nos demais mercados é capaz de compensar as perdas. Quando se tem unidades da empresa fora do Brasil, também é possível obter capital a um custo mais baixo por não ser mais necessário pagar o prêmio associado ao risco do Brasil, o chamado "risco país". A decisão de expansão internacional pode ser encarada como uma tentativa de obter um portfólio geográfico de risco-

retorno mais equilibrado, reduzindo, com isso, a dependência do país de origem (CYRINO; PENIDO, 2007).

A operação internacional da empresa proporciona, ainda, um melhor entendimento da concorrência, tanto no mercado doméstico como no global. Desse modo, empresas que se limitam a poucos mercados, ou até mesmo apenas ao mercado doméstico, podem estar em posição vulnerável em relação aos seus concorrentes mais internacionalizados (CYRINO; PENIDO, 2007).

Outros autores (Eriksson et al., 2000, *apud* Calixto et al., 2011) demonstraram também que há um efeito positivo no aprendizado a respeito, conhecimento de negócios e conhecimento institucional no processo de internacionalização das empresas.

2.3 Investimentos, riscos e dificuldades

Para que uma empresa obtenha contratos no exterior, precisa fazer investimentos, como a abertura do escritório, investigação de parcerias, e longo tempo para obter projetos. Entretanto, o resultado não é imediato. Uma empresa de construção que busca contratos fora do país pode levar até 15 meses para obter o primeiro contrato, e de cinco a sete anos para obter grandes contratos (HILLEBRANDT E CANNON, 1989; MUTTI, 2004).

Os custos de implantação de um escritório no local ficam, no mínimo, em torno de US$500 mil, o que pode representar uma perda direta se a empresa não conseguir um contrato (MAWHINNEY, 2001; MUTTI, 2005).

Quanto aos riscos, estes são classificados em categorias, sendo: tecnológicos, de construção, de operação, de suprimentos, de renda (projetos BOT), financeiros, ambientais, políticos, legais, e de flutuação da moeda estrangeira.

Empresas de países desenvolvidos correm baixo risco no mercado internacional, e obtém baixa recompensa. Empresas de países em desenvolvimento correm médio risco obtendo média recompensa, enquanto que de países em transição e emergentes (pela classificação do FMI) correm alto risco, mas obtém alta recompensa (MAWHINNEY, 2001).

Analisando os padrões, possíveis explicações para a forte atuação internacional de empresas de países desenvolvidos, onde o risco é baixo, mas a recompensa também é baixa, seriam que o tamanho de seus mercados domésticos teria ficado pequeno para suas estruturas. No caso de países em desenvolvimento, seria considerado válido assumir um risco médio para ter média recompensa. Para a operação de empresas brasileiras, uma das possíveis explicações é a de que estas considerem o padrão de recompensas como alto, em função da adicional possibilidade de aumentar fatias de mercado. No entanto, poucas empresas assumem este risco médio. A estratégia é lidar com oportunidades, e tentar transformar situações de alto risco em situações de baixo risco, obtendo alta recompensa (MAWHINNEY, 2001). Uma das formas de fazer isto é adquirindo experiência e

marcando presença em mercados internacionais.

3 MÉTODO

O artigo traz resultados de 5 grupos de estudos de caso realizados com grandes empresas de construção: Mutti (2004) estudou 10, Blosfeld (2012) abrangeu 3, e Bridi (2014) estudou 2 grandes construtoras brasileiras. Vaz (2009) investigou 6 empresas portuguesas e MIRANDA(2013) uma empresa inglesa. Todos os estudos foram realizados com base no primeiro (mesmo que cada um tenha tido objetivos específicos), tendo sido planejados para que fosse possível a comparação dos padrões de atuação de diferentes países e do mesmo país em diferentes períodos.

As informações foram obtidas através de entrevistas com os diretores e gerentes operacionais das empresas (profissionais diretamente ligados à operação internacional ou prospecção de internacionalização). Todas as entrevistas continham questões sobre: estratégia de internacionalização, países de atuação, dificuldades e obstáculos para atuação, e vantagens competitivas. A análise foi feita através da estratégia *pattern matching* (Yin, 1994).

Foram entrevistados também representantes de entidades, bem como profissionais de renome na área de construção internacional. Ainda foram analisados relatórios anuais e documentos fornecidos pelas empresas.

4 RESULTADOS

4.1Comparativos

Os resultados encontrados investigando empresas estrangeiras com operação internacional (VAZ, 2009; MIRANDA, 2013) foram comparados com os levantados para as empresas internacionais brasileiras (MUTTI, 2004; BLOSFELD, 2012; BRIDI; 2014), objetivando compreender as diferenças do processo de internacionalização das empresas.

Analisaram-se, inicialmente, os diferentes países de operação das empresas estudadas (Quadro 1). É possível perceber que enquanto a empresa da Inglaterra está mais direcionada para países dos continentes europeu e asiático, as empresas portuguesas estão voltadas aos mercados africano, europeu e brasileiro. As empresas do Brasil, por sua vez, tem foco maior nos países da América Latina, África e Ásia. A Europa ainda representa um mercado de difícil acesso para empresas brasileiras.

Isto ressalta a importância dos mercados regionais na operação internacional de construção. É natural para empresas brasileiras operarem na América Latina, enquanto empresas europeias tendem a ter foco em países da Europa. Os mercados da Ásia e África estão abertos tanto a empresas provenientes de países em desenvolvimento quanto desenvolvidos.

Quadro 1: Países de operação.

	Empresas portuguesas	**Empresa inglesa**	**Empresas brasileiras**
Continente africano	Angola Argélia Cabo Verde Líbia Marrocos Moçambique	África do Sul Costa do Marfim Egito Ilhas Maurício Marrocos Tunísia	Angola Argélia Camarões Congo Gana Guiné-Conacri Líbia Mali Moçambique
Continente americano	Brasil	Canadá EUA	Antígua Argentina Bahamas Brasil Bolívia Canadá Chile Colômbia Costa Rica Equador EUA Honduras Panamá Peru República Dominicana Suriname Uruguai Venezuela
Continente europeu	Alemanha Áustria Bélgica Cazaquistão Eslováquia Espanha Gibraltar Hungria Irlanda Polônia Romênia Rússia	Albânia Alemanha Áustria Croácia Espanha Finlândia Bósnia e Herzegovina Itália Portugal Romênia Reino Unido Suécia França	Alemanha Portugal Reino Unido
Continente asiático		Arábia Saudita China Coreia EAU Indonésia Índia Irã Líbano Singapura Vietnã	Arábia Saudita Catar China EAU Iraque Malásia Nepal Omã

Fonte: Mutti (2004); Vaz (2009); Blosfeld (2012); Miranda (2013); Bridi (2014)

É interessante destacar que mesmo atuando nos mesmos continentes, os países dificilmente são os mesmos, com exceções do Canadá, EUA, Angola, Argélia, Áustria, Alemanha, Portugal, Reino Unido, Arábia Saudita, China e Emirados Árabes, onde são notadas as presenças tanto de empresas brasileiras como de empresas europeias.

A competitividade das empresas ao atuar em mercados estrangeiros também merece destaque. O quadro 2 destaca as vantagens competitivas das empresas europeias, e das empresas brasileiras que atuam no exterior.

Quadro 2: Vantagens competitivas das empresas ao atuar em mercados estrangeiros.

	Empresas portuguesas	**Empresa inglesa**	**Empresas brasileiras**
Vantagens competitivas	- Experiência e capacidade técnica - Reputação, confiabilidade e tradição - Tecnologia - Especialidade	- Experiência em diferentes tipos de contratos - Reputação, confiabilidade e tradição - Alta qualidade dos serviços prestados - Capacidade financeira	- Experiência e capacidade técnica - Reputação, confiabilidade e tradição - Presença no mercado internacional - Taxas de câmbio - Tecnologia - Capacidade financeira - Experiência em

		- Especialidade - Posicionamento geográfico - Recursos humanos de diferentes nacionalidades, altamente qualificados - Tecnologias atualizadas e globais	trabalhar em situações adversas com margens de lucro apertadas - Qualidade e custo dos recursos humanos - Relações interpessoais (cultura brasileira)

Fonte: Mutti (2004); Vaz (2009); Blosfeld (2012); Miranda (2013); Bridi (2014)

A experiência, a reputação e a tradição aparecem como vantagens competitivas tanto para as empresas de países desenvolvidos como para as empresas de países em desenvolvimento. Tecnologia também figura como uma vantagem para as empresas dos 3 países. Isto provavelmente seria explicado pelo fato de, para operar no mercado internacional, tecnologia é condição necessária (e também uma consequência positiva da operação). A empresa inglesa se diferencia pelo seu posicionamento geográfico, que facilita as relações com clientes, fornecedores e outras empresas, e possibilita a contratação de funcionários de diferentes nacionalidades, característica essa que aparece como outra vantagem competitiva, visto que auxilia imensamente na inserção em novos mercados. As empresas brasileiras, no entanto, apresentam uma vantagem que as distingue globalmente, a experiência em trabalhar em situações adversas com margens de lucro apertadas, situação pouco comum no quotidiano da empresa inglesa. A cultura brasileira, como já comentado, também é considerada vantagem competitiva, pois traz a criatividade e capacidade de adaptação e facilidade de relações interpessoais, necessárias aos contratos.

Outra análise interessante é a das dificuldades enfrentadas pelas empresas ao expandir sua atuação a mercados internacionais (Quadro 3).

Quadro 3: Dificuldades enfrentadas pelas empresas ao atuar em mercados estrangeiros.

	Empresas portuguesas	**Empresa inglesa**	**Empresas brasileiras**
Dificuldades	- Mão de obra local desqualificada - Legislação - Cultura e língua - Inadequação de suporte recebido pelo governo português	- Mão de obra local - Legislação - Falta de tecnologias no país de atuação - Falta de suporte por parte do governo britânico - Corrupção e conflitos políticos	- Mão de obra local desqualificada - Legislação - Cultura e língua - Inadequação de suporte recebido pelo governo brasileiro - Corrupção e conflitos políticos - Logística de transporte e descarga de materiais - Níveis de exigência local - Clima e geografia

Fonte: Mutti (2004); Vaz (2009); Blosfeld (2012); Miranda (2013); Bridi (2014)

As dificuldades encontradas pelas empresas europeias também foram identificadas nas empresas brasileiras. Um dos motivos talvez seja o fato de todas investirem nos mesmos continentes, com destaque para o continente africano e o continente asiático.

Observou-se que a mão de obra local, legislação e suporte inadequado do governo são dificuldades comuns às empresas de países em níveis de desenvolvimento diferentes. Corrupção não apareceu como dificuldade para empresas portuguesas, mas não é um aspecto sobre o qual as empresas falem abertamente.

É importante destacar alguns fatores que confirmam os resultados obtidos para as empresas brasileiras, como fato de as empresas europeias contratarem empreiteiras locais ao construir no exterior, e o fato de ao se organizarem em *joint ventures* adquirirem conhecimento sobre tecnologia, cultura e prática de negócios de outras empresas.

4.2 Situação dos mercados em crescimento

O setor da construção representa uma parte importante da economia mundial, o que torna contratos internacionais um grande negócio. Parte dessa importância é justificada pela capacidade do setor de solucionar problemas sociais e de infraestrutura.

Essa forte relação entre as atividades de construção e o desenvolvimento econômico de um país fez com que, seguindo a crise econômica de 2007 e 2008, vários governos montassem pacotes de resgate para gastar em infraestrutura.

O mercado da construção civil está em constante crescimento em grande parte dos países em desenvolvimento. As previsões para o futuro da construção internacional, afastam cada vez mais a Europa dos projetos de grande porte. A tendência global é a de expansão para os continentes Asiático e Africano. O mercado futuro deverá envolver empresas da China, América do Sul, Sudeste da Ásia e África, e será ainda mais competitivo.

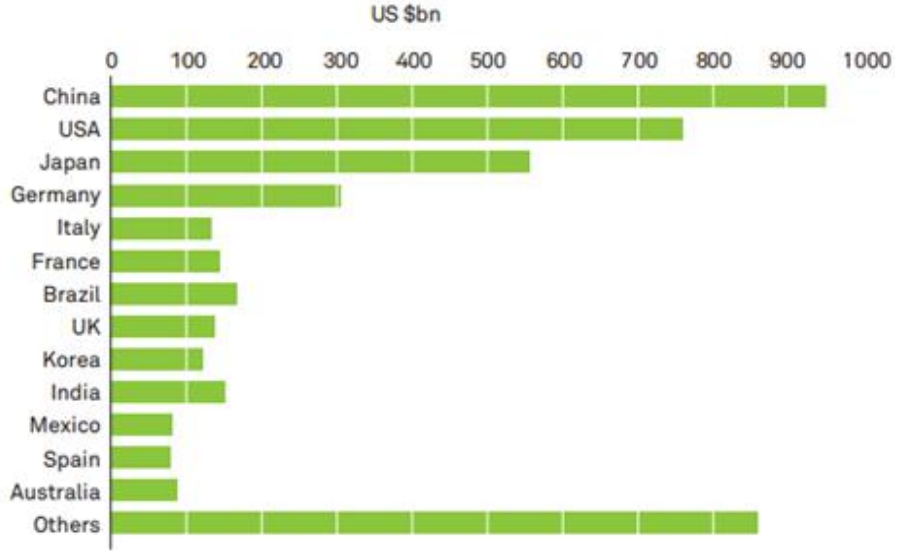
O continente Africano recebe cada vez mais empresas de outros países, para atuar em construção civil, infraestrutura, mineração, energia e combustíveis. Causa desse interesse é a falta de competidores locais, pois são poucas as empresas especializadas na região, e no rápido crescimento das cidades africanas. Previsões indicam que em 2040 o continente terá mais de 100 cidades com população maior ou igual a 1 milhão de habitantes e pelo menos 7 cidades com população maior que 10 milhões de habitantes. Cidades inteiras estão sendo construídas para alojar a crescente população, algumas chegam a custar mais de US$300 milhões.

Dentre os riscos de construir no continente estão: o difícil acesso a financiamento (na grande maioria dos países os responsáveis pela obra tem que arcar com pelo menos 50% do valor do investimento em dinheiro); a

falta de alinhamento entre as políticas regionais, nacionais e continentais, influenciando obras que internacionais; os elevados custos de construção, pela indisponibilidade de materiais de construção especializados; a complexa legislação em torno da aquisição de bens privados, que pode prejudicar quem está realizando o empreendimento e quem vai usufruí-lo. (GOUNDEN et al, 2012).

Nos últimos anos o Mercado Asiático da construção tem sido o que mais cresce anualmente. China é o país de maior destaque, seguida pela Índia, Indonésia e Vietnã. Somente em 2011 mais de 40% dos serviços de construção não residencial realizados na Ásia-Pacífico estavam concentrados na China, quase o dobro de todo o mercado da construção japonês (CROSTHWAITE, 2012). A Figura 1 mostra a China no topo da lista dos países que mais gastaram com construção no mundo, em 2011.

Figura 1: Construção Global - Gastos em 2011 (CROSTHWAITE, 2012)



As fontes de vantagem competitiva devem ser: reputação e experiência da empresa; disposição para correr riscos e habilidade de evitá-los; capacidade de formar parcerias ou alianças; gestão e reutilização da informação; conhecimento técnico; capacidade de trabalhar com prazos de projeto reduzidos; apoio político; financiamento de projetos; e infraestrutura corporativa. Ainda, é essencial que as empresas adotem estratégias de longo prazo, reposicionando e readaptando seus recursos e experiências, e reorientando seu pessoal (OFORI, 2003).

Destas vantagens, as críticas para a operação de empresas Brasileiras no mercado internacional são o apoio político e o financiamento de projetos, já que as demais vantagens são possuídas pelas grandes empresas. Taxa de câmbio é vantagem oscilante.

5 CONCLUSÕES

A comparação dos resultados obtidos para empresas dos vários países mostrou que mesmo empresas oriundas de mercados tão distintos, enfrentam problemas semelhantes ao decidir atuar no exterior.

Verificou-se que a empresa inglesa investe nos continentes europeu e asiático enquanto as portuguesas estão voltadas aos mercados africano, europeu e brasileiro. As empresas brasileiras têm foco nos países da América Latina, África e Ásia. Este padrão reforça a importância dos mercados regionais na operação, já que as duas empresas Europeias investem no continente, enquanto a brasileira investe na América Latina.

As empresas dos três países possuem vantagens competitivas análogas, tais como experiência, reputação e tradição. As dificuldades encontradas pelas empresas Europeias também foram identificadas nas brasileiras.

Pode-se constatar que o mercado da construção civil está em crescimento na maioria dos países em desenvolvimento. Perspectivas apontam para a expansão dos projetos nos continentes Asiático e Africano. Dados indicaram que mercado futuro possivelmente envolverá empresas da China, América do Sul, Sudeste da Ásia e África.

REFERÊNCIAS

BLOSFELD, C. **Internacionalização da Indústria da Construção Civil. Estudo de caso de três multinacionais brasileiras.** [Trabalho de conclusão de curso]. Florianópolis, Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Dezembro, 2012, 91 p.

CASTRO, A. E. M. P. et al. **Explorando a internacionalização das empresas brasileiras e sua relação com a inovação tecnológica.** Adm. Ufsm, Santa Maria, v. 1, n. 1, p.37-56, jan. 2008.

CHEN, C.; MESSNER, J.. Characterizing entry modes for international construction markets: Paving the way to a selection model. **Engineering, Construction And Architectural Management.** Bingley, p. 547-567. jun. 2011.

CONSTRUBUSINESS. Departamento da Indústria da Construção; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Competitividade Sustentável na Cadeia da Construção. In: **Congresso Brasileiro da Construção**, 10. São Paulo, 2012.

COUTINHO, L Quinto seminário da indústria brasileira da construção. **Construbusiness: agenda de politica industrial para a cadeia produtiva da construção.** São Paulo: LCA Consultores, 2003.

CROSTHWAITE, D. **World Construction 2012.** Davis Langdon, AECOM company, Março, 2012.

CYRINO, A. B.; PENIDO. Benefícios, riscos e resultados do processo de internacionalização das empresas brasileiras. In: SAUVANT, Karl et al.

Internacionalização de empresas brasileiras: perspectivas e riscos. São Paulo: Elsevier, 2007. Cap. 3. p. 79-118.

DUNNING, J. H.; LUNDAN, S. M. **Multinational Enterprises and the Global Economy.** 2. ed. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2008. 920 p.

CALIXTO, C. et al. Uma análise sobre o conceito de aprendizagem na perspectiva de internacionalização. **Internexr – Revista Eletrônica de Negócios Internacionais da ESPM**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 1-20, jan 2011.

FLANAGAN, R. , JEWELL, C. , ERICSSON, S., HENRICSSON, P. **Measuring competitiveness in selected countries.** Final report. (2005).

GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES; OXFORD ECONOMICS. Global Construction 2025: A global forecast for the construction industry to 2025. Londres: **Global Construction Perspectives And Oxford Economics**, 2013. 11 p.

GOUNDEN, A.; POTTAS, A.; NKHUMELENI T. Deloitte on Africa Construction on the African Continent: Opportunities, Risks and Trends. **Deloitte on Africa Collection:** Issue 4. Johannesburg, 2012.

HILLEBRANDT, P. M.; CANNON, J. **The management of construction firms:** aspects of theory. Intl Specialized Book Service Inc. London: Mcmillan, 1989.

MAWHINNEY, 2001M. International construction. Oxford, Blackwell Scienc, 2001)(1).

OFORI, G. Frameworks for analysing international construction. **Construction Management and Economics**, Reino Unido, n. 21, p. 379-391, junho, 2003.

SCHERER, F. L. Estratégia de internacionalização de empresas brasileiras de construção pesada: reflexões sobre a trajetória e resultados. Revista Ibero-americana de Estratégia, São Paulo, v. 11, n. 2, p.281-307, maio 2012.

VAZ, J. C. C. **Competitividade de empresas de construção portuguesas no mercado nacional e internacional.** [Trabalho de conclusão de curso]. Florianópolis, Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Novembro, 2009.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods.** 2ª ed. vol 5. Applied Social Research Methods, Thousand Oaks, California. Sage, 1994.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

UMA PROPOSTA DE MICROINTERVENÇÕES PARA MELHORAR A ACESSIBILIDADE URBANA DA CIDADE DE SÃO PAULO[1]

PACIFICI, Martina (1); MARINS, Karin Regina de Casas Castro (2)

(1) USP, e-mail: martinapacifici@yahoo.it; (2) USP, e-mail: karin.marins@usp.br

RESUMO

O mercado imobiliário tem-se voltado, principalmente, para empreendimentos pontuais, em detrimento de iniciativas para requalificação do ambiente construído como um todo. Assim, verifica-se a valorização dos lotes privados ao lado de um desenvolvimento mais lento do tecido urbano. Esse crescimento desigual gera problemas de acessibilidade local, especialmente no que tange aos espaços coletivos, onde o envolvimento da iniciativa privada ainda se constitui um importante desafio. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é analisar os atributos da forma urbana que impedem a acessibilidade, por um método de desenho que reúne diversas dimensões urbanas em uma visão sistêmica. O método é aplicado em uma área da cidade de São Paulo cujas condições de acessibilidade são diagnosticadas em visitas de campo, mapeamento do local, coleta fotográfica. Os resultados parciais ressaltam um conjunto de configurações espaciais que proporcionam acesso limitado ao espaço urbano. Para resolução desses impedimentos, uma rede de intervenções é discutida, a fim se de levantar as possibilidades de participação dos atores empresariais em apoio ao orçamento municipal. Entre as contribuições do trabalho, destaca-se o avanço conceitual que eleva o discurso desagregado da acessibilidade a uma dimensão sistêmica, assim como as propostas de envolvimento do mercado imobiliário na melhoria do espaço público.

Palavras-chave: Acessibilidade. Visão sistêmica. Microintervenções. Desenho urbano.

ABSTRACT

The real estate market has mainly focused on punctual projects, rather than initiatives for the regeneration of the built environment as a whole. Therefore, it can be seen a private lots improvement next to a slower urban fabric development. This unequal growth raises local accessibility problems, especially with regard to the public spaces, in which the private sector engagement still remains a major challenge. In this context, this study aims to analyze the urban form features that prevent accessibility, through a design method that rejoin several urban dimensions, based on a systemic view. The method is applied to an urban area located in the city of São Paulo. The accessibility conditions are analyzed through site mapping, field visits and photographic collection. The partial results highlight a set of spatial settings which produce limited access in the studied area. To solve these barriers, a network of interventions is discussed in order to enhance the participation of business actors, to support municipal financing. Among the work major contributions, there is the conceptual breakthrough that raises the discourse of accessibility to a systemic dimension, as well as the proposals for a real estate market engagement in the improvement of the city public space.

***Keywords**: Accessibility. Systemic view. Micro-interventions. Urban Design.*

[1] PACIFICI, Martina; MARINS, Karin Regina de Casas Castro. Uma proposta de microintervenções para melhorar a acessibilidade urbana da cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

No livro "Direito a Cidade", Henri Lefebvre elucida a natureza híbrida das necessidades humanas sociais: segurança e abertura, certeza e aventura, trabalho e atividades lúdicas, unidade e diferença, independência e comunicação, assim como de ver, ouvir, tocar, degustar, exercitar atividades criadoras e atos corporais (LEFEBVRE, 1968). Para atender a essas necessidades, a Cidade concentra muitos serviços diferentes numa única porção de solo. A heterogeneidade dessa oferta atrai um número crescente de pessoas, de modo que hoje a escolha por uma vida 'coletiva e urbana' prevalece sensivelmente sobre aquela 'dispersa e rural' (IBGE, 2016).

No entanto, o conjunto das oportunidades urbanas não é acessado pela população toda; o espaço urbano possui uma capacidade limitada e se torna objeto de disputa entre grupos sociais, já que, se há acesso, há um aumento da renda e prestígio social. Assim, determinados espaços da cidade acabam sendo identificados com certos grupos sociais dominantes e excluem outras parcelas da população (DE QUEIROZ RIBEIRO, CARDOSO, 2003). Esse quadro urbano desigual demonstra a necessidade de uma política de redistribuição que possa garantir um acesso aos benefícios da urbanização para todos os cidadãos (CARDOSO, 2003).

Segundo a legislação federal brasileira, a acessibilidade detém um lugar de destaque no contexto nacional, pois junto com os direitos humanos e a democracia, constitui valor indissolúvel, instrumento de bem-estar e de desenvolvimento inclusivo (COORDENADORIA NACIONAL PARA INTEGRAÇÃO DA PESSOA PORTADORA DE DEFICIÊNCIA, 2008) e pré-condição para uma evolução política e cultural do povo. Entretanto, minimizar o direito à acessibilidade à eliminação das barreiras arquitetônicas, por exemplo, não valoriza a abrangência desse princípio universal que, mais do que isso, propicia o acesso aos múltiplos serviços urbanos, às condições de vida urbana digna e ao usufruto de um espaço culturalmente rico e diversificado (DE GRAZIA, 2003).

Este trabalho propõe uma abordagem espacial e sistêmica para o estudo da acessibilidade urbana, por meio da aplicação de um método de desenho que junta diversas dimensões urbanas em uma única ferramenta de análise. Os resultados são apresentados em forma de plataforma de análise espacial, organizada em três escalas (unidade habitacional, quadra, vizinhança), sobre a qual a prática de microintervenções arquitetônicas é discutida.

2 CARATERIZAÇÃO DO SISTEMA "ACESSIBILIDADE"

Para desenhar uma acessibilidade urbana plena e completa, é preciso entender como ela ocorre espacialmente, quais arranjos de elementos urbanos construídos (cheios) e não construídos (vazios) permitem seu acontecimento, assim como quais são as combinações que impedem a criação de um lugar atraente para a coletividade. Olhando para as configurações espaciais que articulam o tecido urbano, observa-se que a

qualidade de um arranjo espacial e sua acessibilidade dependem da interação entre os objetos construídos e os fluxos das pessoas ao redor deles.

Ao contrário da "mobilidade", que ocupa o espaço vazio, e da "forma urbana", definida por objetos cheios, a "acessibilidade" não é associada com um espaço determinado. Pelo contrário, ela é o resultado da qualidade da interação entre o espaço morfológico ocupado por formas urbanas e o espaço da mobilidade que permite atingir estas formas. Em termos sistêmicos, a "acessibilidade" é reconhecível na interseção entre um sistema estático acessível, o "sistema morfológico", e um sistema dinâmico que garante o acesso, o "sistema de mobilidade". Entende-se que a integração desses sistemas, de forma multicriterial e multiescalar, constitui uma estratégia para promover uma organização do solo urbano mais igualitária e abrangente do ponto de vista coletivo.

Diversos autores se esforçaram para explorar a natureza híbrida do conceito de acessibilidade. Carrera (2002) propõe cinco significados possíveis: 1) separação espacial, 2) custo da viagem, 3) oportunidades para um indivíduo, 4) oportunidades para uma área urbana e 5) excedente do consumidor, ou seja, o benefício que resulta do uso conjunto do sistema de transporte e do uso do solo (PEÑA CARRERA, 2002). De acordo com Sassaki (2009), a acessibilidade pode ser classificada em segmentos, sendo que cada um deles persegue objetivos e ações diversas, todos relevantes para a realização de uma acessibilidade plena. Segundo Geurs e van Wee (2004), a acessibilidade é composta por quatro tipos de componentes: uso do solo, transporte, tempo e indivíduo.

Nesse estudo, foram identificadas sete partes constitutivas que participam da concepção do sistema de acessibilidade:

- ACESSIBILIDADE FÍSICA: refere-se ao movimento das pessoas no espaço urbano. O ambiente construído condiciona enormemente a acessibilidade física; "os padrões das ruas, o projeto dos espaços, ricos em detalhe e experiências intensas, influem na qualidade dos percursos dos pedestres e no prazer de caminhar" (GEHL, 2015);
- ACESSIBILIDADE AMBIENTAL: é relacionada com a proximidade das áreas verdes, com a disponibilidade de água, sol e vento. Todos esses componentes naturais precisam ser garantidos e, se excedentes, gerenciados. Segundo Baker (2001), "nós temos uma afinidade hereditária profunda com o mundo natural; apesar disso a vida moderna no ambiente construído cada vez mais nos isola dele";
- ACESSIBILIDADE SOCIAL: é atributo de uma sociedade capaz de receber e incluir todos os segmentos sociais, especialmente os mais vulneráveis, estimulando atitudes integradoras. Hansen (1959), em definir a acessibilidade como "potencial de interação", enfatiza o aspecto relacional que é ligado ao acesso ao lugar, e as oportunidades que esse ingresso proporciona;
- ACESSIBILIDADE CULTURAL E SIMBÓLICA: é composta por estímulos educacionais, artísticos, esportivos, que são direcionados à população

toda. Serpa (2004) introduz o conceito de acessibilidade simbólica, referindo-se ao simbolismo da apropriação espacial, que se afirma a partir da reivindicação da própria identidade a respeito de outra;

- ACESSIBILIDADE ECONÔMICA: pressupõe a existência de zonas urbanas heterogêneas e abertas para compradores com diversos poderes aquisitivos. Geralmente, esse tipo de acessibilidade não é encontrado nos territórios periféricos das metrópoles. Vieira e Haddad (2012), que trabalharam no cálculo do Índice de Acessibilidade para Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), mostraram que "as regiões centrais possuem maior acessibilidade que as regiões periféricas", havendo "(...) uma significativa correlação espacial entre renda e acessibilidade na região metropolitana estudada";
- ACESSIBILIDADE À SAÚDE: "A interação entre saúde e urbanismo é um tópico amplo" (GEHL, 2015). Ela abrange diversos tipos de condições urbanas, como os assentamentos irregulares e favelas com condições de vida insalubres, mas também as áreas urbanizadas, cimentadas, desprovidas de verde, hostis ao deslocamento de pedestres e ao exercício da atividade física;
- ACESSIBILIDADE AO CONFORTO E À PERCEPÇÃO DO BEM ESTAR: mede a receptividade das condições ambientais pelos indivíduos; depende da expectativa e do estilo de vida das pessoas. Com relação ao conforto térmico, de acordo com Nicol, Humphreys e Roaf (2012), é preciso considerar a contribuição de muitas disciplinas e fatores diversos ao processo de termorregulação, entre os quais a questão psicológica, psicofísica, física e comportamental.

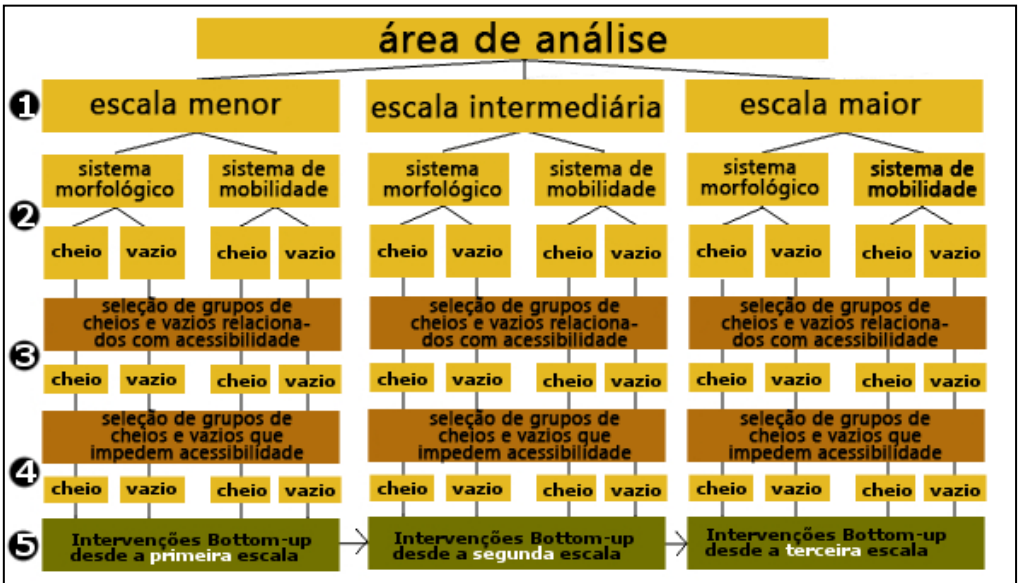
3 ELABORAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE URBANA

O mapeamento da acessibilidade urbana requer um esforço de visualização. Diferentemente dos sistemas urbanos Morfológicos e de Mobilidade, a Acessibilidade deveria ser entendida como um sistema emergente a desenvolver, mas ela é ainda pensada em forma de intervenções pontuais. O presente método visa ampliar esse limite atual, assumindo uma abordagem abrangente baseada em múltiplos critérios. Nesse contexto, a proposta de intervenções urbanas voltadas para uma melhor acessibilidade é elaborada a partir do estudo dos arranjos de elementos cheios e vazios coletados na área urbana estudada.

A estrutura metodológica adotada é de tipo hierárquico, organizada em escalas e grupos de elementos, conforme esquematizado na Figura 1. O método é organizado em 5 etapas, replicadas em três escalas diferentes. Na primeira etapa, as escalas de análise são demarcadas; na segunda, os elementos cheios e vazios são coletados e organizados hierarquicamente conforme a escala e o tipo. Na terceira etapa, cada elemento é associado ao tipo de acessibilidade correspondente, segundo a função espacial desempenhada. Sucessivamente, um processo de filtragem é aplicado, de modo a isolar os elementos cheios e vazios que configuram situações

urbanas pouco acessíveis. Na ultima fase, microintervenções arquitetônicas são propostas em resposta aos problemas detectados.

Figura 1: Estrutura metodológica aplicada na análise da acessibilidade

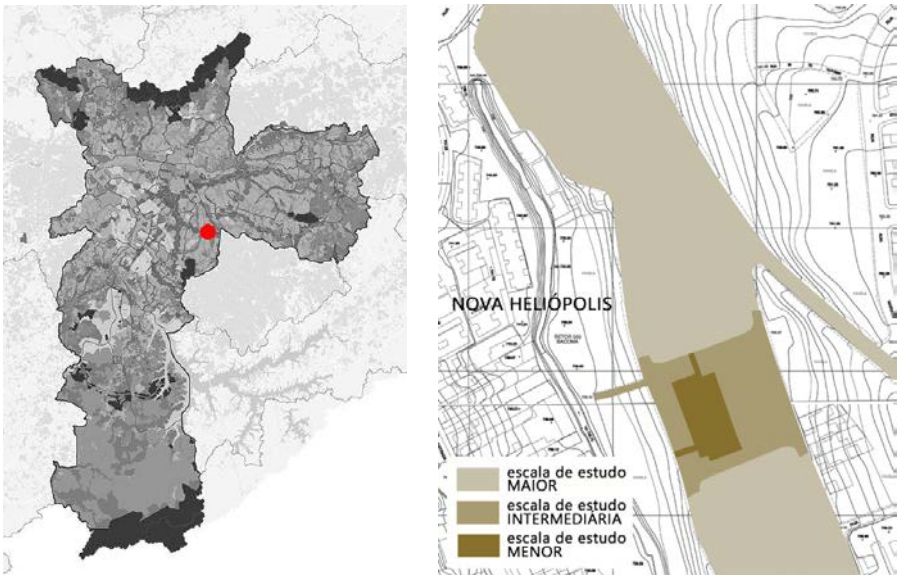


Fonte: Os autores

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO NO ESTUDO DE CASO

A área urbana de Nova Heliópolis (Figura 2), localizada no município de São Paulo, foi objeto de aplicação do método de análise da acessibilidade, conforme descrito a seguir:

Figura 2 e 3: Localização da área em estudo (esquerda), demarcação das três escalas de análise (direita)

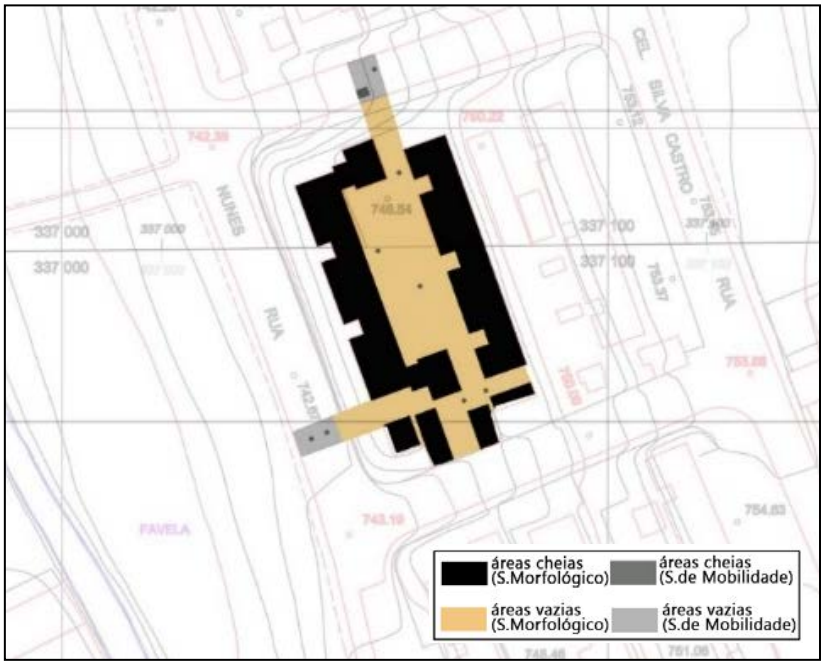


Fonte: Os autores

- **Etapa 1:** Demarcação das três escalas de análise. Nesse estudo de caso, a escala maior coincide com uma unidade de vizinhança, a escala

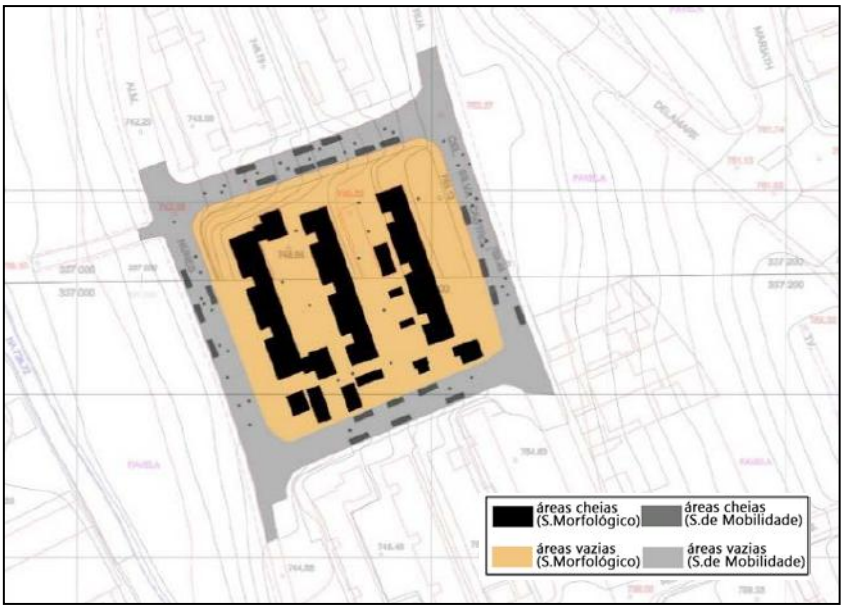
intermediária com a quadra, a escala menor com um conjunto habitacional (Figura 3). Dentro cada escala (Figura 4, 5, 6), as áreas cheias pertencentes ao Sistema Morfológico, como os prédios, são indicadas em preto; as áreas vazias, como o pátio, do mesmo Sistema Morfológico são indicadas em amarelo. Dentro do sistema da Mobilidade, as áreas vazias, como a rua, são marcadas em cinza claro; os elementos cheios do mesmo Sistema da Mobilidade, como os carros e outros obstáculos, são marcados em cinza escuro. A Figura 7 mostra exemplos relativos a essas quatro categorias espaciais.

Figura 4: Unidade habitacional – Nova Heliópolis (escala menor)



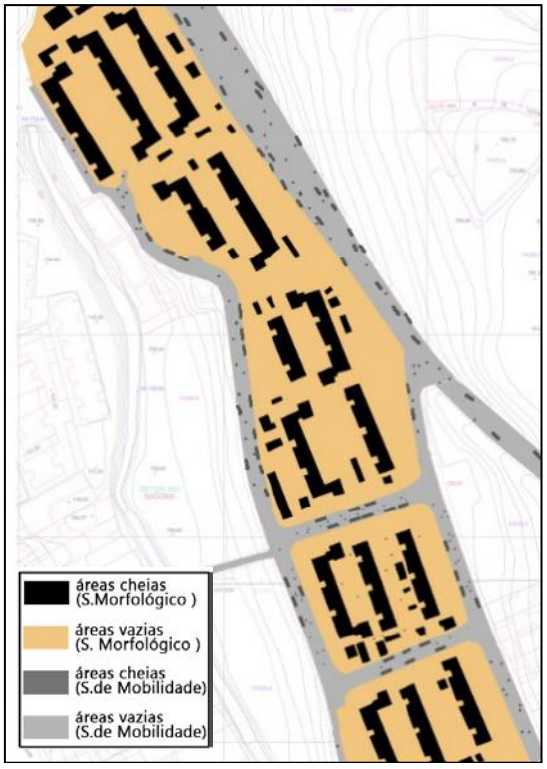
Fonte: Os autores

Figura 5: Quadra - Nova Heliópolis (escala intermediária)



Fonte: Os autores

Figura 6: Vizinhança – Nova Heliópolis (escala maior)



Fonte: Os autores

Figura 7: Exemplos de cheios e vazios pertencentes ao Sistema Morfológico e da Mobilidade, em Nova Heliópolis

CHEIO – SISTEMA MORFOLÓGICO



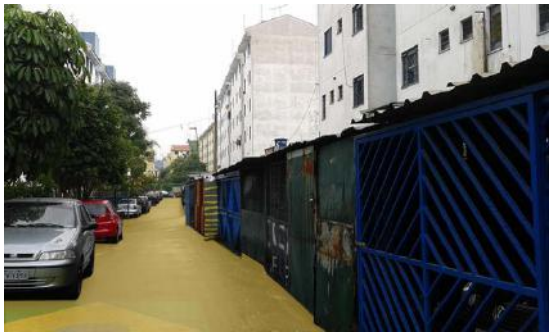
VAZIO – SISTEMA MORFOLÓGICO



CHEIO – SISTEMA DE MOBILIDADE



VAZIO – SISTEMA DE MOBILIDADE

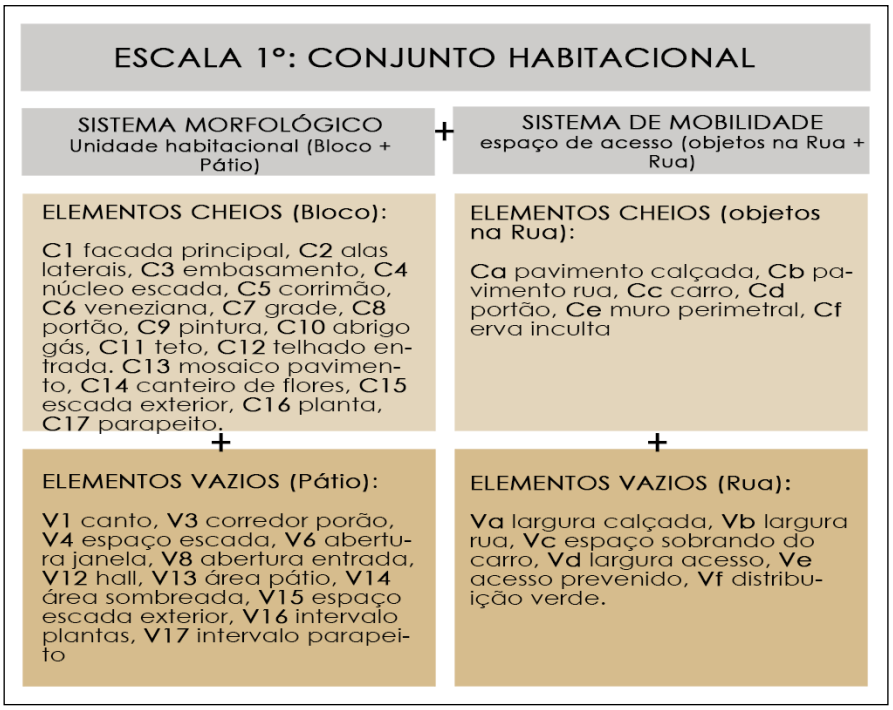


Fonte: Os autores

- **Etapa 2:** Identificação dos elementos primários que compõem as áreas cheias e vazias, nas três escalas. Os elementos são listados em grupos, divididos por tipo (S. Morfológico, S. de Mobilidade) e escala (menor – intermediária – maior). A Figura 8 mostra a tabulação dos elementos na escala do Conjunto Habitacional. Nessa escala, os elementos são assim divididos: elementos cheios que compõem as áreas construídas (grupo A), elementos cheios que ocupam a Rua (grupo B), elementos vazios que caracterizam o Pátio (grupo C), elementos vazios que compõem a Rua (grupo D).

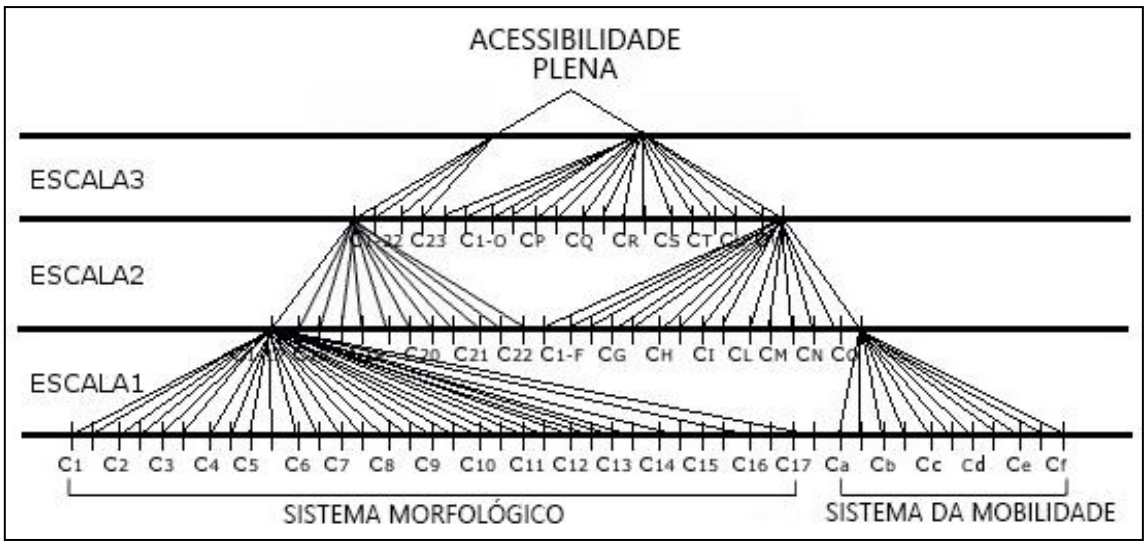
  Uma vez que a operação executada no Conjunto Habitacional é repedida nas demais escalas (intermediária e maior), o Gráfico (1) é construído, apresentando o total dos elementos cheios (C) e vazios (V) detectados. Os elementos são alocados nos três eixos horizontais, conforme a escala onde foram coletados (por razões de formatação os vazios são marcados sem letra V). A junção dos elementos primários em uma escala, dada pelas linhas convergentes, constitui um novo elemento primário (mais complexo), na escala superior.

Figura 8: Identificação dos elementos primários
na escala menor do Conjunto Habitacional



Fonte: Os Autores

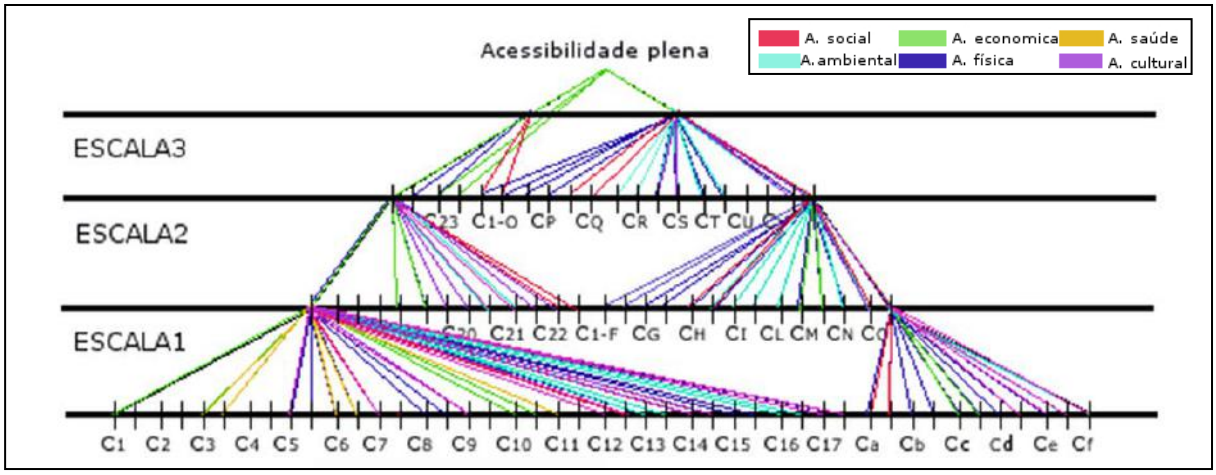
Gráfico 1: Elementos cheios e vazios, agrupados em Sistema Morfológico (C seguidos por números) e Sistema de Mobilidade (C seguido por letras), nas três escalas de análise



Fonte: Os autores

- **Etapa 3:** Atribuição dos elementos para os segmentos de acessibilidade física, econômica, saúde, ambiental, social, cultural (o conforto é pensado como resultante dos outros tipos). A cor marca a correspondência entre o elemento e o tipo de acessibilidade, que é impedida ou favorecida pelo elemento (Gráfico 2). Por exemplo, o elemento cheio C1 (fachada do prédio) é representado por uma linha simultaneamente verde e azul. O verde retrata o vínculo com a acessibilidade econômica, o azul com a acessibilidade física. É notável que segmentos que representam as diversas dimensões da acessibilidade apareçam em todos os três níveis. A escala maior é formada pelos elementos cheios e vazios das escalas inferiores, dos quais ela depende. Assim, uma acessibilidade completa na escala maior é atingida somente a partir da resolução dos níveis inferiores.

Gráfico 2: Vinculação entre elementos e as formas de Acessibilidade



Fonte: Os autores

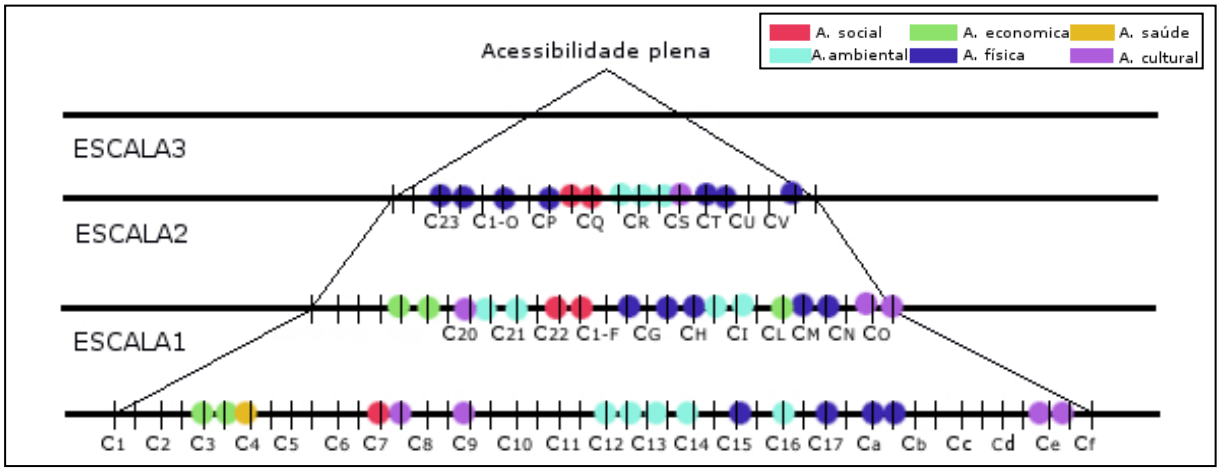
- **Etapa 4:** Filtragem dos elementos cheios e vazios que impedem ou agravam as condições de acessibilidade da área urbana analisada (Figura 9). O Gráfico (3) ressalta os elementos disfuncionais selecionados a partir dos demais coletados. Cada marcador colorido representa um elemento que prejudica a acessibilidade. O impedimento pode ser causado por um elemento cheio, por um elemento vazio ou pela combinação deles.

Figura 9: Tipos de acessibilidade, impedimentos e propostas de intervenção

Tipos de Acessibilidade	Elementos que impedem Acessibilidade	Propostas de Intervenções *Bottom-up*
Acessibilidade Física:	C1, V1, C5, V5, C6, V6, C8, V8, C13, V13, C15, V15, C17, Ca, Cb, Cc, Cd, Ce, C19, V19, Cg, Ch, Vg, Vh, Cm, Vm, Cn, Vn, C23, V23, Cp, Cq, Vp, Vq, Ct, Cu, Vt, Vu	Recuperação de espaços de conexão, adaptação do acesso e uso para idosos e crianças, implantação de percursos acessíveis e audiovisuais que atravessam todos os conjuntos habitacionais de forma continua.
Acessibilidade Econômica:	C1, C3, C10, V3, Cc, Vc, C19, V19, Cm, Vm, C23, V23	Viabilidade economica dessas intervenções
Acessibilidade à Saúde:	C3, V3, C6, V6, C11	Reabilitação das fachadas e dos espaços de conexão interiores aos prédios, coleta do lixo.
Acessibilidade Ambiental:	C13, C14, C16, V13, V14, V16, Cf, Vf, C21, V21, Ci, Ci, Cn, Vi, Vl, Vn, Cr, Cs, Cu, Vr, Vs, Vu	Recuperação da qualidade ambiental do pátio, recuperação dos espaços livres
Acessibilidade Social:	C7, C12, V12, C14, V14, Ca, Va, C22, V22, Ch, Vh, Co, Vo, Cq, Cv,Vq, Vv	Criação de mirantes e caminhos pedonais, junção dos espaços livres (ao redor dos conjuntos habitacionais) com o tecido publico da cidade
Acessibilidade Cultural:	C9, C14, V14, C22, V22, C20, V20, C0, V0, Cs, Vs, Cv, Vv	Criação e gestão de pequenos pontos de cultura, leitura, arte, jardins de infância, em colaboração com a comunidade
Acessibilidade ao Conforto:	C5, C7, C9, C12, V12, C17, V17, Ce, Cf, Ve, Vf, C21, V21	Inserção de pequenos abrigos para proteção do sol e da chuva

Fonte: Os autores

Gráfico 3: Elementos cheios e vazios que impedem Acessibilidade



Fonte: Os autores

- **Etapa 5:** Implementação de uma ordem de intervenções *bottom-up* para a resolução dos problemas destacados (Figura 9). A resolução de todos

os problemas em cada "ramo" de acessibilidade concorre para uma acessibilidade plena. As ações prioritárias estão ligadas aos elementos que impedem a acessibilidade na escala menor, devido a três razões principais: 1) intervenções de porte menor; 2) efeito imediato na vida cotidiana do morador; 3) transferência dos benefícios desde as escalas menores até as maiores, que se torna possível pela estrutura piramidal montada, na qual qualquer mudança realizada em uma escala é tangível naquela superior. Assim, subindo na hierarquia, os problemas maiores vão se resolvendo em consequência das soluções obtidas nas escalas menores.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi determinante para: 1) concretizar uma análise de campo a partir da elaboração do conceito de acessibilidade apresentado no começo; 2) observar a acessibilidade como uma condição urbana complexa resultante pela interação de elementos menores; 3) constatar a participação simultânea dos elementos urbanos em vários tipos de acessibilidade; 4) visualizar a variabilidade dos problemas de acessibilidade em várias escalas de observação; 5) destacar os pontos de intervenção arquitetônica e as estratégias correspondentes.

Reconhecidas as condições de vulnerabilidade que caracterizam a área em estudo, a viabilização das intervenções propostas, na quinta etapa de aplicação metodológica, representa um ponto crucial a ser enfrentado. Descartando a possibilidade de uma intervenção privada "tradicional", com alto risco de investimento, outras práticas urbanas devem ser consideradas. Nestas, pequenas estratégias *bottom-up* são destacadas; entre elas, a *Acupuntura Urbana*, as estratégias do *Place-making* e do *Urbanismo Tático*.

De acordo com Marco Casagrande, a acupuntura urbana é caracterizada por intervenções pontuais sobre a superfície oficial da cidade (CASAGRANDE, 2012). Charles Landry chama a acupuntura uma abordagem de "autobalançamento", capaz de soltar o potencial energético (social) intrínseco a um contexto urbano (LANDRY, 2005). No Brasil, Jaime Lerner, três vezes Prefeito de Curitiba, foi promotor da acupuntura urbana (LERNER, 2014).

As intervenções urbanas de "*Place-making*" promovem a revitalização participativa e criativa dos espaços públicos como motor de desenvolvimento das comunidades. McCann (2002) as define como "políticas culturais de desenvolvimento econômico local", enfatizando como a construção social do lugar é um processo politicamente orientado, em que economia e cultura são atores entrelaçados que participam da criação de um espaço complexo, competitivo e vital. O *place-making* pode ser considerado como parte da discussão da "Cidade Criativa", que atrai turismo e gera desenvolvimento local, construída por e para uma "classe criativa" dominante de jovens e profissionais, que procuram viver em lugares estimulantes e excitantes (VANOLO, 2008).

Finalmente, destaca-se o "Urbanismo Tático", que propõe melhorias urbanas através de intervenções em curto prazo e com baixo risco de investimento econômico. Entre as táticas previstas, a *pre-vitalization* é uma reativação temporária de uma parcela de solo inativo ou subutilizado, por meio da implantação de atividades comerciais ou de lazer. Trata-se de uma resposta privada aos padrões restritivos comerciais de crédito impostos pelos bancos (LYDON et al., 2011). Segundo Nemeth e Langhorst (2014), uma das vantagens mais significativas das utilizações temporárias é que nenhuma nova aquisição de terra é necessária e, portanto, não demanda nenhuma negociação sobre direitos de propriedade. As utilizações temporárias também são economicamente viáveis e propiciam o beneficio de proprietários e desenvolvedores, criando oportunidades de negócio entre grupos sociais normalmente desprovidos de capital próprio.

O urbanismo tático reivindica uma cidade mais 'utilizável' e uma participação ativa dos cidadãos. Neste sentido, as ações de revitalização propostas, quando combinadas com um envolvimento da comunidade local, geram vínculos e ligações sociais, criação de identidade e senso de filiação. Apesar disso, tal prática urbana age especialmente em territórios urbanos privilegiados; bairros periféricos, expulsos pela gentrificação, são geralmente excluídos desse processo (MOULD, 2014).

As contradições intrínsecas a essas formas de intervenção abrem questionamentos. Ações bottom-up em pequena escala constituem uma estratégia viável para requalificação das áreas urbanas vulneráveis e pouco acessíveis. Elas funcionam como alavancas que despertam o interesse privado, agente transformador indispensável em territórios urbanos olvidados pela ação pública. Dificuldades de implementação podem ser causadas pelo caráter particular de cada intervenção, conforme os recursos e as especificidades do lugar. Para superar este impasse, diretrizes comuns e fórmulas replicáveis de ações compartilhadas, adequadas ao contexto brasileiro, devem tornar-se objeto de pesquisas futuras.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho coloca a questão da acessibilidade em uma reflexão sistêmica e escalar, que pensa a cidade como um conjunto complexo de elementos e níveis interagentes. O recorte urbano selecionado para aplicar o método, Nova Heliópolis, foi analisado em três escalas subsequentes: o conjunto habitacional, a quadra e a vizinhança.

Para destacar os arranjos espaciais que afetam a acessibilidade da área, os componentes cheios e vazios presentes no local foram analisados. Impedimentos à acessibilidade foram encontrados em todas as escalas em estudo. Dentro da escala menor, a identificação dos pontos de criticidade foi associada com a elaboração de intervenções arquitetônicas especificas. Para viabilizar essas propostas, modelos de intervenção urbana *bottom-up* foram levantados - urbanismo tático, acupuntura urbana e práticas do *place-making* – e suas estratégias foram discutidas para repensar o papel do

interesse privado na realização de microintervenções, em favor de uma acessibilidade mais completa.

Em relação ao papel do Poder Público, é notável observar o quanto o assunto da acessibilidade é ainda muito pouco enfrentado do ponto de vista do desenho urbano. Se, por um lado, as políticas de mobilidade e de uso e ocupação do solo gerenciam a distribuição dos cheios e vazios, por outro, a qualidade e o desempenho efetivo da acessibilidade, resultante da combinação dessas políticas, ainda não é enfrentada por nenhum instrumento urbanístico municipal. Nessa lacuna legislativa, o presente trabalho poderia encontrar um fértil espaço de aplicação, colocando-se na escala do desenho urbano, com o fim de atingir um solo mais acessível para todos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa BE MUNDUS *Brazil-Europe*, pela bolsa de doutorado concedida para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, 1971. **Tres aspectos de matemática y diseño: La estructura del medio ambiente**. Barcelona: Tusquets Editores S.A., 1971. p. 224.

BAKER, N. We are really outdoor animals. Conference proceedings: **Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century**, 2001. Disponível em: <http://faculty.philau.edu/fryerr/T5%20downloads/Paper09_Baker.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CARDOSO, A. L. A cidade e seu Estatuto: uma avaliação urbanística do estatuto da Cidade. In QUEROIZ RIBEIRO, L. C.; CARDOSO, A. L. **Reforma Urbana e Gestão democrática**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CASAGRANDE, M. **Biourban Acupuncture. Treasure Hill of Taipei to Artena**. Roma: International Society of Biourbanism, 2012.

COORDENADORIA NACIONAL PARA INTEGRAÇÃO DA PESSOA PORTADORA DE DEFICIÊNCIA. **Acessibilidade, legislação federal.** Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos, 2008. Disponível em: <http://portal.crfsp.org.br/phocadownload/acessibilidade-compilado_de_legislacoes.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2016.

DE GRAZIA, Grazia**. Reforma urbana e Estatuto da Cidade**. In QUEROIZ RIBEIRO, L. C.; CARDOSO, A. L. **Reforma Urbana e Gestão democrática**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

GEHL, J. **Cidades para Pessoas**. Sao Paulo: Perspectiva, 2015.

GEURS, K. T.; VAN WEE, B. GEURS; Acessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. **Journal of Transport Geography**, 2004.

HANSEN, W. G.; **Acessibility and Residential Growth**. Massachusetts, 1959.
SERPA, A. Espaço público e acessibilidade: notas para uma abordagem geográfica. **Revista GEOUSP–Espaço e Tempo**. São Paulo, 2004

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, **Estimativas de população para 1º de julho de 2015.** Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_2015_TCU_20160211.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2016.

KOLL-SCHRETZENMAYR, M.; RITTERHOFF, F.; SIEBEL, W. In Quest of the Good Urban Life: Socio-Spatial Dynamics and Residential Building Stock Transformation in Zurich. **Urban Studies**, v. 46, n. 13, p. 2731–2747, 1 dez. 2009.

LANDRY, C. Urban Acupuncture. **Planning Theory & Practice**, v. 6, n. 1, 2005.

LEFEBVRE, H. **Le Droit à la ville**. Paris: Editions Anthropos, 1968.

LERNER, L. **Urban Acupuncture**. Island Press, 2014. p.163.

LYDON, M.; BARTMAN, D.; GARCIA, T.; PRESTON, R.; WOUDSTRAD, R**. Tactical urbanism: Short-term action, long-term change (Vol. 2)**. Disponível em: <https://issuu.com/streetplanscollaborative/docs/tactical_urbanism_vol_2_final>. Acesso em: 12 abr. 2016.

MCCANN, E. The cultural politics of local economic development: meaning-making, place-making, and the urban policy process. **Geoforum**, v. 33, n. 3, 2002.

MOULD, O. Tactical Urbanism: The New Vernacular of the Creative City: Tactical Urbanism. **Geography Compass**, v. 8, n. 8, p. 529–539, ago. 2014.

NÉMETH, J.; LANGHORST, J. Rethinking Urban Transformation: Temporary Uses for Vacant Land. **Cities**, v. 40, p. 143–150, out. 2014.

NICOL, F.; HUMPH, M.; ROAF, S. **Adaptive Therma/ Comfort. Principles and Practice.** Oxon: Routledge, 2012.

PEÑA CARRERA , L. **Tracing accessibility over time: two swiss case studies**. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona - Enginyeria de Camins, Canals i Ports, 2002. Disponível em: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6327>. Acesso em: 11 abr. 2016.

QUEROIZ RIBEIRO, L. C.; CARDOSO, A. L. **Plano Diretor e Gestão democrática da cidade.** In QUEROIZ RIBEIRO, L. C.; CARDOSO, A. L. **Reforma Urbana e Gestão democrática**. Rio de Janeiro: Revan, 2003

SASSAKI, Romeu Kazumi. Inclusão: acessibilidade no lazer, trabalho e educação. **Revista Nacional de Reabilitação (Reação)**. Ano XII, mar./abr. 2009.

VANOLO, A. The image of the creative city: Some reflections on urban branding in Turin. **Cities**, v. 25, n. 6, 2006.

VIEIRA, R. S.; HADDAD, E. Índice de acessibilidade para São Paulo. In CONGRESSO ANPEC Área 9 - Economia Regional e Urbana, 2012, Porto de Galinhas (PE). **Anais eletrônicos** Porto de Galinhas: ANPEC 2012. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/novosite/br/encontro-2012#AREA_9> Acesso em: 10 abr. 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A EFICÁCIA DA ADIÇÃO DO TiO_2 EM ARGAMASSAS QUANTO À MANUTENÇÃO DAS CONDIÇÕES INICIAIS EM TERMOS DA SUA REFLETÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR[1]

DANTAS, Sérgio Roberto Andrade (1); VITTORINO, Fúlvio (2)

(1) IPT, e-mail: sergiorobe@me.com; (2) IPT, e-mail: fulviov@ipt.br

RESUMO

O contato das fachadas com agentes de degradação e a incidência direta da radiação ultravioleta sobre os revestimentos externos, os tornam mais opacos com o passar do tempo, perdendo consideravelmente sua refletância. O estudo objetivou avaliar a possibilidade do uso de argamassas contendo TiO_2 em fachadas, buscando manter suas características iniciais de alta reflexão com baixa manutenção e sua possível utilização em substituição às repinturas destas envoltórias. Para isto foram produzidas argamassas contendo diferentes concentrações de TiO_2 (1%, 5%, 10%) expressas em relação ao total da pré-mistura seca, adicionadas em forma de pó e comparadas com argamassas com 0% de TiO_2 com e sem o uso da pintura branca em suas superfícies. Expostas durante 16 meses as condições climáticas da cidade de São Paulo, os resultados demonstraram que as argamassas que melhor apresentaram desempenho quanto a manutenção de sua refletância foram as argamassas pintadas. Em relação às concentrações de TiO_2, os diferentes teores apresentaram uma mudança pouco significativa entre as mesmas. As argamassas que delinearam melhor desempenho quanto à auto-limpeza foram as que continham 5% de TiO_2. Já as argamassas com 10% tiveram resultados menos eficientes com o aumento na dosagem do material.

Palavras-chave: Argamassas autolimpantes. Refletância à radiação solar. Fotocatálise heterogênea.

ABSTRACT

The contact of facades with degradation agents and the direct incidence of ultraviolet radiation on the outer coating make these more opaque over the time losing, considerably, its reflectance. The study aimed to evaluate the possibility of using mortars containing TiO_2 in facades aiming to keep its initial high reflectivity characteristics along with its low maintenance requirement. Besides, this study also approches the possibility of using the TiO_2 enriched mortars as an alternative for the above mentioned envelope repaintings. This study was performed using an self-produced mortars containing diferents concentrations of TiO_2 (1%, 5%, 10% calculations based on the total dry premix), added, as powder, to the mix and compared with mortars containing 0% of TiO_2, with or without using white painting on its surfaces. Exposed for 16 months to climatic conditions of São Paulo, regarding the maintenance of reflectance, the results showed that White-painted mortars presented the best performance. With respect to TiO_2 concentrations, it was observed an slight change

[1] DANTAS, Sérgio Roberto Andrade; VITTORINO, Fúlvio. A eficácia da adição do TiO_2 em argamassas quanto à manutenção das condições iniciais em termos da sua refletância à radiação solar. 2016. 137 f. Dissertação (Mestrado Profissional) - Curso de Habitação: Planejamento, Gestão e Projeto, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo, 2016.

between each other. The mortar which showed the best performance regarding self-efficient results with the increase to the material.

Keywords: *Mortars self-cleaning. Solar radiation Reflectivity. Heterogeneous photocatalysis.*

1 INTRODUÇÃO

Descoloração e surgimento de manchas, desgaste acelerado, incrustações devido à presença de partículas de fuligem e a corrosão ou erosão causada por ácidos, são alguns dos problemas ocasionados pelo acúmulo de poluentes sobre as envoltórias dos edifícios. Com o constante contato destas envoltórias com estes agentes de degradação e a incidência direta da radiação ultravioleta sobre as mesmas, os revestimentos tendem a se tornarem mais opacos com o passar do tempo, perdendo, consideravelmente sua refletância. Segundo autores como Seker e Tavil (1996), Santamouris et al. (2011) e Alchapar et al. (2012), o ganho de calor através de superfícies opacas, em razão da radiação solar, exerce grande influência nas condições de conforto térmico do ambiente interno. De acordo com Pérez-Lombard et al. (2007), com a consolidação da demanda por conforto térmico, sistemas de climatização artificial (e seu consumo de energia associado) tornaram-se um bem inevitável, sendo responsável por quase metade da energia consumida nos edifícios, e por cerca de 10% - 20% do consumo total de energia nos países desenvolvidos.

Para Santamouris et al. (2011), os materiais utilizados nas fachadas, assim como na infraestrutura urbana, desempenham um papel importante no balanço térmico de uma cidade, onde a incorporação de revestimentos com alta refletividade resulta em uma técnica passiva eficiente na diminuição da demanda por energia elétrica no acondicionamento térmico dos ambientes. Alchapar et al. (2012) apontam que se materiais com alta refletividade forem aplicados nas fachadas das edificações, isto se traduziria em uma diminuição das cargas térmicas para o interior das mesmas.

Logo, a busca tanto por novos materiais de construção, quanto por novas tecnologias que possibilitem a maior durabilidade dos revestimentos e que visem minimizar não somente o efeito da poluição sobre os mesmos, mas que também auxiliem no controle térmico das edificações, sem que demandem grandes intervenções em termos de manutenção das fachadas, é o objetivo a ser alcançado. Neste aspecto, o uso da denominada "oxidação fotocatalítica avançada", utilizando-se de semicondutores como o dióxido de titânio (TiO_2) como catalisadores do processo, capazes de conseguirem a auto-limpeza destas superfícies, podem oferecer uma solução para este problema, não só por concederem uma maior durabilidade às envoltórias das construções, uma vez que o esperado de tal produto é que mantenha estas fachadas "intactas" por mais tempo, mas por economizar muito tempo e dinheiro com limpezas e restaurações, principalmente em edifícios muito altos, onde essa manutenção pode ser muito difícil e de valor elevado.

O dióxido de titânio possui duas formas cristalográficas que podem ser consideradas predominantes: rutilo e anatásio. O rutilo é um mineral

composto quase que essencialmente de TiO_2, podendo conter até 10% de impurezas e bastante utilizado como opacificante e como pigmento na área de tintas e plásticos. Enquanto o anatásio contém de 98,4 a 99,8% de TiO_2, e por isto, o mais investigado e utilizado para a fotocatálise, principalmente porque possui maior bandgap e maior atividade fotocatalítica.

Estudos como os realizados por Poon e Cheung (2007), Chen e Poon (2009), Maranhão (2009); Pereira et al. (2010) e Melo (2011), demonstraram que o uso do TiO_2 pode ser eficiente para promover, principalmente, a fotodegradação de alguns compostos orgânicos e inorgânicos presentes na atmosfera urbana e depositados sobre as fachadas dos edifícios. Assim, o uso da fotocatálise heterogênea, tem aberto, também, perspectivas não só nos estudos para a descontaminação do meio ambiente, mas, ainda, para a fabricação dos materiais denominados como autolimpantes, visto que o TiO_2 tem apresentado as duas propriedades quando utilizado.

Para os materiais cimentícios, os estudos encontrados estão em sua maioria direcionados à fotodegradação de poluentes do tipo NO_x e SO_x, quando do uso do TiO_2 na fabricação de blocos de concreto para pavimentação e para a produção de argamassas de revestimento em escala laboratorial, com o intuito de medir a redução de manchas causadas por corantes como o alaranjado de metila, azul de metileno e rhodamina. Porém, um estudo sobre a refletividade das argamassas de revestimento fotocatalíticas, realizado, essencialmente, em condições naturais de exposição à radiação solar, utilizando-se de corpos de provas de grandes dimensões, cujas as concentrações do composto foram adicionadas à mistura em relação ao total da massa seca e sem qualquer tratamento prévio de hidrofugação das superfícies, não foi ainda avaliado e foi o objeto deste trabalho.

2 MÉTODO EXPERIMENTAL

Inicialmente, as argamassas foram divididas em dois tipos conforme sua composição: 1) as argamassas com a adição do TiO_2 e; 2) as argamassas de referência. Para aquelas do tipo 1, foram produzidas três amostras com diferentes concentrações de TiO_2 (1%, 5%, 10%). Para as argamassas tipo 2, foram produzidas duas amostras com 0% de TiO_2, onde uma permaneceu com seu acabamento inicial, enquanto a outra foi coberta com uma tinta acrílica de marca comercial na cor branco neve. Ambas as amostras foram tomadas como referência para as medições de refletância e nenhuma possuía a presença de hidrofugantes em suas superfícies.

Para a produção das argamassas foram utilizados o Cimento Portland Branco (CPB) não estrutural do tipo 1 e dolomitas. A escolha dos materiais partiu do pressuposto que estudos como Alchapar et al. (2012), têm demonstrado que revestimentos na cor branca registram maior refletância à radiação solar, razão pela qual também não foram adicionados pigmentos coloridos à mistura. As amostras produzidas foram classificadas em cinco tipos (A; B; C; D; E) e aplicadas sobre um total de vinte corpos de prova,

sendo estes divididos em quatro grupos diferentes (1; 2; 3; 4). A divisão das argamassas deu-se conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Divisão das argamassas

Grupos de estudos	Argamassa **A** (s/ pintura) 0% TiO_2	Argamassa **B** (pintada) 0% TiO_2	Argamassa **C** (s/pintura) 1% TiO_2	Argamassa **D** (s/pintura) 5% TiO_2	Argamassa **E** (s/pintura) 10% TiO_2
01*	A1	B1	C1	D1	E1
02*	A2	B2	C2	D2	E2
03*	A3	B3	C3	D3	E3
04**	A4	B4	C4	D4	E4

Fonte: Dantas (2015). Legenda: *Corpos de prova expostos à atmosfera urbana/ **Corpos de prova não expostos à atmosfera urbana, armazenados como referência da cor inicial das argamassas

As concentrações de TiO_2 baseou-se em uma escala dentre os teores apresentados em estudos consultados. Contudo, diferentemente do que aponta a bibliografia revisada, as concentrações adotadas não foram tomadas em relação ao cimento (padrão de comparação muito usado na maioria das pesquisas) e sim em relação ao total da pré-mistura seca. Isto significa dizer que os teores estipulados se relacionam com as demais pesquisas apenas como referência e não deve ser visto como uma comparação direta, uma vez que não foram baseados no mesmo componente da mistura, ou seja, o cimento. Assim, a escolha do primeiro teor (1% em relação a massa total da pré-mistura seca) permite uma comparação com os resultados dos trabalhos realizados nos teores de 5% da massa de cimento, conforme apresentados por alguns trabalhos, sendo os dois outros, extrapolações para se analisar o fortíssimo incremento do TiO_2, uma vez que poucas pesquisas chegaram a testar concentrações mais altas que 8% de TiO_2 em relação à massa de cimento.

Quanto ao tipo do TiO_2, adotou-se uma amostra comercial com escala nanométrica, aglomerado de tamanho médio: ≈1.1μm e considerada 100% anatásio, recomendada por sua usual aplicação em processos fotocatalíticos. Os componentes utilizados na preparação das argamassas são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporção (em massa) dos componentes da mistura em relação ao cimento, exceção feita a água, que se refere à proporção em relação ao total da mistura e ao TiO_2, que é dado conforme a legenda abaixo

Componentes da mistura	Argamassa **A** (s/ pintura) 0% TiO_2	Argamassa **B** (pintada) 0% TiO_2	Argamassa **C** (s/pintura) 1% TiO_2	Argamassa **D** (s/pintura) 5% TiO_2	Argamassa **E** (s/pintura) 10% TiO_2
CP tipo I branco	1	1	1	1	1
Dolomita # 20	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

Dolomita # 40	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17
Dolomita # 80	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Retentor água	0,0056	0,0056	0,0056	0,0058	0,0061
Incorporador ar	0,00044	0,00044	0,00045	0,00047	0,00049
Água	0,89	0,89	0,91	1,09	1,25
TiO_2*	Não adicionado	Não adicionado	5,56%	27,78%	55,56%
TiO_2**	Não adicionado	Não adicionado	1%	5%	10%

Fonte: Dantas (2015). Legenda: *Proporção de TiO_2 em relação ao cimento / **Proporção de TiO_2 em relação ao total da pré-mistura seca (Cimento+Dolomitas)

As argamassas foram aplicadas com desempenadeira lisa sobre uma base de concreto, com dimensões de 1,20m por 1,20m, considerando manter sua espessura em, no máximo, 1cm e com a menor rugosidade possível. O controle da espessura evitava o desperdício do material fotocatalítico, uma vez que ocorrendo o processo na camada mais superficial do substrato, não necessitava de uma camada mais espessa. Enquanto uma menor rugosidade buscou conseguir uma maior refletância, pois em estudos como os realizados por Seker e Tavil (1996) superfícies mais rugosas tendem a ter maiores valores de absortâncias.

Por fim, do total de vinte corpos de prova, quinze foram expostos à atmosfera urbana em campo aberto, na cidade de São Paulo, e voltados para a face Noroeste, a fim de maximizar a exposição à luz solar. Para tanto, adotou-se a inclinação de 33° em relação ao solo, buscando atender aos propósitos: a) maior índice de radiação solar e; b) evitar a estagnação da água da chuva na superfície das amostras, evitando-se assim a proliferação de microorganismos sobre as mesmas. O período de coleta foi de 16 meses, cujas primeiras medições aconteceram em intervalos semanais, passando posteriormente para um intervalo mensal. A Figura 1 mostra a exposição dos corpos de prova.

Figura 1 – Exposição dos corpos de prova, após 16 meses do início das medições



Fonte: Dantas (2015)

Para a determinação da refletância à radiação solar, foi adotado um procedimento de medição baseado nas normas: ASTM E 1918-06 (2015) – "Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field" e ANSI/ASHRAE 74-1988 – "Method of Measuring Solar-Optical Properties of Materials, procedimento E".

Os dados foram coletados por meio de medições in loco, a partir da fixação de dois piranômetros na ponta de uma haste metálica, sendo um voltado para cima de forma a captar o fluxo de energia solar incidente, e o outro voltado e posicionado paralelamente à superfície do corpo de prova, de forma a captar o fluxo de energia radiante refletido pela superfície. Uma vez posicionados os piranômetros sobre o corpo de prova a ser medido, as superfícies dos corpos de prova adjacentes foram cobertas, de forma a impedir que as energias radiantes refletidas destas superfícies interferissem nos resultados da superfície a ser medida. Após o posicionamento dos piranômetros e sombreamento dos corpos de prova adjacentes, foram feitas medições a cada 1 segundo, totalizando no mínimo 20 leituras. O processo de medição pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Processo de medição de refletância

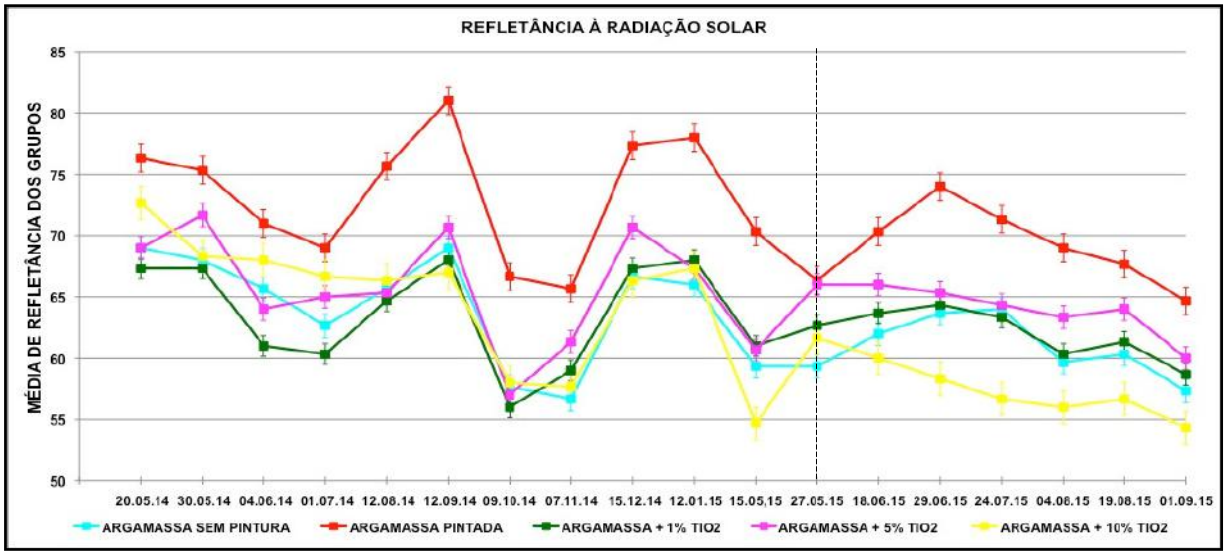


Fonte: Dantas (2014)

3 RESULTADOS

O processo gerou um total de 270 medições de refletância, 90 por grupo estudado, 54 por tipo de argamassa, considerando todos os grupos, e 18 medições individuais para cada tipo de argamassa. A avaliação, tanto individual quanto em grupo, dos gráficos de refletância para as argamassas, apresentou resultados que podem ser considerados como semelhantes. Assim, observa-se no Gráfico 1, o resultado da média de refletância de todos os grupos avaliados.

Gráfico 1 – Média de refletância dos grupos



Fonte: Dantas (2015)

Com exceção dos últimos cinco meses de análises, onde as argamassas apresentaram menores taxas de decaimento, indicando uma possível estabilidade nos índices, a observação do gráfico à primeira vista apresenta dois aspectos relevantes: primeiro o destaque obtido pelas argamassas pintadas, na qual mesmo havendo pontos de aproximação com as demais, permanece na maior parte do tempo em um patamar mais elevado; e, em segundo, o "emaranhado" no qual as demais argamassas se apresentam, alternando posições de tal maneira e por diversas vezes, que dificulta qualquer afirmação quanto ao destaque de alguma delas, podendo assim, serem consideradas iguais quanto a refletância à radiação solar.

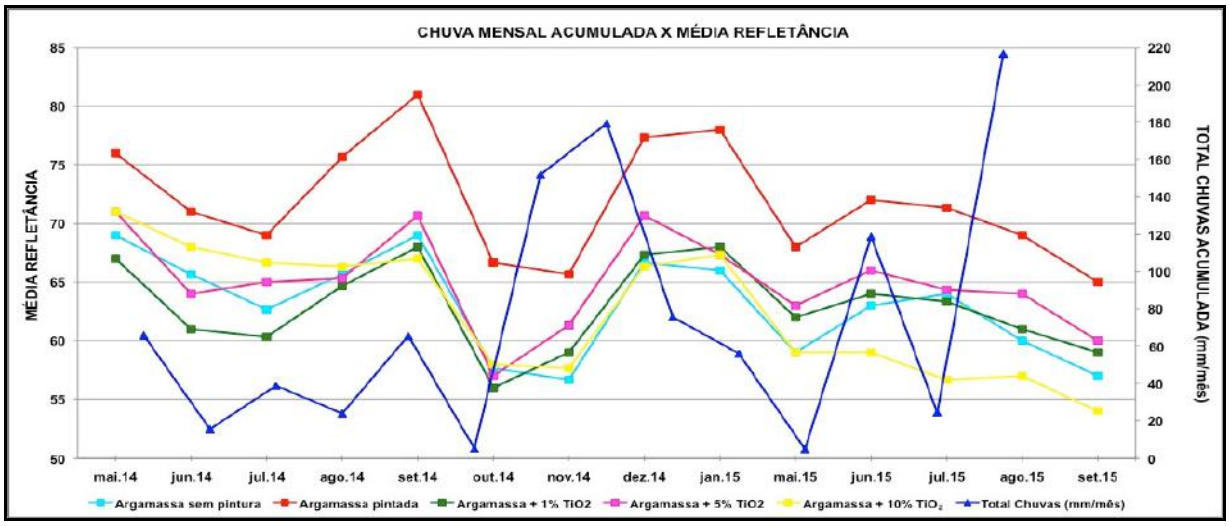
Quando considerados os índices de refletância, era esperado que para as argamassas pintadas na cor branca, houvesse em seu inicio maiores valores em comparação às demais, dado ao fato que a pintura branca foi realizada sobre uma superfície também branca, o que já proporcionaria de imediato uma elevação nestes índices. Por outro lado, embora as argamassas com a adição do TiO_2 (fotocatalíticas) pudessem iniciar em patamares mais baixos, cogitou-se que dado o processo de fotocatálise, estas argamassas permanecessem, se não estáveis em seus níveis iniciais, ao menos ficassem próximos dos mesmos, ainda que apresentando pequenas flutuações devido aos diferentes teores de TiO_2 testados.

Em direção contrária, para as argamassas com e sem pintura, esperava-se que caíssem em seus níveis de refletância mais rapidamente que as demais, devido ao processo de envelhecimento natural dos materiais, causado pelo acúmulo de sujidades sobre suas superfícies, provocando ao longo do tempo uma inversão nos índices de refletividade medidos inicialmente. Contudo, de acordo com os resultados encontrados no gráfico 1, tal fenômeno não foi observado.

Para as argamassas pintadas, considera-se que tal efeito esteja associado à não degradação do filme resinado da tinta durante os 16 meses de experimento, permitindo assim não só sua permanência em níveis maiores, mas também sua maior limpeza quando lavadas pelas águas das chuvas. Para as argamassas fotocatalíticas, a não correspondência da hipótese parece estar associada a baixa ocorrência do processo fotocatalítico, que não sendo capaz evitar uma maior impregnação dos corpos de prova, afetou diretamente os índices de refletância medidos. Já em relação as argamassas sem TiO_2 e sem pintura, o comportamento seguiu o padrão de deterioração para superfícies que não recebendo nenhum tipo de tratamento prévio, estão mais sujeitas as ações do tempo.

Outro aspecto observado no gráfico 1, diz respeito a flutuação nos índices indicados. Expondo picos e declínios que parecem estar associados as chuvas, as argamassas exibiram comportamentos não condizentes com a hipótese apontada, principalmente para as argamassas com a presença do TiO_2. Cruzando as informações do gráfico de refletância com os índices pluviométricos obtidos dos postos de observação do DAEE, para os Prefixos E3-145/CTH (Cidade Universitária) e E3-035/IAG (Observatório da USP) é possível perceber a influência das chuvas nos índices indicados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Chuvas e os índices de refletância

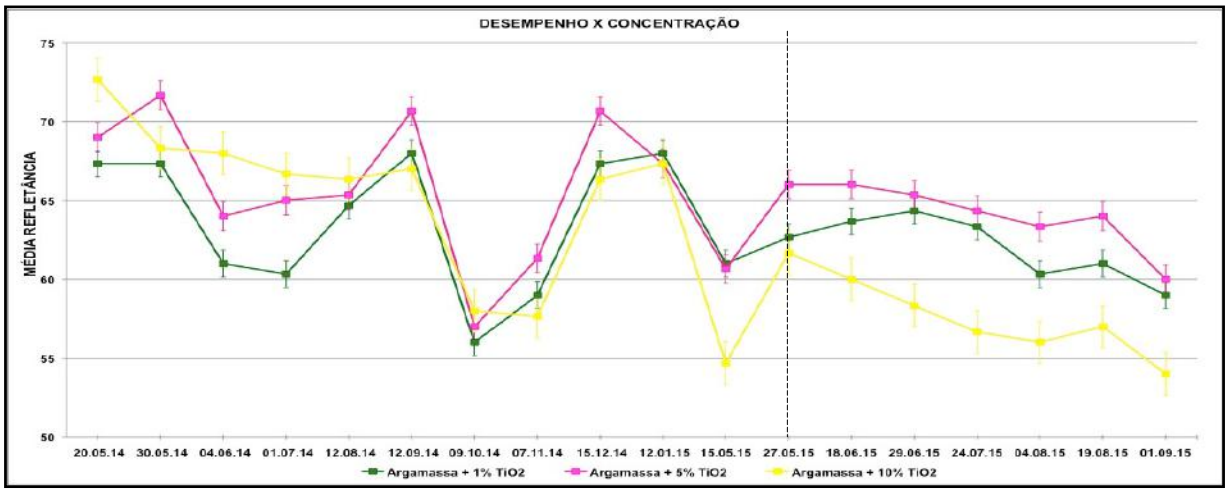


Fonte: Dantas (2015)

Na observação do gráfico 2, verifica-se as variações dos índices de refletância das argamassas nos meses de altos índices pluviométricos, estando os corpos de prova revestidos ou não com argamassas contendo o TiO_2. Logo, é possível considerar que, no ano de 2014, a falta de chuvas e o aumento da concentração de poluentes na atmosfera, na cidade de São Paulo, sendo que era esperado justamente uma contraposição dos mesmos, contribuiu de maneira significativa com o maior acúmulo de sujidades sobre os corpos de prova, dificultando assim sua limpeza durante os poucos dias de chuvas ocorridos.

Em relação as concentrações de TiO_2 utilizadas, observou-se que, com exceção dos últimos cinco meses do experimento, assim como ocorrido para os índices de refletância, os diferentes teores utilizados demonstraram uma mudança pouco significativa, apresentando patamares de resultados muito próximos, como pode ser observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Desempenho teores TiO_2



Fonte: Dntas (2015)

Os resultados também evidenciaram haver uma melhora saindo de 1% até 5% de TiO_2, melhora esta que desaparece tão logo a dosagem é aumentada para 10%. Considerando as características do processo de fotocatálise, e a "subida" nos resultados de refletância com o aumento da dosagem de 1% para 5%, esperava-se que as argamassas com maiores teores (10%) pudessem apresentar resultados ainda melhores, porém não foi observado tal fenômeno, e sim um efeito contrário, onde seu desempenho voltou a cair, como apresentado no Gráfico 3.

Considerando-se as condições de aplicação e sobretudo as características granulométricas do tipo de TiO_2 utilizado, possivelmente, o motivo desta "descida" nos resultados para as argamassas com 10% de TiO_2, está associada à baixa concentração do material nas superfícies das argamassas, ocasionado por um problema de dispersão do TiO_2, que posteriormente, verificou-se haver "ilhas" de TiO_2 e não uma distribuição homogênea na superfície dos corpos de prova.

Portanto, considera-se que o comportamento apresentado pelas argamassas com o teor de 10% esteja associado à um elevado número de partículas relativamente grandes, que provocou um problema de espalhamento do material sobre as superfícies; à presença de uma maior porosidade; uma baixa distribuição dos sítios ativos; uma elevada concentração de componentes inorgânicos em suas superfícies e; à presença de aglomerados de TiO_2 em determinadas partes da argamassa.

Como a refletância à radiação solar, normalmente, apresenta maiores índices em superfície mais lisas, acredita-se que para as argamassas do tipo A; C; D; e E, os índices de refletância encontrados são resultados de

superfícies com maiores rugosidades. Este fenômeno, no entanto, não foi observado nas argamassas do tipo B, que apresentaram sob as análises, tanto a olho nu, quanto por posterior microscopia eletrônica, uma rugosidade superficial menos acentuada em comparação às demais, possivelmente devido ao cobrimento proporcionado pelo uso da tinta, evitando assim possíveis perdas de inertes, e também realizando o cobrimento dos poros, elevando seus índices de refletância.

Logo, os resultados encontrados, levam a considerar que no experimento desenvolvido, a concentração indicada para que haja tanto um bom espalhamento do composto, quanto o desencadeamento dos processos fotocatalíticos, que poderiam influenciar diretamente nas medições de refletância está na adição de 5% de TiO_2, em relação à massa total da pré-mistura seca, sendo esta concentração, a partir dos testes realizados, a que apresentou melhor desempenho.

4 CONCLUSÕES

De acordo com as medições de refletância e conforme as condições do experimento de campo realizado, os resultados demonstraram que as argamassas que melhor apresentaram desempenho quanto a refletância foram as argamassas pintadas na cor branca. Para as demais argamassas, os resultados apontaram que os valores médios de refletância não superaram os valores das médias obtidas nas argamassas pintadas.

Em relação às concentrações do TiO_2 (1%, 5% e 10%) adicionados em forma de pó e expressos em relação ao total da pré-mistura seca, notou-se que as diferenças nos teores apresentaram uma mudança pouco significativa entre as mesmas. Apesar disto, as argamassas que delinearam melhor desempenho quanto à auto-limpeza foram as que possuíam o teor máximo de 5% de TiO_2. Enquanto as argamassas que possuíam 10% de TiO_2 tiveram resultados menos eficientes quando comparadas tanto as argamassas com 5% TiO_2, quanto as argamassas pintadas, diferentemente do esperado com o aumento na dosagem do material.

Considera-se que o comportamento diferenciado apresentado pelas argamassas com o teor de 10% em suas formulações está associado à presença de uma maior porosidade; uma baixa distribuição dos sítios ativos; uma elevada concentração de componentes inorgânicos em suas superfícies; e à presença de aglomerados de TiO_2 em determinadas partes da argamassa. Estes pontos, aliados a fatores como um alto índice de poluição ambiental e a baixa concentração de chuvas observadas durante todo o ano de 2014, ocasionou um desempenho insatisfatório destas argamassas quanto ao quesito auto-limpeza, desencadeando por consequência resultados insatisfatórios quanto à refletância.

Na continuidade dos trabalhos destaca-se a necessidade, da averiguação da efetividade da adição do TiO_2 no caso de revestimentos mais porosos; aprofundar estudos quanto ao tipo e tamanho de partículas do TiO_2 quando adicionado em maiores concentrações à mistura; averiguar o efeito

fotocatalítico em argamassas com teores de TiO_2 mais elevados, dado o aparente efeito de "saturação" verificado no teor de 10% e; por fim a necessidade de em estudos experimentais, realizar a completa caracterização de todo o material antes do início do experimento.

REFERÊNCIAS

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Índice de reflectancia solar de revestimentos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p.107-123, jul./set. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1678-862120120003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 jun. 2013.

CHEN, J.; POON, C. Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications. **Building And Environment**, v. 44, p.1899-1906, 15 jan. 2009.

MARANHÃO, F. L. **Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios.** 2009. 107 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil., Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/>. Acesso em: 15 fev. 2013.

MELO, J. V. S. de, **Desenvolvimento de peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e purificação do ar**. 2011. 208 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0766-D.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2013.

PEREIRA, M. A. C.; TORGAL, F. P.; JALALI, S. Capacidade de auto-limpeza de argamassas contendo dióxido de titânio (TiO_2). In: **CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO,** 3., 2010, Lisboa. Conference Object. Lisboa, Portugal. C-TAC - Comunicações a Conferências Nacionais, 2010. p. 1 - 9.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumpto information. **Energy And Buildings**. Sevilha, Espanha. p. 394-398. 12 mar. 2007. Disponível em: <http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/ARTICULOS/PAPER_LPL_1_OFF-PRINT.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2015

POON, C; CHEUNG, E.. No Removal Efficiency of Photocatalytic Paving Blocks Prepared with Recycled Materials. **Construction and Building Materials**, v. 21, p. 1746-1753, 2007.

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSIET, T. Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10004020>

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. U. Evaluation ofexterior building surface rougbness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, v. 31, p. 393-398, 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360132395000518>

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

VIABILIDADE ECONÔMICA DE ARGAMASSA COM PROJEÇÃO CONTÍNUA PARA REVESTIMENTO DE FACHADA[1]

ASANO, Naira Ery (1); BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura (2)

(1) USP, e-mail: na.asano@gmail.com; (2) USP, e-mail: mercia.bottura@usp.br

RESUMO

Os métodos construtivos de revestimento de argamassa para fachada vêm evoluindo ao longo do tempo. Uma mudança importante vem sendo a substituição da aplicação manual pela projeção mecânica contínua que traz alteração tanto na técnica de aplicação como nas exigências quanto às características da argamassa. As exigências do novo sistema de produção de revestimento levam a custos distintos em relação à produção tradicional. Por isto, o objetivo do trabalho é apresentar a viabilidade econômica do processo de execução de revestimento de fachada com argamassa aplicada por projeção contínua – custos de material (considerando consumo e perdas), de mão de obra e da infraestrutura. O método de pesquisa foi a pesquisa-ação, utilizando-se parâmetros e dados de um empreendimento de uma construtora de São Paulo onde trabalha a autora principal. Foram medidos os índices de consumo e perda que levaram à avaliação positiva da projeção contínua, uma vez que, ao se comparar custos globais do sistema de projeção intermitente (uso de caneca), apresentou valores mais vantajosos. O estudo constatou que a perda do sistema de projeção contínua é de 15%, valor inferior à perda medida para o sistema tradicional de 24% e que houve redução de 15% no custo da mão de obra.

Palavras-chave: Argamassa. Projeção. Viabilidade.

ABSTRACT

The external rendering constructive methods produced with mortar have evolved over time. The greater change in it was the replacement of manual application by mechanical continuous projection that brings change both as in application technique as in requirements for the mortar characteristics. The requirements of the new coating production system lead to different costs compared to traditional production. So, this paper shows the economic viability of the external rendering execution process using mortar with continuous projection – material (considering consumption and losses), execution and infrastructural costs. The research method was action-research, using parameters and data of a residential project of Construction Company in São Paulo, where consumption and loss were measured. The measured rates assists the positive evaluation of the continuous projection when comparing the overall costs of the intermittent projection system. The study found that the continuous projection system losses is 15%, inferior of the rate of traditional system of 24% and it was a reduction of 15% in execution costs.

***Keywords**: Mortar. Projection. Viability.*

[1] ASANO, N. E.; BARROS, M. M. S. B.. Viabilidade econômica de argamassa com projeção contínua para revestimento de fachada. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Os métodos construtivos de revestimento de argamassa para fachada vêm evoluindo ao longo do tempo. Uma mudança importante vem sendo a substituição da aplicação manual pela projeção mecânica. Primeiro foram introduzidos os sistemas intermitentes de projeção, com uso de *spray* a ar comprimido e, mais recentemente, os sistemas com projeção contínua com bombas helicoidais. Em comparação à técnica manual, o sistema de projeção contínua possibilita diminuição de interferência das habilidades humanas e ganhos de produtividade e desempenho dos revestimentos (ZANELATTO, 2012).

Também são esperadas melhorias em relação à técnica de projeção mecânica por spray a ar comprimido uma vez que a projeção contínua não traz alteração somente na técnica de aplicação; a produção da argamassa também sofre modificações. Para que possam ser bombeadas, projetadas mecânica e continuamente, as argamassas devem apresentar propriedades reológicas específicas. Isto exige controle da distribuição granulométrica e geometria dos grãos dos agregados e também uso de aditivos que promovam consistência e fluidez adequadas às condições de utilização do produto (SANTOS, 2003). Com essas exigências para emprego da tecnologia, é praticamente inviável a dosagem da argamassa em canteiro de obra. Surge, então, a necessidade de se trabalhar com argamassas industrializadas que, além de permitirem o emprego da tecnologia de bombeamento e projeção, são também adequadas aos princípios da racionalização, uma vez que possibilitam eliminar atividades de fluxo que não agregam valor ao produto final e minimizam atividades de controle de materiais.

Não obstante, quanto as potenciais melhorias do sistema de projeção contínua, poucos são os trabalhos que registram resultados obtidos a partir da implantação da tecnologia no sistema de produção das empresas, sendo este o contexto do presente trabalho, cujo objetivo é apresentar o estudo de viabilidade econômica com a análise de custos de: material (considerando consumo e perdas); mão de obra; e infraestrutura necessária, com a implantação de argamassa com projeção contínua como método construtivo de revestimento de fachada.

O método de trabalho adotado foi a pesquisa-ação, a partir do envolvimento do autor principal deste trabalho em um empreendimento de uma construtora da cidade de São Paulo.

A pesquisa foi dividida em duas etapas. A primeira que pode ser denominada "de escritório" em que, inicialmente foi feita a caracterização do processo tradicionalmente empregado pela construtora (produção de argamassa em obra e aplicação por caneca e ar comprimido) e, na sequência, foi feito o levantamento de dados da obra que seria objeto do estudo de caso, incluindo o orçamento da atividade de produção do revestimento de fachada com o método tradicional, utilizado como referência. Para comparativo de custos, foram solicitadas propostas

comerciais para fabricantes de argamassa, para fornecimento de argamassa industrializada e para empresas especializadas de execução de serviço de fachada, para custo de mão de obra para execução do revestimento de fachada com argamassa de projeção contínua.

A segunda etapa da pesquisa consistiu de trabalho em campo, em que foram medidos os índices de consumo e perda.

2 CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO CONSTRUTIVO DE REVESTIMENTO DE FACHADA UTILIZADO PELA EMPRESA

A construtora, objeto do estudo, adota um método construtivo para execução de revestimento de argamassa em fachadas a partir de dosagem da argamassa em obra e aplicação por projeção mecânica por spray a ar comprimido.

Quanto à logística para a etapa de produção do revestimento de fachada, a empresa dispõe de elevador cremalheira para o transporte vertical de materiais. Adota central de produção de argamassa que se movimenta pelos pavimentos e, neste, é localizada usualmente em uma área próxima à cremalheira e a um ponto de água. Para acesso à fachada, a empresa dispõe de andaimes suspensos (balancins leves) posicionados em todo o perímetro do edifício.

A mão de obra de execução é fornecida por empresa especializada nos serviços de revestimento de argamassa em fachada. Os equipamentos envolvidos na produção (balancins, argamassadeiras, dosadores de areia, entre outros) são locados.

Em campo, há organização e planejamento para recebimento dos três materiais básicos (cimento, cal e areia), uma vez que ocorrem três entregas distintas. O controle do recebimento é repetido para cada material e, para verificação da quantidade de areia, a carga deve ter seu volume medido a partir do volume da caçamba do caminhão. Em obras localizadas em locais de restrição de tráfego de caminhões, a entrega ocorre à noite, dificultando o controle de recebimento.

As baias para armazenamento da areia usualmente não possuem piso ou cobertura, deixando o material exposto a intempéries e potenciais contaminação, o que dificulta a manutenção das características da argamassa.

Há excesso de atividades de fluxo – como ensacamento de areia e transporte de materiais – que não agregam valor ao produto final e que, algumas vezes, tornam-se gargalos da produção.

Algumas atividades acometem diretrizes sócio-ambientais, como é o caso, por exemplo, da descarga manual dos materiais e do ensacamento de areia. A primeira utiliza energia humana para transporte de sacos de 20 ou 50 quilos que não têm forma adequada para o carregamento. Assim, o funcionário o carrega nos ombros ou na cabeça (Figura 1). A segunda atividade é realizada por uma equipe de duas pessoas que passam seu

expediente ensacando areia, comumente expostos às condições ambientais (Figura 2). Segundo levantamento das obras da construtora, uma equipe ensaca 14m³ de areia por dia.

Figura 1- Descarga manual de sacos de cimento



Figura 2 - Ensacamento de areia



Fonte: fotos tiradas pelo autor

Buscando-se minimizar esses e outros gargalos da produção de revestimentos de fachada, passou-se a identificar novas tecnologias que atendessem a premissa de aumentar a produtividade, diminuir a variabilidade dos processos e minimizar as atividades de controle em canteiro, sem mudanças significativas nos atuais métodos de produção e sem aumento de custos.

3 IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Tendo em vistas as premissas colocadas pela empresa, a busca por alternativas concentrou-se nas tecnologias de argamassas e de execução.

O emprego de argamassa industrializada atenderia algumas das premissas. Ao substituir três materiais por um só, há grande simplificação das atividades. O controle de recebimento de material, por exemplo, é reduzido a apenas uma verificação. A argamassa industrializada, por se tratar de uma produção fabril em condições controladas resulta na simplificação do controle de qualidade do produto em canteiro. Além disso, trata-se de um produto pré-dosado e isso proporciona redução na variabilidade da argamassa, elimina a dosagem dos materiais – usualmente sob responsabilidade do operário - desassocia, portanto, a qualidade da argamassa da habilidade e capacitação humanas.

Para o aumento de produtividade do serviço, focou-se em sistemas que mecanizassem não apenas a mistura e a projeção da argamassa, como também outras atividades do processo de execução do revestimento.

Visando eliminar as atividades de fluxo, passou-se a estudar a possibilidade de mecanizar a descarga e o transporte de materiais.

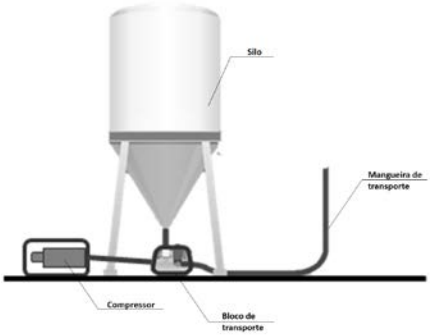
Argamassas industrializadas são fornecidas ensacadas ou a granel com armazenamento em silos. Trabalhar com produtos ensacados não reduziria

as atividades de descarga e transporte, enquanto o uso do material ensilado transportado por mangueira até o local de utilização seria mais atrativo sob a ótica das atividades de fluxo. Por outro lado, o silo exige infraestrutura no canteiro para sua instalação.

Uma vez que a empresa buscava aumento de produtividade, diminuição dos processos e consequente redução da quantidade de profissionais envolvidos e, tendo em vista que já utilizava a aplicação mecânica por spray a ar comprimido, optou-se por argamassas industrializadas em silo e que pudessem ser aplicadas por projeção mecânica contínua.

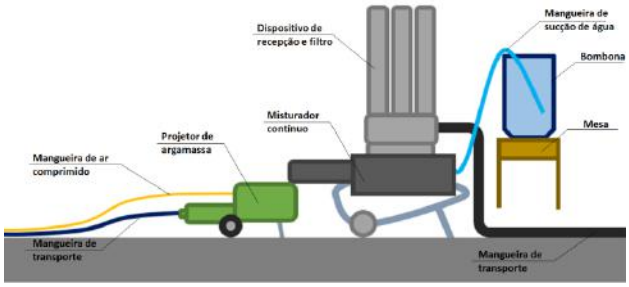
O sistema escolhido é composto por silos de armazenamento de mistura seca para argamassa, sistema de bombeamento de material a seco (compressor e mangueira) (Figura 3), sistema de recepção e mistura do material (filtro e misturador contínuo de eixo helicoidal) e sistema de projeção (bomba de eixo helicoidal com rotor e estator) (Figura 4). Na saída do sistema de projeção, é ligada uma mangueira de transporte da argamassa pronta (mistura do material seco com água) e uma mangueira de ar comprimido, que se unem no bico projetor (Figura 5) para gerar o efeito *spray*.

Figura 3 - Silo, sistema de transporte e mangueira de transporte



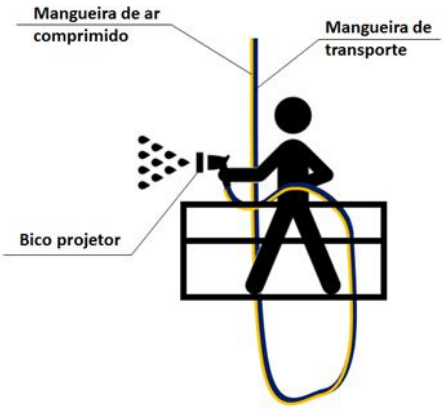
Fonte: adaptado de http://mapadaobra.com.br/sistema-matrix/#matrix-bombeado-3

Figura 4 - Dispositivo de recepção, misturador contínuo e projetor de argamassa



Fonte: autoria própria

Figura 5 - Mangueira de transporte, mangueira de ar comprimido e bico projetor



Fonte: autoria própria

Para o posicionamento do silo é necessária uma área de aproximadamente 9m² por silo, com capacidade para suportar 35 toneladas (carga do silo e da argamassa). Quando locado sobre solo, exige-se base dimensionada para suportar o carregamento previsto para o silo cheio. No caso de locação sobre laje, deve-se consultar o projetista de estrutura para verificar a necessidade de dimensionar escoramento suplementar para a laje. Para a escolha do local de instalação, deve-se considerar área para manobra de um caminhão graneleiro e altura livre suficiente para bascular o silo (ausência de fiação, árvores etc.). Para instalações em que não se tem a possibilidade de acesso para o caminhão, deve-se prever um guindaste para a retirada e posicionamento do silo em local com alcance da lança.
Deve-se considerar também que o reabastecimento é realizado pelo acoplamento do caminhão graneleiro ao silo por meio de uma mangueira cuja dimensão é limitada em função das condições ideias para bombeamento. Outro fator é a limitação da distância horizontal e vertical entre o silo e o misturador.

4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA EM SILO E PROJEÇÃO CONTÍNUA

Fez-se um estudo de viabilidade econômica (Quadro 1) comparando o sistema escolhido (argamassa em silo e projeção mecânica contínua) com o tradicionalmente empregado pela empresa (argamassa dosada em obra e aplicação mecânica por spray a ar comprimido ou "caneca"). Para tanto, foram considerados custos de material, mão de obra, equipamentos, serviços auxiliares e energia.

Dadas às diferenças de fornecimento, preparo e aplicação, nem todos os itens cabem a todos os sistemas. Os círculos preenchidos indicam que há um custo do item referido relacionado àquele sistema e os círculos vazios, o contrário.

Quadro 1 - Comparativo de custos envolvidos nos sistemas (continua)

COMPARATIVO DE SISTEMAS			
		Sistema tradicional	**Sistema escolhido**
	Argamassa	Dosada em obra	Industrializada (silo)
	Projeção	Caneca	Contínua
Argamassa	Cimento	●	O
	Areia	●	O
	Cal	●	O
	Argamassa Industrializada de Revestimento Externo (projeção contínua)	O	●

Quadro 1 - Comparativo de custos envolvidos nos sistemas (conclusão)

COMPARATIVO DE SISTEMAS			
		Sistema tradicional	**Sistema escolhido**
Locação de equipamentos	Misturador de Eixo Horizontal	●	O
	Sistema de Caneca (compressor + caneca)	●	O
	Sistema de Projeção Contínua	O	●
	Locação, montagem e desmontagem de balancins leves	●	●
	Locação, montagem e desmontagem de andaimes para andares atípicos	●	●
	Sistema de descida de massa (funil)	●	O
	Dosador de areia	●	O
	Sistema de Silo (silo+ compressor+ misturador)	O	●
Mão de Obra	Descida de prumadas e mapeamento com colocação de arame	●	●
	Limpeza, escovação, encunhamento, lavagem e chapisco - panos e faixas	●	●
	Massa única desempenada espessura até 5cm - panos e faixas	●	●
	Friso na massa	●	●
	Tratamento de frisos	●	●
	Colocação de tela entre alvenaria e estrutura	●	●
Complementos	Desmontagem de bandeja primária	●	●
	Dosagem Chapisco - panos e faixas	●	O
	Dosagem Argamassa - panos e faixas	●	O
	Transporte vertical de material do chapisco (ajudante + cremalheira)	●	●
	Transporte vertical de material da argamassa (ajudante + cremalheira)	●	O
Outros	Base do silo	O	●
	Saco de ráfia para chapisco	●	O
	Saco de ráfia para argamassa	●	O
Energia	Misturadores	●	O
	Compressores + caneca	●	O
	Projetor de argamassa	O	●
	Silo	O	●

Fonte: elaborado pelos autores

Na Tabela 1 apresentam-se os consumos de materiais e os respectivos custos para produzir um m² de revestimento considerando-se espessura de revestimento de 4,0cm.

Tabela 1 - Comparativo de custo de material de argamassa dosada em obra e de argamassa industrializada

MATERIAIS (espessura: 4cm)		CONSUMO/m²	UND	R$/UNT (3)	R$/m²		
Sistema tradicional	Areia média	0,050 (1)	M³	75,00	3,75	8,38	REF
	Cal hidratada	0,20 (1)	SAC	7,00	1,40		
	Cimento CPII32	0,17 (1)	SAC	19,00	3,23		
Sistema escolhido		80,64 (2)	KG	0,26	20,97		150%

(1) Composição dos materiais do histórico da construtora (considerando perdas)
(2) Consumo informado pelo fornecedor (considerando 12% de perda estimada)
(3) Custos informados pelos respectivos fornecedores (ano de referência: 2014)

Fonte: elaborada pelos autores

Os dados da Tabela 1 mostram que o metro quadrado do revestimento considerando-se o uso de argamassa industrializada, tem custo muito superior quando comparado à adoção de argamassa dosada em obra. Entretanto, neste custo estão embutidos os custos de locação de todos equipamentos pertencentes ao sistema do silo.

Há economias que são difíceis de serem mensuradas, como por exemplo, a redução do uso do elevador cremalheira para transporte de materiais, pois depende da característica da obra e da taxa de uso da cremalheira para os outros fins. É possível que em algumas situações será possível pensar na eliminação da segunda cabine; entretanto, esta análise não faz parte do escopo deste trabalho, ou seja, não se considerou a possível economia com o elevador cremalheira visto que ele estará disponível na obra, sendo ou não utilizado, mas é fato que em não sendo utilizado, haverá mais tempo disponível para as demais atividades.

Quanto aos itens de mão de obra, foi solicitado um orçamento para a execução de cada um dos sistemas apresentados no Quadro 1. Fazendo um comparativo entre os valores, todos os itens do sistema industrializado apresentaram uma redução de 15% em relação ao sistema tradicional. Além disso, foram eliminados os custos de dosagem e transporte de material.

Um estudo da viabilidade econômica de utilização da argamassa industrializada com o sistema de silo foi realizado para um empreendimento e, considerando o sistema como um todo, houve economia para a obra em comparação com seu orçamento (Figura 6).

Figura 6 - Comparativo de custos de materiais, mão de obra e equipamentos envolvidos nos sistemas de produção de revestimentos de fachada

						Sistema escolhido					Sistema tradicional		
						Orçamento Constata		Resumo			Orçamento obra		
ITENS		UND	CONSUMO /M²	PERDA	QUANTIDADE	R$ UNIT	R$ TOTAL	QTD (m²)	R$/M²	R$ TOTAL	QTD (m²)	R$/M²	R$ TOTAL
Área de Material		m²			79.989,46								
Chapisco	Cimento	sc	0,03	Perda inclusa na composição	2.399,68			79989,46	1,23	R$ 98.120,07	79989,46	1,41	R$ 112.785,14
	Areia	m³	0,004		319,96								
	Resina Acrílica	kg	0,13		10.398,63								
	Chapisco para estrutura	kg	5	5%	104.986,17	R$ 0,33	R$ 34.120,50						
	Chapisco para alvenaria	kg	4	5%	251.966,80	R$ 0,25	R$ 63.999,57						
Massa (e=4,0 cm)	Cimento CP II F32	sc	0,17	Perda inclusa na composição	13.598,21			79989,46	20,97	R$ 1.677.091,01	79989,46	8,12	R$ 649.914,36
	Areia	m³	0,05		3.999,47								
	Cal	sc	0,2		15.997,89								
	Argamassa industrializada	kg	72	12%	6.450.350,05	R$ 0,26	R$ 1.677.091,01						
Locação de equipamentos	Sistema de Canoca - Equipamentos + Diesel (panos)	m²			48.428,87			71868,26	62,43	R$ 4.486.926,08	71868,26	90,00	R$ 6.468.143,40
	Sistema de Caneca - Equipamentos + Diesel (faixas)	ml			46.878,78								
	Locação, montagem e desmontagem de balancins leves	ml			607,23	R$ 830,94	R$ 504.569,38						
	Locação, montagem e desmontagem de andaimes para andares atípicos	vb			3,00	R$ 19.010,50	R$ 57.031,50						
	Sistema de descida de massa (funil)	vb			3,00								
MDO	Descida de prumadas e mapeamento com colocação de arame	m²			71.868,26	R$ 2,01	R$ 144.412,08						
	Limpeza, escovação, encunhamento, lavagem e chapisco - panos	m²			48.428,87	R$ 13,07	R$ 633.011,34						
	Limpeza, escovação, encunhamento, lavagem e chapisco - faixas	ml			46.878,78	R$ 6,54	R$ 306.605,97						
	Massa única desempenada espessura até 5cm (panos)	m²			48.428,87	R$ 34,06	R$ 1.649.550,27						
	Massa única desempenada espessura até 5cm (faixas)	ml			46.878,78	R$ 17,03	R$ 798.376,09						
	Friso na massa	ml			20.424,06	R$ 14,40	R$ 294.120,78						
	Tratamento de frisos	ml			20.424,06	R$ 3,02	R$ 61.761,34						
	Colocação de tela entre alvenaria e estrutura	ml			1.542,10	R$ 4,61	R$ 7.108,77						
Complementos	Desmontagem de bandeja primária	ml			607,23	R$ 50,03	R$ 30.378,59						
	Dosagem (panos)	m²			48.428,87								
	Dosagem (faixas)	ml			46.878,78								
						VALOR TOTAL				R$ 6.262.137,16			R$ 7.230.842,90
						Diferença (%)				-13%			
						Diferença (R$)				-R$ 968.705,74			

Fonte: elaborada pelos autores

Há, ainda, um valor de infraestrutura de canteiro que envolve os custos de obras civis e elétricas para instalação dos silos e custos de energia para seu funcionamento. Para esta obra, foram estimados os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos de infraestrutura de canteiro para o sistema de revestimento com argamassa industrializada em silo e projeção mecânica contínua

Instalações			**Total**
Elétricas	Civil	Diversos	
R$ 80.000,00	R$ 12.500,00	R$ 10.000,00	R$ 102.500,00

Fonte: elaborada pelos autores

Na contabilização final, pela estimativa realizada, o uso da argamassa industrializada (material, mão de obra e infraestrutura) deverá gerar para esta obra uma economia R$ 866.205,74, ou seja, uma redução de 12% em relação ao orçamento de referência feito a partir do sistema tradicional.

5 TRABALHO EM CAMPO

Quanto ao levantamento do consumo e perda de material, optou-se por realizar a medição com acompanhamento da produção de uma equipe trabalhando com material ensacado, pois há uma imprecisão na medição da quantidade de material dentro do silo. Procedeu-se da seguinte forma:

- registro da quantidade total de material destinado a uma equipe (contagem de sacos utilizados);
- medição do material perdido no mangote do equipamento de projeção.

O cálculo do consumo médio (CUM) baseou-se na quantidade real de material consumido (Q_{real}) e na quantidade de serviço executado com tal material (Q_s):

$$CUM = \frac{Qreal}{Qs}$$

Para o cálculo das perdas considerou-se o Q_{real} (quantidade real de material consumido) e a $Q_{teórica}$ (quantidade teórica baseada no rendimento informado pelo fornecedor):

$$Perda\ (\%) = \frac{Qreal - Qteórica}{Qteórica} x100$$

Fez-se a contagem de sacos utilizados diariamente e mediu-se o volume do material perdido no equipamento ("perda equipamento"). Os valores levantados no período de 35 dias estão apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 - Quantidades de sacos utilizados e perdas de argamassa durante um período de 35 dias de produção

Quantidade de sacos (unid.)	2023
Perda equipamento (m³)	0,6525

Fonte: elaborado pelos autores

Como espessura média do revestimento foi de 5,0cm e o total de área produzida igual a 974,78m², tem-se que o consumo de material anidro foi de 20,75kg/m².cm.

A ficha técnica do produto indica um consumo teórico de 18kg/m².cm e, ao comparar com o consumo medido, tem-se também um índice de perdas de 15%.

Pelo histórico da construtora, o sistema de projeção de argamassa por caneca apresenta um índice de perda de 21,6%.

De acordo com as composições unitárias de massa única do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), apresentadas por Oliveira e Tannenbaum (2014), o consumo médio de argamassa projetada com caneca, para execução de revestimento de fachada com espessura de 2,5cm é de 0,031m³/m². Calculando sobre o consumo teórico (0,025m³/m²), obtém-se uma perda de 24%.

Acredita-se que a diferença entre os índices de perdas das duas técnicas de aplicação ocorre porque a argamassa de projeção contínua permite o sarrafeamento logo após a projeção, com a argamassa ainda úmida. Assim, o excesso de material retirado no corte pode ser utilizado para preenchimento dos locais com falta de material, pois ele ainda apresenta propriedades de argamassa fresca, em que o operário tem um maior tempo de espera para proceder o acabamento.

Isto não ocorre no sistema em que a argamassa é aplicada com projeção por caneca, porque deve-se aguardar o tempo de puxamento da argamassa para que se possa realizar o sarrafeamento e, usualmente, o material cortado não pode ser reutilizado para preenchimento de falhas. Além disso ou talvez por isto, quando do levantamento feito pela construtora, foi observado que para evitar necessidade de preenchimento posterior, os pedreiros projetam argamassa com espessura acima da estipulada pelas taliscas, possivelmente com receio de que ao sarrafearem falte material em alguma posição; isto aumenta a perda.

Acredita-se que com a técnica de projeção continua, a perda poderia ser ainda menor, pois, durante o acompanhamento da obra piloto, notou-se que os pedreiros, por facilidade de execução, descartavam a argamassa cortada (deixavam-na cair na bandeja) ao invés de recuperá-la para dentro do balancim, armazenando-a em caixote para posterior uso no preenchimento de falhas.

6 CONCLUSÕES

A implantação da técnica de execução de revestimento de fachada empregando argamassa projetada continuamente mostrou-se viável economicamente devido às vantagens associadas à tecnologia.

O emprego de argamassa industrializada e a mecanização de atividades do processo proporcionaram redução no custo de mão de obra de 15% em relação ao sistema tradicional. Apesar de haver vantagem comercial, há

poucas empresas no mercado preparadas para trabalhar com projeção contínua.

Quanto à geração de resíduos, notou-se que falta conscientização dos pedreiros. Sua remuneração é baseada na área realizada e atividades que atrapalhem sua produtividade são ignoradas. É o caso, por exemplo, do não cumprimento da prática de reaproveitamento do material "cortado" no momento do sarrafeamento. Para o pedreiro, é difícil recolher a argamassa cortada para dentro do balancim para utilizá-la no preenchimento de vazios. De fato, o balancim não está preparado para que isto ocorra pois comumente está afastado cerca de 20cm do plano do revestimento que está sendo sarrafeado. Apesar dos fatos mencionados, a projeção contínua apresentou perda de 15%, valor inferior à perda registrada historicamente pela empresa para o sistema tradicional, em torno de 24%, o que reflete em redução de custo de material e maior potencial de desempenho em questões ambientais.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, T. T.; TANNENBAUM, P. R. K. **O uso do SINAPI para a escolha tecnológica em habitações populares**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014. 10p.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. 2003. 138p. Tese (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua**. 2012. 123 p. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INOVAÇÕES E SOLUÇÕES DE CONCRETO LEVE QUE VISEM CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES INFORMAIS: ESTUDOS DE CASO NA CIDADE DE NITERÓI/RJ[1]

LEONARDO, Carolina (1); CAETANO, Diego (2); LOMARDO, Louise (3); BRASIL, Paula (4)

(1) UFF, e-mail: carolinaleonardo@id.uff.br; (2) UFF, e-mail: louiselbl@gmail.com; (3) UFF, e-mail: diego.caetano@gmail.com; (4) UNILASALLE e ESTÁCIO, e-mail: paulabrasill@gmail.com

RESUMO

As habitações informais no Brasil, em geral, não estão adaptadas ao clima local, provocando más condições de conforto térmico, o que gera desnecessariamente o uso excessivo de energia configurando um déficit qualitativo nos ambientes. O objetivo da pesquisa foi desenvolver e analisar uma argamassa multifuncional e um bloco de concreto leve, por meio da associação do cimento com o Poliestireno Expandido, a fim de obter melhor qualidade térmica em edificações de baixa renda. Para isso, os materiais desenvolvidos foram aplicados em duas habitações do morro do Vital Brazil, localizado na cidade de Niterói – Rio de Janeiro. As referidas edificações foram selecionadas através do Diagnóstico de Riscos para a realização de medições: controle de Temperatura de Bulbo Seco (TBS, ºC), antes e depois da aplicação dos materiais. Os resultados obtidos demonstraram uma significativa redução na temperatura do interior das casas, promovendo maior conforto térmico para seus habitantes e tornando o ambiente mais saudável. Entende-se que as soluções desenvolvidas neste projeto possam contribuir para o desenvolvimento e replicabilidade de tecnologias construtivas que utilizem materiais reciclados, melhorando a qualidade ambiental de habitações informais.

Palavras-chave: Habitação Informal. Tecnologia Social. Conforto Térmico.

ABSTRACT

Informal housing in Brazil, in general, are not adapted to the local climate, causing poor conditions of thermal comfort, which unnecessarily generates excessive use of power by setting a qualitative deficit in the environments. The objective of the research was to develop and analyze a multi-purpose mortar and lightweight concrete block through the cement association with Expanded Polystyrene, in order to get better thermal quality in low-income buildings. For this, the materials developed were applied in two rooms of the Vital Brazil hill, located in the city of Niterói - Rio de Janeiro. These buildings were selected through the Risk Diagnostics in informal dwellings for performing measurements: Dry bulb temperature control (TBS, ºC) before and after the application of the materials. The results showed a significant reduction in temperature inside the house, providing greater thermal comfort for its inhabitants and making the environment healthier. It is understood that the solutions developed in this project can contribute to the development and replicability of building

[1] LEONARDO, Carolina et al.. Inovações e soluções de concreto leve que visem conforto térmico em habitações informais: estudos de caso na cidade de Niterói/RJ. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

technologies using recycled materials, improving the environmental quality of informal housing.

***Keywords**: Informal housing. Thermal comfort. Social technology.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Instituto Brasileiro e Geografia e Estatística (IBGE), 6% da população brasileira (11,42 milhões) vive em favelas, palafitas ou outros assentamentos irregulares, com maior concentração de domicílios na região Sudeste dados do IBGE (IBGE, 2010). Segundo o Censo 2010, foram identificados 6.329 aglomerados subnormais em 323 municípios do País, ou seja, domicílios particulares ocupados por 11.425.644 pessoas. As moradias, em geral, apresentam situações de riscos à saúde e segurança dos moradores, configurando um déficit qualitativo no ambiente.

As políticas públicas voltadas à urbanização de favelas estão restritas à intervenção em áreas de uso comum, atendendo à necessidade de implantação de infraestrutura, mas não respondendo à urgência de melhoria das condições de habitabilidade das moradias. Os investimentos direcionados à habitação, geralmente, limitam-se à redução do déficit habitacional pela construção de novas moradias, desconsiderando o déficit qualitativo, ou seja, as precariedades das edificações.

Sabe-se que a qualidade das habitações de interesse social (HIS) ainda é precária no Brasil. Entre a urbanização de favelas e a Regularização Fundiária existe uma lacuna que deve ser preenchida por ações de melhoria habitacional, para que de fato seja garantido o Direito à Cidade e à Moradia Digna, conforme a Lei Federal 11.888 (BRASIL, 2008).

Dentre as edificações para a população de baixa renda, casas unifamiliares ainda representam a grande maioria, e elas são mais expostas ao clima externo e, portanto, com grande influência no ambiente térmico de seus componentes (SANTOS, 2008).

O conforto térmico é o estado de espírito que expressa a satisfação com o ambiente térmico. Essa sensação de bem estar térmico do corpo humano dependerá da atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico, pois quanto maior for o trabalho desse sistema, maior a sensação de desconforto (ASHRAE, 2010, tradução).

Segundo a NBR 16401, as temperaturas ideais para verão em residências estão entre 23 a 26,5 °C e 65% Umidade Relativa e segundo a NBR15.220-3, Niterói é classificada como zona bioclimática 5, com desconforto por calor. Com isso, a pesquisa buscou novas soluções para a melhoria da qualidade do ambiente construído em HIS, privilegiando materiais de fácil acesso no país.

O objetivo da pesquisa foi desenvolver e analisar um concreto multifuncional/argamassa e um bloco de concreto leve, por meio da associação do cimento com o Poliestireno Expandido (EPS), a fim de obter melhor qualidade térmica em edificações de baixa renda, materiais de fácil

aplicação e que sejam acessíveis aos moradores.

O Poliestireno Expandido é conhecido pela sigla internacional EPS, de acordo com a Norma DIN SO-1043/78. No Brasil, é mais conhecido como "Isopor", marca registrada da Knauf Isopor Ltda. Trata-se de um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água, descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e arl Buchholz nos laboratórios da Basf, na Alemanha (SANTOS, 2008). Ainda segundo o autor, apenas 10% do produto é reciclado no Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 A proposta metodológica

A metodologia dividiu-se em três etapas descritas a seguir:

- 1ª etapa: seleção de duas habitações, para aplicação da proposta, através do Diagnóstico de Riscos Ambientais realizado pela ONG Soluções Urbanas, localizadas no Morro Vital Brasil, na cidade de Niterói – Rio de Janeiro.
- 2ª etapa: desenvolvimento de um modelo de argamassa multifuncional, com um traço preparado para a realização de atividades como rebocos, emboços, e isolamento térmico em função do EPS triturado na sua composição, e um bloco de concreto leve.
- 3ª etapa: foram realizadas medições com sensores eletrônicos do tipo *Data Logger "HOBO" Temperature*, coletando dados horários de Temperatura de Bulbo Seco (TBS, ºC) das casas selecionadas durante um mês. Após as medições, ocorreram as intervenções nos imóveis e, em seguida, novas medições foram realizadas para a avaliação dos resultados.

2.2 Proposta de materiais

A busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas tem sido ponto de discussão no Brasil e no mundo (HENSEN e LAMBERTS, 2011). Dessa forma, a produção do material visou analisar os benefícios do EPS na composição do material.

As principais características do EPS, e que lhe concedem uma grande versatilidade de utilização, são baixa condutibilidade térmica K=0,030W/m°C; leveza 10-30 kg/m3; resistência mecânica à compressão - 7000 kgf/m² até 14000 kgf/m²; baixa absorção de água; fácil de manusear e econômico (SOUZA et al, 2006).

Foi estabelecida uma parceria entre o laboratório de pesquisa e a empresa de concreto LafageHolcim para preparação dos materiais e análise das propriedades dos mesmos, associados ao EPS: argamassa multifuncional (Figura 01) e bloco de concreto leve (Figura 02).

Figura 01– Argamassa multifuncional



Figura 02 - blocos de concreto leve



Fonte: Os autores

O concreto foi desenvolvido com uma betoneira e moldado em uma forma de madeira, do tamanho do bloco 50x20x10 - desforma 24h depois da concretagem, já o concreto para revestimento superior da laje foi produzido *in loco*, com uma betoneira.

Após os ensaios, foi definida a composição dos materiais que apresentam condutividade térmica para 800 kg / m3 = 0,32 +/- 0,05 W / m.K, tendo 49% de EPS na sua composição (Quadro 01).

Quadro 1- Composição dos materiais - Hot Plate C177 método ASTM, a 40 ° C.

PRODUTOS	% VOLUME
Cimento CP II	8,6
Calcário Filler – granulometria 100%	3
EPS / Isopor Reciclado	49
Areia 0/4 mm	9,3
Água	18
Aditivo – Sika	0,1
Ar	12
Total	100

Fonte: Os autores

A significativa porcentagem de EPS teve como objetivo proporcionar leveza para o bloco de concreto, além de testar os benefícios do produto, com relação ao desempenho térmico.

Destaca-se ainda que a partir do ensaio do tipo *slump* foi constatada a consistência do bloco de concreto leve, mesmo tendo 49% de EPS na sua composição. Ressalta-se que o bloco apresentou: facilidade de redução de

vazios e de adensamento do concreto; facilidade de moldagem, relacionada com o preenchimento da fôrma.

3 ESTUDO DE CASO 01 – APLICAÇÃO DE ARGAMASSA MULTIFUNCIONAL EM COBERTURA

O caso 01 consiste numa residência unifamilar de 1 pavimento com 53 m² de área de cobertura com sala, 3 quartos, cozinha e banheiro com lajes de concreto de 12 cm (local de aplicação). A intervenção ocorreu na parte da cobertura que não possui telha cerâmica, que corresponde a 32.57m². (Figuras 03 e 04).

Figura 03– Croqui da Cobertura

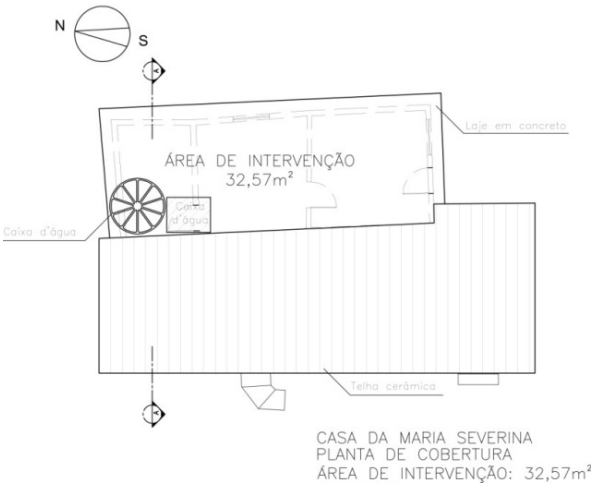


Figura 04 – Foto da residência 01



Fonte: dos Autores

3.1 Controle de temperatura – casa 01: análise dos resultados

Foi aplicada na cobertura uma camada da argamassa multifuncional, preparada in loco, na espessura de 8 cm (Figura 5).

Figura 05 – Cobertura da residência 01 (após aplicação do material)

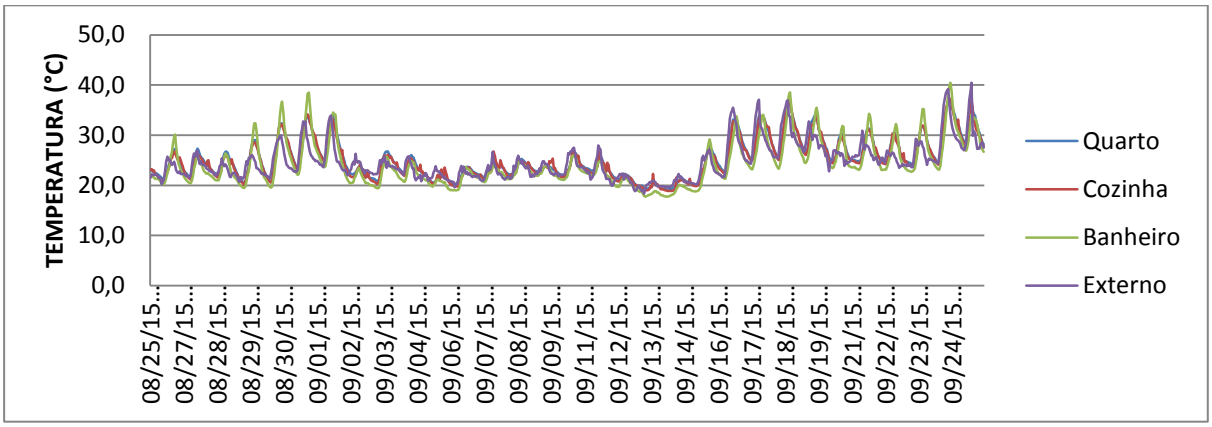


Fonte: Os Autores

Após a medição de temperatura durante 30 dias, foi possível observar que antes da aplicação do material na laje (Figura 6), a temperatura interna dos ambientes era praticamente igual e, as vezes superior, a temperatura do lado externo da casa, principalmente no banheiro, em função da

orientação solar.

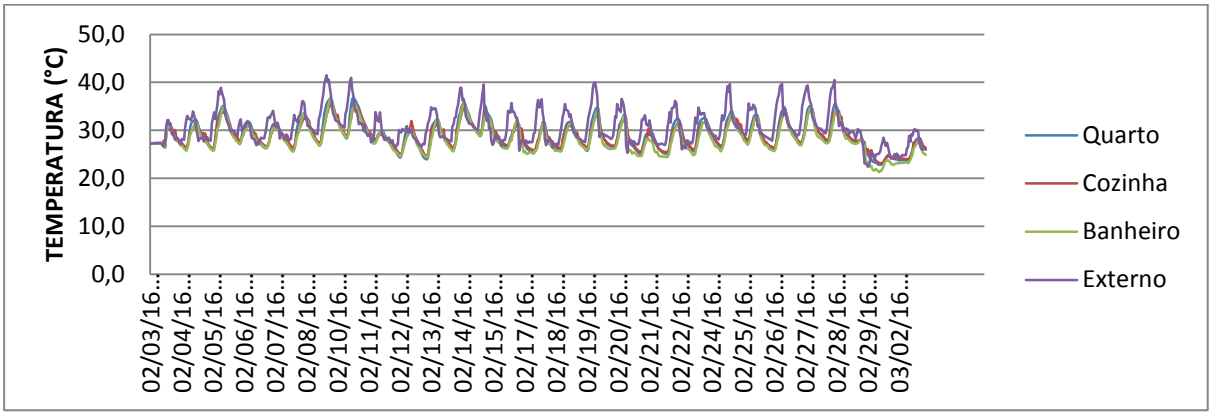
Figura 6 – Temperatura da casa 01(interna e externa) – antes da aplicação do material



Fonte: Os autores

Depois da aplicação da argamassa, observou-se pela Figura 7, que a temperatura externa é superior na maior parte do tempo em todos os ambientes.

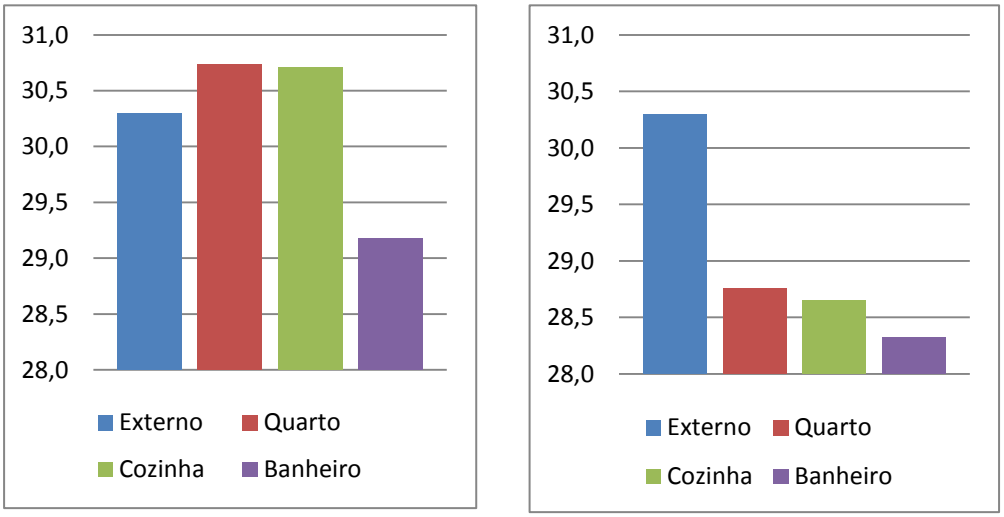
Figura 7 - Temperatura da casa 01 (interna e externa)– após aplicação do material



Fonte: Os autores

Em função da diferença de temperatura entre os meses em que foram realizadas as medições, foram selecionados dois dias (antes e depois da aplicação do material), de mesma temperatura, a fim de obter uma análise térmica do espaço interno (Figura 8 e 9).

Figura 8 - Medições de temperatura realizadas nos dias 18/09/2015 (antes) Figura 9 - 07/02/2016 (depois) - temperatura externa de 30,3° C.



Fonte: Os autores

A partir dos resultados parciais da pesquisa, já foi possível perceber que houve, para dias com temperatura do ar externo iguais, uma redução de temperatura no quarto de 30,7°C para 28,8°C, banheiro de 29,2°C para 28,3°C, e cozinha de 30°C para 28,7°C. O que demonstrou a contribuição do material para o conforto térmico na residência.

4 ESTUDO DE CASO 02 – APLICAÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO LEVE EM FACHADA

O caso 02 consiste numa residência unifamiliar composta por sala, quarto, cozinha e banheiro totalizando 36,17m² de área útil (Figura 10) com paredes de alvenaria - tijolo cerâmico e reboco – totalizando 11 cm de espessura. A edificação é coberta apenas por telhas de fibrocimento (Figura 11 e 12). Os blocos pré-fabricados de concreto leve, dimensões 50x20x10 foram aplicados sobre a parede existente, formando uma camada extra, não tendo função estrutural.

Figura 10– Foto - antes da aplicação do material.



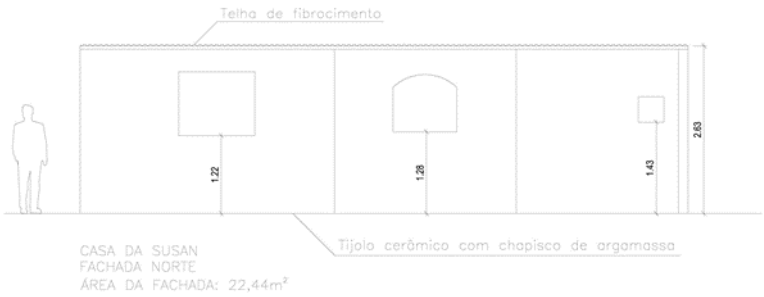
Fonte: Os autores

Figura 11 - Planta Baixa



Fonte: Os autores

Figura 12 - Fachada Norte



Fonte: Os autores

4.1 Controle de temperatura – casa 02: análise dos resultados

As medições foram realizadas apenas nos cômodos que faceiam a fachada norte (Figura 13). Os blocos foram aplicados com juntas de 1cm.

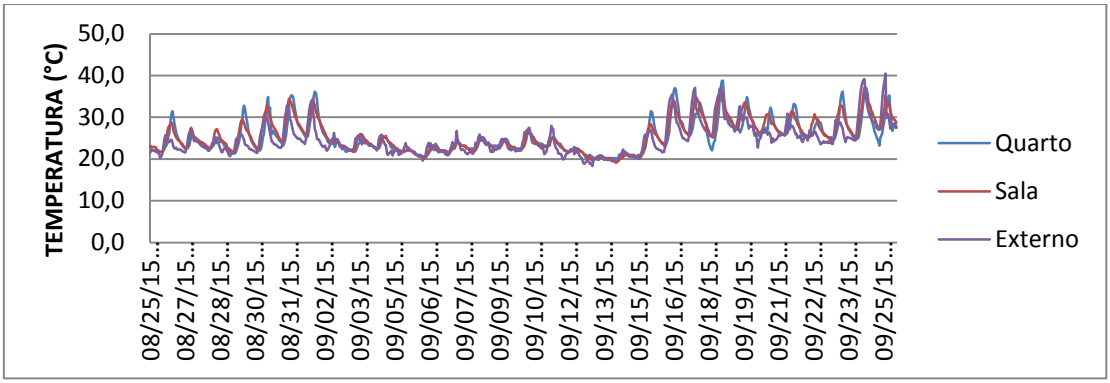
Figura 13 – Foto da casa 2 após a aplicação do bloco de concreto leve



Fonte: Os autores

A Figura 14 mostra que antes da obra da fachada norte as temperaturas dos ambientes internos eram iguais ou superiores a temperatura externa da casa.

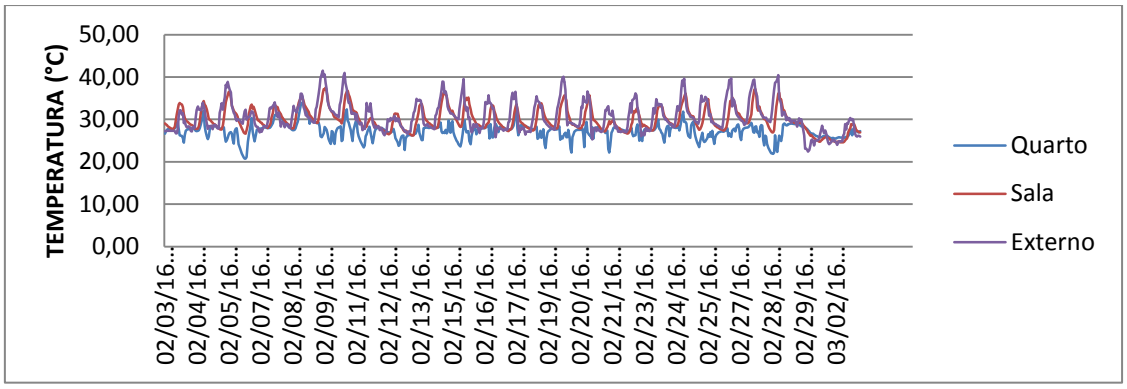
Figura 14 - Temperatura da casa 02 (interna e externa) – antes da aplicação do material



Fonte: Os autores

Depois da obra, percebe-se que a temperatura externa da casa é superior a temperatura dos ambientes internos (Figura 15).

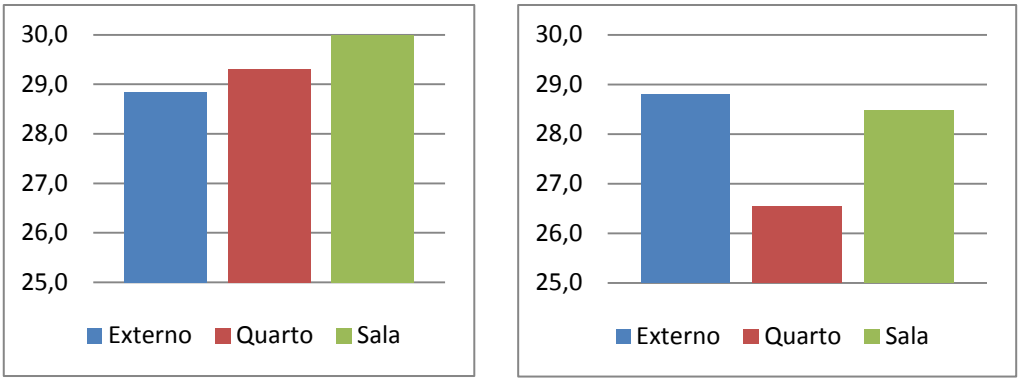
Figura 15 - Temperatura da casa 02 – depois da aplicação do material



Fonte: Os autores

Assim, a temperatura interna também foi comparada nos dias 19/09/2015 e 12/02/2016, que apresentaram a mesma temperatura externa, na forma de gráficos (Figuras 16 e 17).

Figuras 15 e 16 - Medições de temperatura realizadas nos dias 19/09/2015 (antes) e 12/02/2016 (depois) - temperatura externa de 28,8° C.



Fonte: Os autores

Destaca-se que os resultados apresentados são preliminares, e que ainda pretende-se realizar uma avaliação de graus hora de desconforto por calor. Entretanto, a partir da análise da casa 02 também foi possível perceber que houve uma redução de temperatura, sendo no quarto de 29,2ºC para 26,5ºC, e na sala de 30ºC para 28,4ºC, o que demonstrou a contribuição do material para o conforto térmico na residência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da pesquisa foi possível desenvolver e aplicar técnicas construtivas utilizando EPS, a fim de verificar as propriedades térmicas do produto. Sabe-se que na maior parte dos casos o referido material, é proveniente de embalagens de eletrodomésticos, máquinas, equipamentos, e é tratado como resíduo sólido e descartados. Após os experimentos, foi possível constatar a possibilidade de aproveitamento do material, principalmente para HIS.

Verificou-se que o uso da argamassa multifuncional e do bloco de concreto geraram contribuições para as edificações habitacionais informais no Morro do Vital Brasil no que tange ao conforto térmico.

Destaca-se ainda a leveza do material fator que influencia o transporte, principalmente, nas comunidades que são consideradas áreas de ricos, e que o material é, geralmente, transportado manualmente por moradores da comunidade até o canteiro de obras.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ, a ONG Soluções Urbanas e a LafargeHolcim pelo incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE STANDARD 55 – 2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

_____. NBR 16401-2 Instalações centrais de ar condicionado para conforto – Sistemas centrais e unitários.

_____. 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

_____. NBR 15575-4: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

_____. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

BRASIL. Lei nº 11.888, de 24 de dezembro de 2008. Assegura as famílias de baixa renda assistência técnica pública e gratuita para o projeto e a construção de habitação de interesse social. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. Building Performance Simulation for Design and Operation. Routledge, 2011.

SANTOS, R. Estudo Térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e EPS para construção de casas populares. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Porto Alegre, 2008.

SOUZA, L.G.M., et al. Compósito a base de gesso e EPS para fabricação de casas populares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS,17. Foz do Iguaçu, PR, 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DE PASTAS DE GESSO COM ADITIVO INCORPORADOR DE AR[1]

ANDRADE, Ananda Criado de (1); SOUSA, José Getulio Gomes de (2); FERRAZ, Andréa de Vasconcelos (3); OLIVIER, Nelson Cárdenas (4)

(1) UNIVASF, e-mail: ananda.criado@hotmail.com; (2) UNIVASF, e-mail: jose.getulio@univasf.edu.br; (3) UNIVASF, e-mail: andrea.ferraz@univasf.edu.br; (4) UNIVASF, e-mail: nelson.cardenas@univasf.edu.br

RESUMO

O gesso é amplamente utilizado como opção para revestimento interno de paredes e tetos, entretanto a etapa de preparo e aplicação pode implicar em um tempo de espera improdutivo ou na geração de grande volume de resíduos. Com isso, o presente trabalho visa o estudo da adição de incorporador de ar em pastas de gesso com a finalidade de obter pastas trabalháveis, com consistência necessária para aplicação logo após a mistura, e ainda com um maior tempo para aplicação. Na metodologia foi considerada uma relação água/gesso de 0,4, um teor de aditivo retardador de pega de 0,02% e teores de aditivo incorporador de ar de 0%, 0,025%, 0,050% e 0,075%. No estudo avaliaram-se as propriedades no estado fresco (consistência, tempos de pega e teor de ar incorporado), e no estado endurecido (resistência à compressão, tração na flexão e de aderência e densidade de massa). A análise dos resultados indica que há viabilidade de aplicação das pastas de gesso com até 0,025% de aditivo incorporador de ar, pois nesse teor o processo de aplicação da pasta no revestimento não ficou comprometido, bem como suas propriedades no estado fresco e endurecido.

Palavras-chave: Aditivo incorporador de ar. Pastas de gesso. Revestimento.

ABSTRACT

Gypsum is widely used as an option for lining walls and ceilings, but its rapid hardening involves the generation of large volumes of waste. Thus, this paper aims to study the addition of air incorporator plaster folders in order to obtain workable folders with consistency required for application immediately after mixing, and with a longer time to application. In the methodology it is considered a lower water / plaster and additives: developer and air takes retarder being set retarder additive content of 0.02% and the additive content developer air varied from 0% to 0.075%. The experimental program evaluates the properties in the fresh state (consistency, setting time and entrained air content), and in the hardened state (compressive strength, tensile and bending the adhesion and mass density). The behavior identified shows that the increase in air content developer provides a reduction in mechanical strength. Therefore, the analysis of the results showed that there is feasibility of applying the plaster folders with up to 0.025% incorporator air additive because its properties in fresh and hardened state compatible with the defined by ABNT.

---

[1] ANDRADE, Ananda Criado de; SOUSA, José Getulio Gomes de; FERRAZ, Andrea de Vasconcelos; OLIVIER, Nelson Cárdenas. Avaliação de pastas de gesso com aditivo incorporador de ar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Additive incorporator air. Plaster folders. Coating.*

1 INTRODUÇÃO

A NBR 13207 (1994) define o gesso para construção como material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio. Na construção civil, pode ser utilizado tanto para execução de revestimentos internos como para confecção de divisórias e elementos pré-moldados.

Para revestimento interno, tem sido crescente a utilização das pastas de gesso, isso decorre da facilidade e rapidez na execução além do bom acabamento superficial, podendo até dispensar ou reduzir a aplicação de massa corrida. Conforme Breitsameter (2012), um revestimento com pasta de gesso apresenta uma produtividade média maior que um revestimento de argamassa do tipo massa única, 52,25 m²/dia contra 31,70 m²/dia, respectivamente.

No entanto, o curto tempo de pega das pastas de gesso tem como consequência um reduzido tempo disponível para aplicação do revestimento. Em função disso é gerado um grande desperdício de material, com valores médios de perda que podem chegar até 45% (AGOPYAN *et. al.,* 1998; SANTOS, 2012).

O procedimento popular para execução do revestimento manual em gesso inicia com o polvilhamento e mistura de parte da pasta, em seguida, permanece em repouso (tempo de espera) até se atingir uma consistência para aplicação. Esse período é determinante para a produção do serviço de revestimento manual de gesso.

Uma forma de se ampliar a produtividade é reduzindo o tempo de espera, diminuindo dessa forma o tempo improdutivo. Para isso, pode se reduzir a relação água/gesso ou utilizar substâncias espessantes, que proporcionam alteração da consistência antes do término desse período. Em pesquisa realizada por Antunes (1999) se empregou a cal hidratada como agente espessante.

Para confecção de argamassas industrializadas, é comum a substituição da cal por aditivos incorporadores de ar. Nesse sentido, a utilização de aditivo incorporador de ar, também, se apresenta como alternativa para melhoria da trabalhabilidade das pastas de gesso, tendo em vista, que em argamassas proporcionam um ganho de plasticidade, maior rendimento e diminuição do módulo de elasticidade (ALVES, 2002).

Este trabalho visa avaliar o papel do aditivo incorporador de ar na matriz de gesso e ácido cítrico em uma razão água/gesso de 0,4. Dessa forma, é que se propõe a realização desse trabalho, que busca avaliar os efeitos da incorporação de ar nas misturas de gesso.

2 MATERIAIS

2.1 Água

Foi utilizada água destilada nos ensaios em que há essa prescrição normativa, nos demais ensaios se utilizou a água fornecida pela concessionária local.

2.2 Gesso

O gesso empregado na produção das pastas foi o gesso fino para revestimento, fornecido em sacos de 40 Kg, de um mesmo lote.

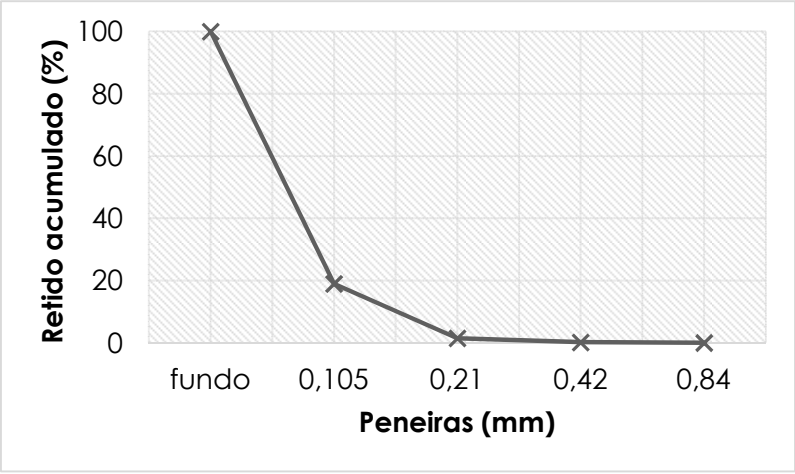
A caracterização física e mecânica desse material está indicada na Tabela 1 e Figura 1 onde é verificada a conformidade ao estabelecido na NBR 13207 (1994).

Tabela 1 - Caracterização física e mecânica do gesso

Propriedade	Valor	Limite	Método de ensaio
Massa unitária (kg/m³)	671,83 ± 29,39	>700	NBR 12127 (1991)
Módulo de finura	0,21 ± 0,04	<1,10	
Massa específica (g/cm³)	2,62 ± 0,01	-	NBR NM 23 (2000)
Consistência normal (a/g)	0,50 ± 0,03	-	NBR 12128 (1991)
Tempo de início de pega (min)	18 ± 1,4	>10	
Tempo de fim de pega (min)	21 ± 2,1	>45	
Resistência à compressão (MPa)	16,78 ± 1,08	>8,40	NBR 12129 (1991)

Fonte: Autores

Figura 1 - Curva granulométrica do gesso hemidratado



Fonte: Autores

2.3 Aditivo retardador de pega

O aditivo utilizado foi o ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), que com frequência tem sido utilizado pelos gesseiros da região. De acordo com Hincapié e Cincotto

(1997), o ácido cítrico consegue com 0,03% retardar em uma hora o início da pega. Nos experimentos realizados, foi previsto um teor ligeiramente abaixo, que se manteve fixo em 0,02%.

2.4 Aditivo incorporador de ar

O aditivo incorporador de ar utilizado nessa pesquisa foi um aditivo à base de lauril sulfato de sódio ($C_{12}H_{25}NaO_4S$), comumente usado em argamassas de cimento e areia.

Em pesquisa realizada por Alves (2002), que utilizou o mesmo aditivo para se confeccionar argamassas, empregaram-se os teores de 0,0125%, 0,025% e 0,050%. Nesse trabalho utilizaram-se os valores de 0,025%, 0,050% e 0,075% em relação à massa de gesso.

3 PROCEDIMENTOS

Para se avaliar as propriedades físicas e mecânicas das pastas de gesso com aditivo incorporador de ar, foram estabelecidas algumas condições fixas, que são um teor de aditivo retardador de pega de 0,02%, a relação água/gesso de 0,4 e um tempo de mistura de 3 minutos.

3.1 Preparo das pastas

O proporcionamento dos materiais para a confecção das pastas foi feito em massa e a mistura dos materiais foi feita em um misturador elétrico (argamassadeira) com capacidade de mistura em torno de 3 kg.

O processo de preparo das pastas de gesso foi adaptado ao proposto pela NBR 12128 (1991). Inicialmente os aditivos foram dissolvidos na água de amassamento, em seguida houve o polvilhamento do gesso sobre a água durante 1 minuto e ao término desse tempo procedeu-se mistura dos materiais por 3 minutos.

Na Tabela 2 é apresentada a matriz experimental dessa pesquisa.

Tabela 2 – Matriz experimental

Pasta	Gesso	Adit. Incorporador	Adit. Retardador	Relação água/gesso	Tempo de mistura
GA-0	100%	0%	0,02%	0,4	3 min
GA-0,025	100%	0,025%	0,02%	0,4	3 min
GA-0,050	100%	0,050%	0,02%	0,4	3 min
GA-0,075	100%	0,075%	0,02%	0,4	3 min

Fonte: Autores

3.2 Ensaios no estado fresco

Os ensaios realizados para caracterização das pastas de gesso no estado

fresco foram consistência, tempo de pega e teor de ar incorporado.

3.2.1 Consistência

A consistência das pastas de gesso foi avaliada conforme descrito na NBR 12128 (1991), utilizando o aparelho de Vicat modificado, que permite verificar a consistência por meio da penetração, em mm, de uma sonda cônica na pasta.

3.2.2 Tempo de pega

A determinação do tempo de pega do gesso é normatizada pela NBR 12128 (1991), utilizando o aparelho de Vicat. A contagem dos tempos de início e fim de pega foi iniciada a partir do contato do gesso com a água, sendo registrado o início de pega quando a agulha de Vicat estaciona a 1 mm da base e o fim de pega no instante em que a agulha não deixe mais impressões na superfície das pastas.

3.2.3 Teor de ar incorporado

Para estimativa do teor de ar incorporado nas pastas de gesso utilizou-se a NBR 13278 (2005), que apresenta um método de ensaio gravimétrico para a determinação do teor de ar em argamassas, porém foi aplicada para as pastas de gesso devido a semelhança entre os dois materiais.

3.3 Ensaios no estado endurecido

Para caracterização das pastas de gesso no estado endurecido foram utilizados os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e densidade de massa.

Na preparação da pasta usadas nos corpos de prova utilizou o procedimento descrito no item 3.1. Após a mistura, a pasta era transferida para moldes impermeáveis e rígidos, onde permaneceram em ambiente de laboratório por um período de aproximadamente 4 a 6 horas. Após a desmoldagem os corpos de prova foram colocados em estufa para secagem com temperatura constante de 40 °C durante 7 dias, em seguida foram ensaiados.

3.3.1 Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão utilizou metodologia recomendada pela NBR 12129 (1991), utilizando máquina de ensaios EMIC, com capacidade de 10 tf. Para cada tipo de mistura foram moldados 3 corpos de prova cúbicos com 50 mm de aresta.

3.3.2 Resistência à tração na flexão

O ensaio seguiu os procedimentos da NBR 13279 (2005), foi utilizada máquina de ensaios EMIC, com capacidade de 2 tf, foram moldados 3 corpos de prova, com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm, para cada tipo de mistura analisada. O ensaio consiste na aplicação de uma carga no centro do corpo de prova, que é colocado sobre dois apoios com distância entre si de 100 mm.

3.3.3 Densidade de massa

O objetivo desse ensaio é determinar a densidade do gesso no seu estado endurecido, foi utilizado o procedimento da NBR 13280 (2005). Antes de se realizar o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova cúbicos foram pesados e medidas as dimensões. Com esses dados, calculou-se o volume e através da relação com a massa obtinha-se a densidade de massa no estado endurecido.

3.3.4 Resistência de aderência

Para o estudo, foram executados revestimentos de acordo com a NBR 13867 (1997), o substrato empregado para a aplicação foi alvenaria de bloco cerâmico, sem chapisco e com a superfície previamente umedecida. Quanto ao preparo da pasta, os aditivos foram dissolvidos na água de amassamento e em seguida, o gesso polvilhado. A mistura foi realizada em argamassadeira planetária. A espessura do revestimento foi padronizada com mestras em 2 cm.

Após 28 dias, procedeu-se o corte do revestimento com serra copo e a colagem, com cola à base de resina epóxi, de 12 pastilhas circulares com diâmetro de 50 mm. O ensaio de resistência de aderência à tração foi executado conforme NBR 13528 (2010), através de equipamento de tração conectado aos suportes metálicos, que possibilitou a aplicação de uma carga constante e perpendicular à superfície até a ruptura do corpo de prova. A resistência de aderência foi calculada por meio da relação entre a força de ruptura e a área da secção transversal.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados no estado fresco

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos no para os ensaios realizados no estado fresco.

Tabela 3 – Resultados no estado fresco

Propriedades	**Resultados**			
	GA-0	**GA-0,025**	**GA-0,050**	**GA-0,075**
Consistência (mm)	17 ± 1,5	19 ± 0,9	19 ± 0,4	19 ± 0,3

Tempo de início de pega (min)	32 ± 2,12	35 ± 2,83	-0,08 ± 0,03	17 ± 1,50
Tempo de fim de pega (min)	35 ± 2,83	45 ± 1,41	46 ± 2,83	41 ± 1,98
Teor de ar incorporado (%)	-0,08 ± 0,03	7,87 ± 0,08	9,33 ± 0,36	11,47 ± 1,01

Fonte: Autores

Com relação à consistência das pastas, o aumento no teor de aditivo incorporador de ar provocou um pequeno aumento na penetração da sonda cônica, indicando que as pastas se tornaram mais fluidas. No entanto, a similaridade dos resultados, permite concluir que não foi tão expressivo o efeito do teor de aditivo incorporador de ar na consistência das pastas de gesso.

Quanto aos tempos de pega, a NBR 13207 (1994) especifica que a pasta de gesso para revestimento deve apresentar tempo de início de pega maior que 10 min e tempo fim de pega maior que 45 min. Todas as misturas atenderam ao tempo de inicio, entretanto, apena a pasta GA-0,050 obtiveram tempo de fim de pega maior que 45 minutos.

A pasta com 0,025% de aditivo incorporador apresentou tempos de pega maiores que a pasta de referência (GA-0), todavia para teores maiores, como 0,050% e 0,075% ocorreu uma diminuição nos tempo de início de pega, embora os valores obtidos ainda foram maiores que o tempo de início de pega da pasta GA-0.

Quanto aos resultados do ensaio de teor de ar incorporado, pode-se notar um aumento no volume de ar incorporado à medida que se aumentou o teor de aditivo, chegando a 11,47%. Esse comportamento corrobora com o obtido por Alves (2002) e Romano (2013), que estudaram a incorporação de ar em argamassas.

4.2 Resultados no estado endurecido

Os resultados para as análises no estado endurecido foram agrupados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados no estado endurecido

Propriedades	**Resultados**			
	GA-0	**GA-0,025**	**GA-0,50**	**GA-0,075**
Densidade de massa (kg/m³)	23,27 ± 1,1	19,37 ± 1,35	17,24 ± 0,45	15,99 ± 0,64
Resistência à compressão (MPa)	23,27 ± 1,1	19,37 ± 1,35	17,24 ± 0,45	15,99 ± 0,64
Resistência à tração (MPa)	8,71 ± 0	6,89 ± 0	6,68 ± 0,24	5,94 ± 0,04
Resistência de aderência (MPa)	0,75 ± 0,24	0,69 ± 0,11	0,50 ± 0,11	0,31 ± 0,06

Fonte: Autores

A densidade de massa das pastas apresentou uma redução com o aumento do teor de aditivo incorporador de ar. Provavelmente devido à presença

das microbolhas de ar na pasta endurecida, tornando os corpos de prova mais leves. Essa redução foi de 10% para o maior teor analisado (GA-0,075).

Os resultados permitem identificar uma redução na resistência à compressão à medida que se aumenta o teor de aditivo incorporador de ar. Em relação à pasta de referência (GA-0) houve uma redução na resistência em 17%, 25,9% e 36%, respectivamente, para os teores de 0,025%, 0,050% e 0,075%. Esse decréscimo pode estar associado à porosidade proporcionada as pastas.

A NBR 13207 (1994) estabelece um valor mínimo de 8,40 MPa para a resistência à compressão das pastas de gesso, todas as pastas alcançaram valores maiores que o mínimo.

Ainda de acordo com a Tabela 4, também ocorreram reduções na resistência à tração na flexão e resistência de aderência das pastas de gesso com o aditivo incorporador de ar.

Essas resistências não estão especificadas nas normas para gesso. Entretanto para a resistência de aderência foi utilizada a norma de argamassa NBR 13749 (2013), que define para um revestimento interno que receberá acabamento com pintura deve apresentar uma resistência maior ou igual a 0,20 MPa. Conforme esse parâmetro, todas as pastas apresentaram valores acima do limite normativo.

Acerca do processo de execução dos revestimentos, as pastas com aditivo incorporador de ar se mostraram com consistência adequada para aplicação logo após a mistura. No entanto, foi identificado um aumento na viscosidade, o que dificultou a aplicação das pastas de gesso no substrato. O acabamento superficial ficou comprometido, pois essa característica implicou em dificuldades durante a etapa de acabamento proporcionando irregularidades e ranhuras no revestimento. Esse efeito foi mais acentuado, nos teores de aditivo incorporador de ar de 0,05% e 0,075%.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, pode-se concluir:

- O teor de ar não provocou alterações significativas na consistência das pastas;
- O aumento no teor de aditivo incorporador de ar proporciona um aumento no volume de ar nas pastas;
- A resistência mecânica das pastas de gesso reduz com o aumento do teor de ar incorporado, mas ainda assim atende aos valores normalizados;
- Com relação ao processo de execução dos revestimentos, as pastas com aditivo incorporador de ar se mostraram com consistência adequada para aplicação logo após a mistura. No entanto, foi identificado um aumento na viscosidade que dificultou a aplicação das pastas de gesso no substrato;

- O acabamento superficial, também ficou comprometido observande-se dificuldades durante a etapa de acabamento do revestimento. Esses efeitos foram mais acentuados nos teor de aditivo incorporador de ar de 0,05% e 0,075%;
- Foi observada uma redução na resistência de aderência à tração dos revestimentos devido ao aumento do teor de ar incorporado, porém em todas as pastas estudadas os valores de resistêcia de aderência foram superirores ao limite normativo recomendado para argamassas de revestimento;
- A pasta GA-0, que contém menor relação água/gesso e apenas aditivo retardador de pega, apresentou desenvolvimento satisfatório em todos os ensaios mostrando viabilidade para aplicação prática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESB, ao Laboratório de Ensaios de Materiais e Técnicas construtivas (LABMATEC) e ao Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da UNIVASF pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Alternativas para redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo, FINEP, ITQC, PCC, 1998.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. São Paulo, 1999.145p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12128:** Gesso para construção – determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991b.

_____. **NBR 12129**: gesso para construção – determinação das propriedades mecânicas: Rio de Janeiro, 1991c.

_____. **NBR 12130**: gesso para construção civil – determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1991d.

_____. **NBR 13207**: gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13867**: revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro, 1997.

BREITSAMETER, B. **Revestimento interno de paredes e tetos:** Estudo comparativo dos sistemas pasta de gesso e argamassa do tipo massa única. 2012, 77p. Trabalho de Conclusão de Curso - UFRGS, Porto Alegre, 2012.

HINCAPIÉ, A. M.; CINCOTTO, M. A. Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. **Ambiente Construído,** São Paulo, v.1, nº2, p.07-16, jul/dez, 1997b.

ROMANO, R. C. O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 200p. 2013

SANTOS, E. F. S. **Gestão de resíduos sólidos na construção civil "Ciclo do gesso em uma obra de edificação"**. Campina Grande, UEPB, 2012, 36p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EFEITO DO PROCEDIMENTO DE MISTURA NO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO INDUSTRIALIZADAS E PRODUZIDAS EM OBRA[1]

COSTA, Marienne do Rocio de Mello Maron da (1); CAMPOS, Heloisa Fuganti (2); FUKUI, Eiji (3); MARTINS, Eliziane Jubanski (4); CHRISTOFOLLI, Jorge (5); PINTO, Maria Clara (6); BIANCHINI, Maurício (7); SILVA, Sarah Honorato Lopes da (8); ROCHA, Thaísa Mariana Santiago (9); LORIVAL, Vitor (10)

(1) UFPR, e-mail: mariennemaron@gmail.com; (2) UFPR, e-mail: heloisacampos@ufpr.br; (3) UFPR, e-mail: eiji.fukui@vcimentos.com; (4) UFPR, e-mail: elizianej@hotmail.com; (5) UFPR, e-mail: jorgechr@gmail.com; (6) UFPR, e-mail: mclaracavalini@gmail.com; (7) UFPR, e-mail: mauricio@markengenharia.com.br; (8) UFPR, e-mail: sarahhlds@gmail.com; (9) UFPR, e-mail: thaisamsrocha@yahoo.com.br; (10) UFPR, e-mail: vitorlorival86@gmail.com

RESUMO

O comportamento das argamassas é complexo devido à natureza bifásica do material e reativa, além de serem submetidas a diversas solicitações nas etapas de mistura, aplicação e acabamento. O procedimento da mistura anidra com a água conduz a uma série de eventos que irão influenciar a eficiência da desaglomeração e, consequentemente, um teor de incorporação de ar satisfatório. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar o impacto de diferentes procedimentos de mistura nas propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas industrializadas e produzidas em obra. Foi comparado o procedimento de mistura atual adotado pela NBR 13276:2005, onde a argamassa anidra é adicionada à água de amassamento, com o procedimento, geralmente realizado em obra, onde a água de amassamento é adicionada à argamassa anidra, além de comparar a eficiência de misturas mecânicas e manuais. O projeto experimental analisou as seguintes propriedades: teor de ar incorporado e densidade, módulo de elasticidade, resistência à compressão e resistência à tração na flexão. Os resultados mostraram que as argamassas industrializadas produzidas com o procedimento de mistura onde a água é adicionada à argamassa anidra, obtiveram uma maior quantidade de ar incorporado e, consequentemente, uma menor densidade. Quanto ao tipo de mistura, as mecânicas apresentaram menor densidade e maior incoporação de ar, que as manuais. Já para as argamassas produzidas em obra, observaram-se resultados semelhantes para os procedimentos analisados. Quanto aos parâmetros mecânicos analisados no estado endurecido, os resultados foram semelhantes para todas as argamassas.

Palavras-chave: Argamassas. Procedimentos de mistura. Sensibilidade das argamassas.

ABSTRACT

The performance of the mortars is complex due to the biphasic nature of the material and reactive, and are subjected to various stresses in mixing steps, application, finishing. Any changes in the fresh state due to processing generate influences in the hardened state. The procedure of the dry mix with water leads to a series of events that will influence the

[1] COSTA, M.R.M.M.; CAMPOS, H.F.; FUKUI, E.; MARTINS, E. J.; CHRISTOFOLLI, J.; PINTO, M.C.C.; BIANCHINI, M.; SILVA, S.H.L.; ROCHA, T. M. S.; LORIVAL, V.. Efeito do procedimento de mistura no comportamento de argamassas de revestimento industrializadas e produzidas em obra. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016..

efficiency of the deagglomerator and therefore a satisfactory air level of incorporation. In this context, the objective of this study is to evaluate the impact of different types of mixing procedures in two separate mortars: industrialized and mortar produced in construction; and the influence on the properties of these mortars in fresh and hardened state. It compared the actual mixing procedure adopted by NBR 13276: 2005, where the dry mortar is added to the mixing water with the procedure usually performed on site, where the mixing water is added to the dry mortar. The experimental design examined industrialized and facing mortars work produced with procedures mixtures described in the following properties: entrained air content and density, modulus of elasticity, compressive strength, tensile strength in bending and adhesion. The results showed that industrialized mortars produced with the mixing procedure where water is added to the dry mortar, had a higher amount of incorporated air and therefore a lower density, as compared to those produced by the procedure adopted by NBR 13.276. As to the mechanical parameters examined in the hardened state, the results were similar for both types of mortars.

Keywords: *Mortars. mixing procedures. Sensitivity of mortars.*

1 INTRODUÇÃO

A influência no procedimento de mistura das argamassas de revestimento, ou seja, a forma e a ordem que esses materiais serão misturados são fundamentais para o seu desempenho. Nesse procedimento deve existir uma garantia de homogeneidade, a padronização do traço e o controle do consumo de água, que são fatores que deverão influenciar diretamente na obtenção de bons resultados (YANG; JENNINGS, 1995).

Segundo ANTUNES *et al.* (2005), a escolha da forma de mistura, depende da natureza dos componentes a serem misturados. Numa mistura ideal, a pasta de cimento (ou a própria argamassa) deve estar isenta de aglomerados e todas as partículas envoltas em água fazendo com que a mistura tenha tendência a exibir baixa viscosidade facilitando sua utilização.

Uma pasta homogênea, por exemplo, pode ser obtida por um processo que forneça tensão suficiente para quebrar os aglomerados. Logo, é possível entender a afirmação de ANTUNES *et al.* (2005) que relata as propriedades das argamassas para os revestimentos como estando diretamente relacionadas à sua forma de mistura, ou seja, a sequência de mistura e a ordem em que cada material é adicionado são dados importantes a serem considerados.

Nos canteiros de obras, as argamassas geralmente são misturadas de duas formas: manual ou mecânica. Dificilmente uma mistura manual conseguirá atingir o mesmo nível de desaglomeração e incorporação de ar em comparação ao procedimento mecânico. Além disso, ainda é detectada no processo manual uma menor eficiência que contribui com a baixa produtividade do revestimento aplicado. A mecanização no processo de mistura para argamassas representa um avanço na tecnologia das argamassas de revestimento (ROMANO, 2009).

Este fato pôde ser constato por Cardoso (2009) que analisou o comportamento reológicos de duas argamassas produzidas manualmente e mecanicamente. Nessa pesquisa as argamassas misturadas mecanicamente e de forma padronizada apresentaram características reológicas desejáveis

que facilitariam a aplicação prática, enquanto que para a aplicação daquelas produzidas manualmente demandariam maiores esforços.

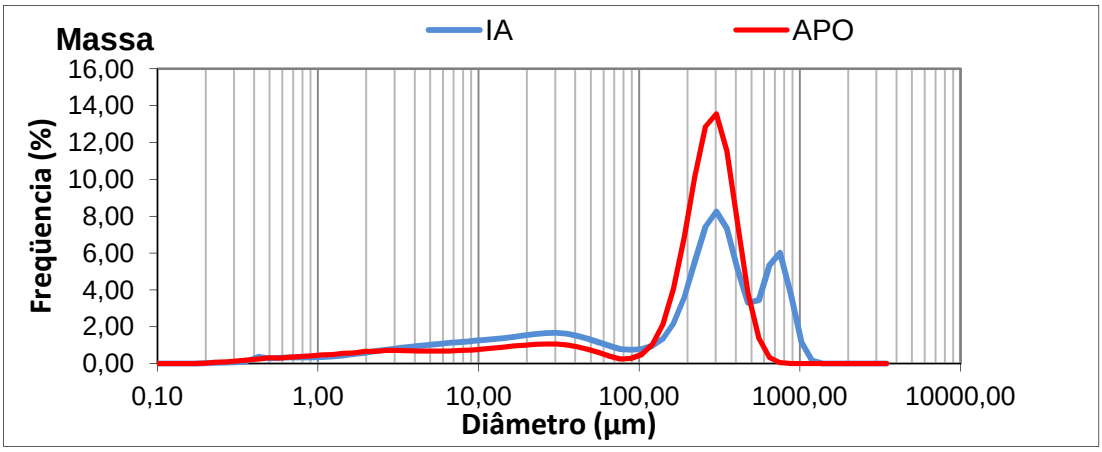
O procedimento de mistura também irá impactar no desempenho no estado endurecido das argamassas. Pois, quando há uma distribuição uniforme das partículas através de um método de mistura adequado, resultando no melhor empacotamento das mesmas, há o aumento da resistência mecânica do material (PARK *et. al.*, 2006). Por outro lado, a incorporação de ar dos sistemas no estado fresco pode resultar em falhas na microestrutura das argamassas comprometendo o desempenho do revestimento.

Desta forma, esse trabalho tem como objetivo avaliar o impacto de diferentes tipos de procedimentos de mistura em dois tipos de argamassas distintas: argamassas de revestimento industrializada e produzidas em obra; e a influência nas propriedades dessas argamassas no estado fresco e endurecido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados para a realização deste estudo dois tipos de argamassas: uma argamassa industrializada (adquirida no mercado e própria para a execução de revestimento) e uma argamassa produzida em obra. A argamassa produzida em obra é constituída de cimento, cal e areia (seca) na proporção em volume 1:2:6, seguindo exatamente a dosagem utilizada na obra onde a mesma foi coletada. Esta argamassa foi recebida para ensaio já com os materiais constituintes sólidos misturados. A dosagem da argamassa industrializada não foi fornecida pelo fabricante por questões de propriedade intelectual e confidencialidade. Na figura 1 está apresentada a curva granulométrica para a caraterização das duas argamassas. A curva granulométrica da argamassa AI é bimodal, enquanto que a da argamassa APO é monomodal.

Figura 1 – Curva granulométrica



As duas argamassas foram preparadas de quatro modos distintos para que

fosse possível avaliar a influência do processo de mistura nas propriedades. Foram adotadas misturas manuais e misturas mecânicas, e alterada a sequência de adição de água na mistura anidra. Os procedimentos realizados, para cada tipo de argamassa, foram os seguintes:

- Mistura manual com água livre (MAL);
- Mistura mecânica do tipo pó na água (PA);
- Mistura mecânica do tipo água no pó (AP);
- Mistura manual com água fixa (MAF).

O emprego da água livre e da mistura manual foi efetuado com o intuito de simular as condições de dosagem de água praticadas em obra. A mistura mecânica foi efetuada em misturador mecânico do tipo planetário com características conforme prescrito na NBR 7.215 (ABNT, 1997). O processo de preparo da argamassa foi efetuado seguindo o prescrito na NBR 13.276 (ABNT, 2005).

A quantidade de água aplicada às argamassas foi determinada de duas maneiras distintas. Para a argamassa industrializada, a quantidade de água utilizada foi a indicada pelo fabricante. Para a argamassa produzida em obra, a água foi adicionada à mistura de acordo com a experiência do pedreiro, ou seja, adicionou-se água à argamassa até que o pedreiro aprovasse a trabalhabilidade da mesma. Dessa forma, as argamassas apresentaram as seguintes relações água/materiais secos (Tabela 1):

Tabela 1 - Identificação das argamassas e as respectivas relações água/materiais secos.

Identificação	Relação água /materiais secos
MAL-APO	0,15
MAL-AI	0,17
PA-APO	0,16
PA-AI	0,16
AP-APO	0,16
AP-AI	0,16
MAF-APO	0,16
MAF-AI	0,16

MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
Fonte: Os autores (2016)

2.1 Estado fresco

Com a argamassa no estado fresco foi efetuada a determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, de acordo com a NBR 13.278 (ABNT, 2005). Os ensaios foram realizados no tempo zero (T0), ou seja, em seguida da produção das mesmas e no tempo 20 minutos (T20), ou seja, a argamassa teve 20 minutos de descanso.

2.2 Estado endurecido

Para cada argamassa produzida foram moldados três corpos de prova prismáticos nas dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme prescrito na NBR 13.279 (ABNT, 2005). Na idade de 28 dias, foram realizados os ensaios de determinação de densidade de massa aparente no estado endurecido - NBR 13.280 (ABNT, 2005); determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica – NBR 15.630 (ABNT, 2009); resistência à tração na flexão - NBR 13.279 (ABNT, 2005); e resistência à compressão - NBR 13.279 (ABNT, 2005).

2.3 Análise estatística

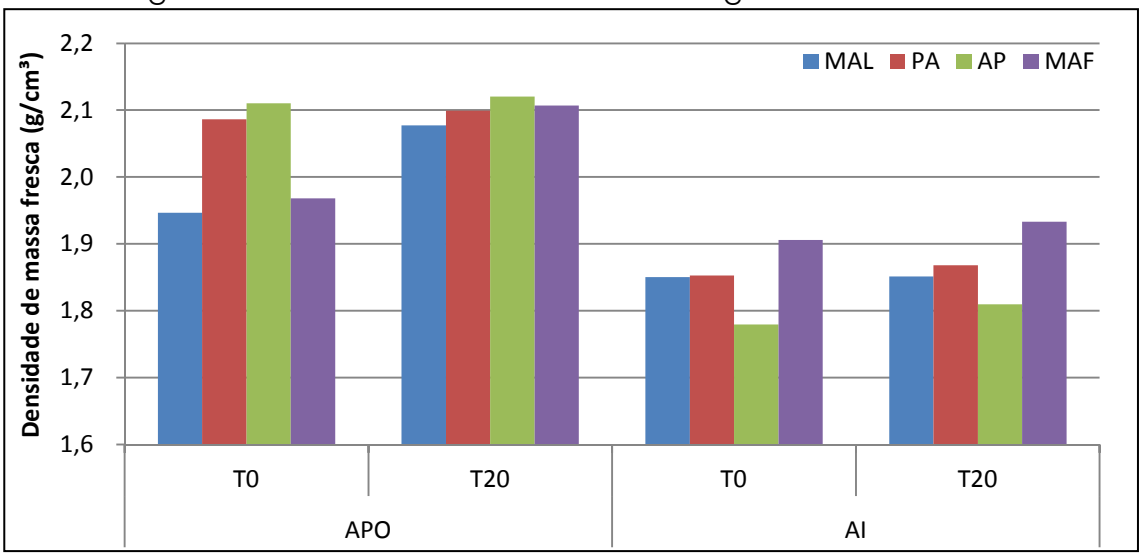
Após a execução dos ensaios, os resultados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando-se o método de Análise de Variância (ANOVA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estado fresco

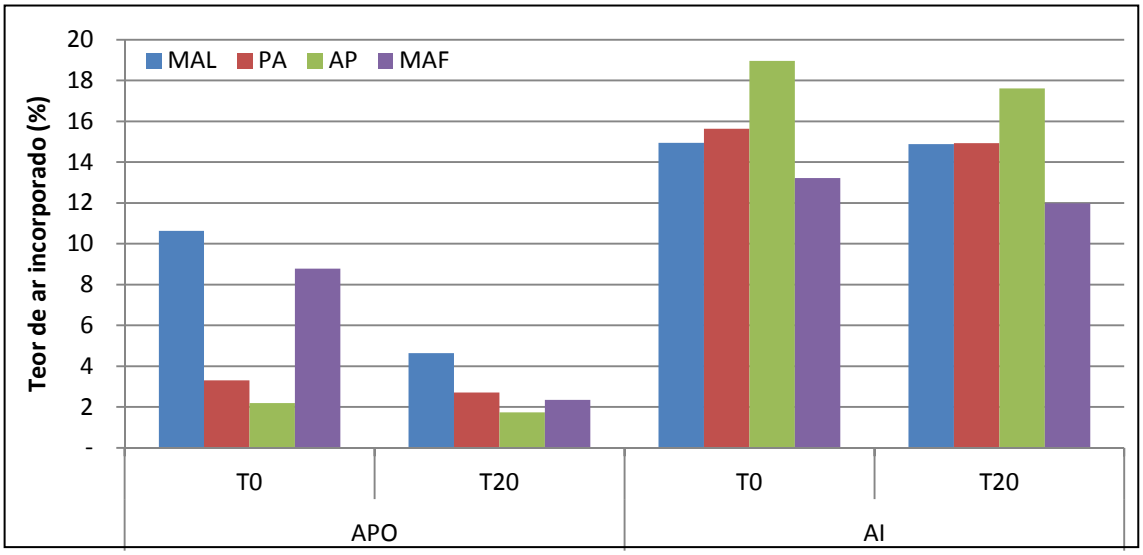
As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados das densidades e do ar incorporado para as argamassas no estado fresco no tempo zero (T0) e no tempo 20 minutos (T20), respectivamente.

Figura 2 - Resultados de densidade das argamassas no estado fresco



MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
T0: Tempo zero
T20: Tempo 20 minutos
Fonte: Os autores (2016)

Figura 3 - Resultados de teor de ar incorporado (%)



MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
T0: Tempo zero
T20: Tempo 20 minutos
Fonte: Os autores (2016)

Observa-se na Figura 2 que a densidade das argamassas produzidas em obra foi superior que as argamassas industrializadas, para todos os tipos de mistura. Isso ocorreu pela maior quantidade de ar incorporado das

argamassas industrializadas, que consequentemente, em um mesmo volume, leva a uma menor densidade e aproximação das partículas. Basicamente, os incorporadores de ar atuam através da criação de pequenas e estáveis bolhas uniformemente distribuídas na argamassa levando a uma diminuição da densidade e um aumento da trabalhabilidade, afirmam Seabra *et al.* (2009).

Por meio da análise de variância, foi possível observar que os resultados não apresentaram diferenças significativas entre si quando analisados os quesitos de tempo de repouso e tipos de mistura. Quando analisado o tipo de argamassa, foi possível verificar que a alteração no tipo de argamassa influenciou no resultado de densidade no estado fresco.

Na Figura 3, comparando a incorporação de ar das argamassas produzidas em obra com as industrializadas, comprova-se a análise anterior, a maior quantidade de ar incorporado das argamassas industrializadas e consequentemente a menor densidade. Segundo Mattana *et al.* (2012), considera-se que, quanto menor o valor da densidade de massa no estado fresco mais favorável, pois se economiza material e quanto maior o teor de ar incorporado, melhor a trabalhabilidade e menor a resistência mecânica.

Nas Figuras 2 e 3, ao comparar os procedimentos de mistura, observa-se que para as argamassas industrializadas as misturas mecânicas apresentaram menor densidade e maior incorporação de ar, já nas argamassas produzidas em obra os valores foram semelhantes. Segundo Romano *et al.* (2010), quando as argamassas são misturadas manualmente, dificilmente é atingido o mesmo nível de desaglomeração e incorporação de ar obtido após a mistura mecânica, devido à menor eficiência. Além disso, a produtividade do revestimento aplicado é mais baixa.

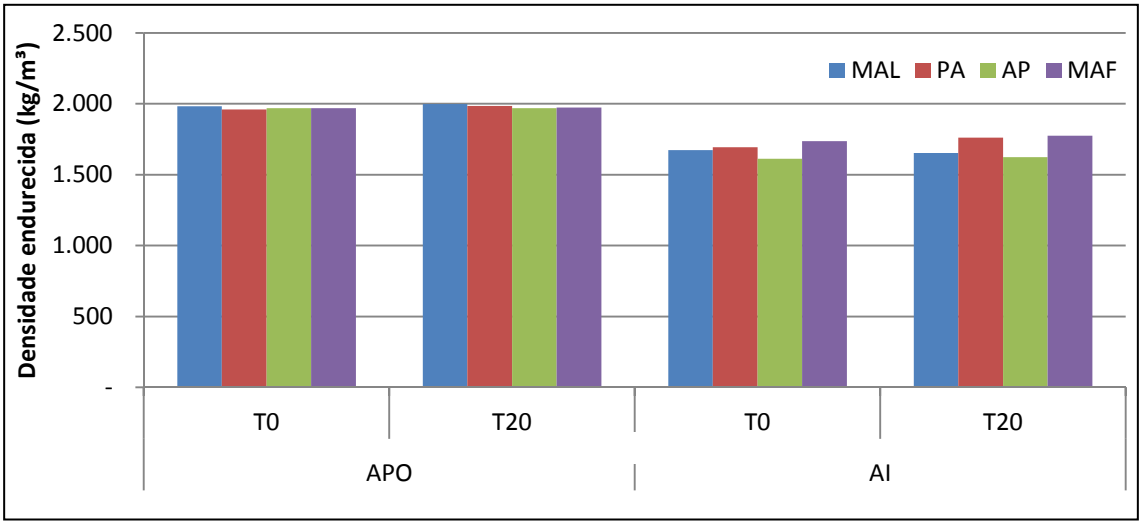
Quanto a analise do procedimento pó na água e água no pó, observa-se que as argamassas industrializadas produzidas com o procedimento de mistura onde a água é adicionada à argamassa anidra, obtiveram uma maior quantidade de ar incorporado e, consequentemente, uma menor densidade, quanto comparadas às produzidas pelo procedimento adotado pela NBR 13.276 (ABNT, 2005). A adição direta de água é menos eficiente que a adição fracionada, pois o misturador não é capaz de fornecer energia suficiente para romper os aglomerados presentes, sendo que, a eficiência da quebra dos aglomerados tem consequência direta sobre o comportamento reológico do material (PILEGGI, 2001). Já para as argamassas produzidas em obra, observaram-se resultados semelhantes para os dois procedimentos.

De acordo com o os resultados obtidos pela análise de variância, o tempo de repouso e o tipo de mistura não exerceram influência significativa sobre o teor de ar incorporado existente nas argamassas. Contudo, ao se analisar o tipo de argamassa, verificou-se que existe uma diferença significativa entre os resultados das argamassas APO e AI.

3.2 Estado endurecido

Nas Figuras 4 e 5 estão apresentadas as densidades das argamassas no estado endurecido e o módulo de elasticidades, respectivamente.

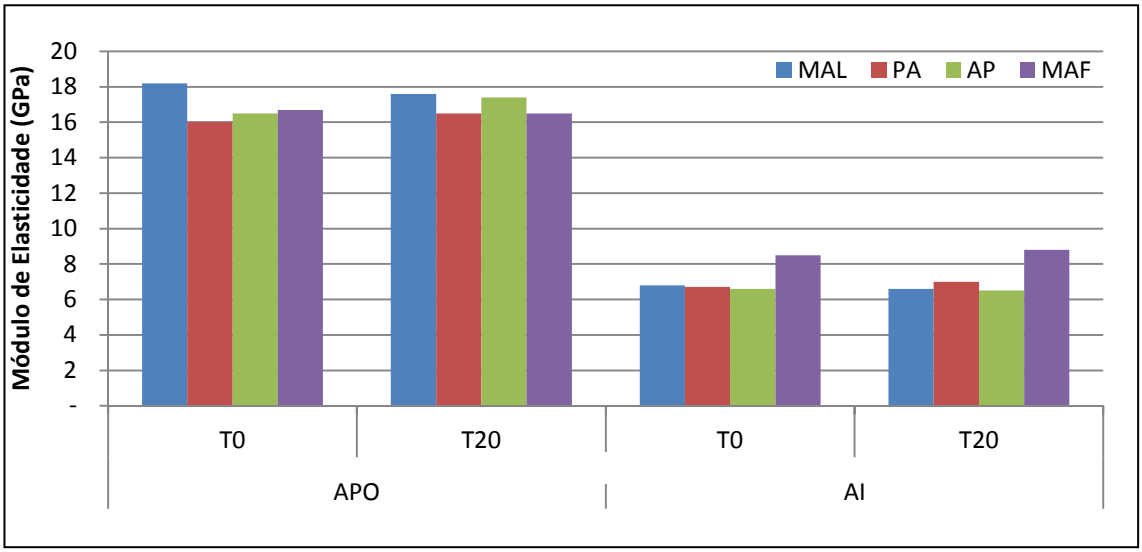
Figura 4 – Resultados de densidade argamassas endurecidas (kg/m³)



MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
T0: Tempo zero
T20: Tempo 20 minutos

Fonte: Os autores (2016)

Figura 5 - Módulos de Elasticidade (GPa)



MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
T0: Tempo zero
T20: Tempo 20 minutos

Fonte: Os autores (2016)É possível verificar que os resultados de densidade no estado endurecido e módulo de elasticidade foram superiores para as

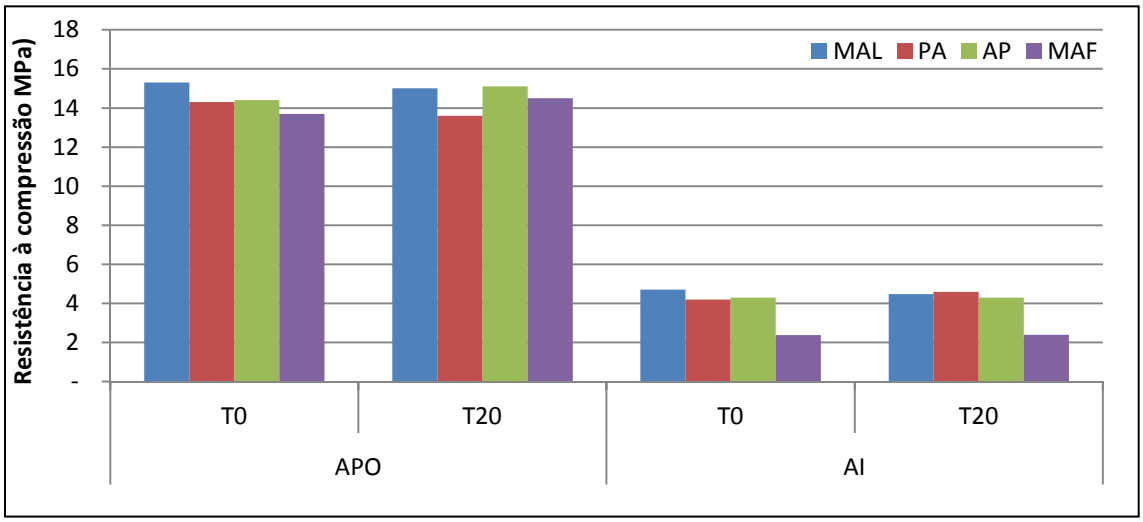
argamassas produzidas em obra e para as misturas manuais. De acordo com Arnold et al. (2009), o acréscimo do módulo de elasticidade é proporcional à diminuição do teor de ar incorporado, e também à densidade de massa aparente da argamassa. Dessa forma, há coerência com os valores de densidade de massa aparente no estado fresco, assim como os valores obtidos na determinação do teor de ar incorporado. O módulo de elasticidade está relacionado com o comportamento elástico a qual a argamassa de revestimento será submetida (ROMANO et al., 2010). Assim, os resultados evidenciam uma boa correlação entre o teor de ar incorporado e o módulo de elasticidade, que se apresentam de maneira inversamente proporcional.

As Figuras 6 e 7 apresentam as propriedades mecânicas das argamassas aos 28 dias. Todos os resultados obtidos estão dentro do desvio relativo máximo de 0,5 MPa para resistência à compressão e de 0,3 MPa para resistência à tração na flexão, de acordo com a NBR13279. É possível verificar que os resultados de resistência à tração na flexão e à compressão foram maiores para as argamassas produzidas em obra. A resistência à tração da argamassa representa o máximo valor que a resistência de aderência pode atingir (ANTUNES, 2005). Stolz (2011) explica que o aumento da quantidade de ar leva ao aumento do índice de consistência e a redução da resistência de aderência, conforme comprovado nos resultados apresentados. Quanto aos procedimentos de mistura pó na água e água no pó, os resultados para as propriedades mecânicas foram semelhantes. Analisando-se os resultados por meio da ANOVA, verificou-se que apenas o tipo de argamassa gerou diferença significativa entre os resultados. Com relação ao tempo de repouso e procedimento de mistura, estes dois fatores não exerceram influência sobre os resultados de densidade e módulo de elasticidade.

Figura 6 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias

MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
T0: Tempo zero
T20: Tempo 20 minutos
Fonte: Os autores (2016)

Figura 7 - Resistência à compressão aos 28 dias



MAL: Mistura manual com água livre
PA: Mistura mecânica do tipo pó na água
AP: Mistura mecânica do tipo água no pó
MAF: Mistura manual com água fixa (MAF)
T0: Tempo zero
T20: Tempo 20 minutos
Fonte: Os autores (2016)

4 CONCLUSÕES

A maior quantidade de ar incorporado em argamassas industrializadas, devido à presença de aditivos incorporadores de ar, gera menor aproximação entre partículas, portanto, para um mesmo volume, a densidade é menor que em argamassas dosadas em obra. O maior teor de ar incorporado levará a economia de material, melhor trabalhabilidade e menor resistência mecânica, geralmente.

Argamassas misturadas manualmente, normalmente, não alcançam mesmo nível de desaglomeração das misturas mecânicas, o que resultará em uma menor produtividade do revestimento. Nota-se que as argamassas industrializadas, que já possuem aditivos incorporadores de ar, apresentaram-se sensíveis ao procedimento de mistura, sendo que as misturas mecânicas apresentaram menor densidade e maior incorporação de ar. Já nas argamassas produzidas em obra, que não dispunham de aditivos, os valores foram semelhantes para ambos os métodos.

Como analisado na bibliográfica o procedimento de mistura adotado é fundamental para o desempenho das argamassas de revestimento. A sequência de mistura apresenta forte influência no desempenho de estado fresco de argamassas industrializadas. Estas, misturadas sob sequência onde a água é adicionada à argamassa anidra (água no pó), obtiveram maior índice de ar incorporado e menor densidade que aquelas misturadas segundo a sequência da norma NBR 13.276 (ABNT, 2005) (pó na água). Isso se deve pela incapacidade de o misturador mecânico fornecer energia suficiente para romper a aglomeração da mistura sob fornecimento parcial de água. Em contrapartida, para argamassas dosadas em obra, os

resultados se apresentaram semelhantes, provavelmente pela não presença de aditivos incorporadores de ar.

Dessa forma, conclui-se para as propriedades no estado fresco que mesmo as argamassas industrializadas, que possuem aditivos incorporadores de ar nas formulações, são sensíveis ao procedimento de mistura. Quer seja na análise da mistura mecânica ou manual, quer na ordem em que os materiais são adicionados, água no pó, ou pó na água.

As argamassas produzidas em obra obtiveram maiores resultados de densidade no estado endurecido e módulo de elasticidade, explicado pelo fato de que o acréscimo do módulo de elasticidade é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado e à densidade de massa aparente. Também obtiveram os maiores resultados de resistência à tração na flexão e à compressão, o que leva a dizer que o acréscimo de ar incorporado gera menor resistência à aderência da argamassa. Quanto à sequência de mistura, os resultados para as propriedades mecânicas foram semelhantes.

Dessa forma, observa-se, como o esperado, a correlação entre as propriedades no estado fresco e no estado endurecido, principalmente para as argamassas industrializadas. Os procedimentos de mistura que favorecem uma homogeneização e dispersão mais adequada no estado fresco, conduzem a resultados satisfatórios de desempenho mecânico no estado endurecido.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. P. N. Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. Tese Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215** - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 13276** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de Resistência à Tração na Flexão e a Compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13280** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15630** – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação

de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro 2009.

ANTUNES, R. P. N., JOHN, V., PILEGGI, R. G. Propriedades Reológicas De Argamassas Avaliada Por Squeeze-Flow. **VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas,** 2005.

ARNOLD, D. C. M; KAZMEIRCZAK, C. S. Influência da distribuição granulométrica do agregado miúdo e do teor de fíler nas propriedades de argamassas com areia de britagem. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 2009.

CARDOSO, F. A. **Método de Formulação de Argamassas de Revestimento Baseado em Distribuição Granulométrica e Comportamento Reológico**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

FRANÇA, M. S. de; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Influência do procedimento de mistura em laboratório nas propriedades de argamassas. **Revista Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, 2013.

MATANA, A. J; MEDEIROS, M. H. F de; DA SILVA, N. G da; COSTA, M. do R. de M. M. da. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimentos. **Revista Ambiente Construído,** v. 12, n.4, 2012.

PARK, K. B.; PLAWSKY, J. L.; LITTMAN, H.; PACCIONE, J. D. Mortar properties obtained by dry premixing of cementitious materials and sand in a spout-fluid bed mixer. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 728 – 734, 2006.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, 2001.

ROMANO, R. C. O et al. Impacto do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas. **Revista Ambiente Construído**, v.9, n.4, 2009.

ROMANO, R. C. O. *et al.* Efeito do Procedimento de Mistura nas Características de Argamassas de Revestimento Industrializadas. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., Lisboa, 2010. **Anais…** Lisboa: ANTAC, 2010.

SEABRA, M. P; Paiva, H.; Labrincha, J.A; Ferreira, V. M. Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime based mortars. **Construction and Building Materials.** V. 23, 2009.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

YANG, M.; JENNINGS, H. M. **Influences of mixing methods on the microstructure and rheological behavior of cement paste**. Adv. Cem Bas Mat, 2, 1995, pp 70-78.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

COMPORTAMENTO ELÁSTICO DE ARGAMASSAS COM AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO [1]

FERREIRA, G. C. S.(1); SARRO, W. S.(2); ROCHA, H. L.(3); BUENO, G. M.(4); CARNIN, R. L. P.(5)

(1) UNICAMP, e-mail: gisleiva@ft.unicamp.br; (2) UNICAMP, e-mail: lely.sarro@hotmail.com; (3) UNICAMP, e-mail: hlr.henriquelima@gmail.com; (4) UNICAMP, e-mail: biel_5a@hotmail.com; (5) UDESC, e-mail: raquel@tupy.com.br

RESUMO

Atualmente há vários esforços governamentais, privados e da comunidade científica em reduzir o impacto ambiental do setor da construção civil. Neste contexto, estão inseridas as argamassas, material com grande consumo de recursos naturais não renováveis (areia, cimento Portland, cal, terra). Para contribuir na mitigação dos impactos causados por este setor produtivo e ainda minimizar os impactos oriundos de outros setores industriais, o objetivo deste trabalho foi viabilizar a incorporação do resíduo areia descartada de fundição (ADF) em argamassas, considerando parâmetros elásticos. Foram considerados traços de argamassas de assentamento com incorporação de duas amostras distintas de ADF nos teores de 0% (referência), 50% e 80%. Os resultados obtidos indicaram a melhoria da deformação destas argamassas com base nos valores de módulo de elasticidade da argamassa referência, sendo esta propriedade um dos parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho de argamassas. Este trabalho relata os estudos parciais deste grupo de pesquisa, o qual pode contribuir na melhoria da gestão dos recursos naturais e resíduos sólidos gerados pelos setores produtivos correlatos. O Desenvolvimento deste trabalho obteve apoio da maior fundição do Brasil, localizadas em Joinville, SC e CNPq.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Sustentabilidade. Desempenho.

ABSTRACT

There are currently various government, private efforts and the scientific community to reduce the environmental impact of the construction industry. In this context, mortar, material with high consumption of non-renewable natural resources are embedded (sand, Portland cement, lime, soil). To help mitigate the impacts of this productive sector while minimizing the impacts arising from other industrial sectors, the objective was to enable the incorporation of waste discarded sand casting (ADF) in mortars, considering elastic parameters. They were considered laying mortar incorporating features from two different samples in ADF content of 0% (reference), 50% and 80%. The results indicated an improvement of the deformation of these mortars based on modulus of elasticity reference values, this property being one of the most important parameters for evaluating the performance of mortars. This paper reports the partial studies of this research group, which can contribute to improving the management of natural resources and solid waste generated by the related productive sectors. The development of this work received support from the largest foundry in Brazil, located in Joinville, SC and CNPq.

[1] FERREIRA, G. C. S *et al*. Comportamento elástico de argamassas com areia descartada de fundição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Solid Waste. Sustainability. Performance.*

1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos sólidos em áreas que apresentam alto consumo de recursos naturais não renováveis é uma tarefa que compreende todo o planeta. Neste contexto está inserido o setor da construção civil, que atualmente consome praticamente 50% dos recursos minerais retirados da crosta terrestre (CBCS, 2016). Diversas empresas deste setor já realizam a inserção de vários tipos de resíduos com potencial de reaproveitamento, por exemplo, a indústria cimenteira (ABCP, 2016).

Neste sentido, há diversos estudos para viabilizar a substituição da areia quartzosa, uma das matérias-primas mais consumidas durante uma construção e já escassa em diversas regiões, por resíduos de origem mineral. De encontro com a problemática exposta, há pesquisas atuais sobre a viabilidade da utilização da areia descartada de fundição (ADF) como agregado em matrizes cimentícias, principalmente em concretos e artefatos de concreto (SIDDIQUE et al., 2015; MASTELLA et al., 2014; WATANABE et al, 2006).

Entretanto, a aplicação deste resíduo em argamassas de assentamento e revestimento, um dos materiais mais utilizados nos sistemas construtivos brasileiros, ainda necessita de estudos aprofundados. Para isso, é necessário identificar o desempenho de argamassas com incorporação da ADF, considerando fatores ambientais, técnicos e econômicos, para que as indústrias deste setor forneçam este tipo de material ao mercado.

A areia descartada de fundição, resíduo oriundo da fundição de peças metálicas, pode apresentar características físico-químicas e ambientais distintas, dependendo do processo de fundição que lhe deu origem. Isto ocorre porque as indústrias de fundição utilizam alguns tipos de adições à areia, dependendo do tipo de liga metálica e complexidade da peça a ser moldada, as quais podem ser de origem inorgânica ou orgânica (KLINSKY et al., 2012).

Alguns estudos sobre ADF em argamassas confirmam a viabilidade na incorporação deste resíduo neste tipo de matriz cimentícia, entretanto, todos destacam a necessidade de também verificar aspectos ambientais (FERREIRA et al., 2014; PHILIPPSEN, 2010; SILVA et al, 2011; PEREIRA et al, 2000). Considerando esta particularidade, o resíduo ADF é indicado para matrizes cimentícias, pois possibilitam o encapsulamento do mesmo, evitando a possibilidade de contaminação de seres humanos e do ambiente (PIMRAKSA et al., 2013).

Portanto, para resolver as pendências que ainda existem para a produção em escala industrial de argamassas de assentamento e revestimento utilizando a ADF como agregado, são necessários muitos estudos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento elástico de argamassas com ADF a partir do módulo de elasticidade. A norma brasileira que descreve os requisitos necessários às argamassas de

assentamento e revestimento (NBR 13281:2005), não insere nos seus requisitos o módulo de elasticidade, propriedade essencial para prever o comportamento deste material como revestimento em vários tipos de substratos (tijolos cerâmicos, blocos de concreto, paredes de concreto, etc). Esta deficiência é destacada por importantes pesquisadores desta área (ALVES et al., 2010).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização física dos materiais

A amostra de Areia Descartada de Fundição (ADF) empregada neste estudo é um resíduo industrial proveniente de empresa de fundição sediada no estado de Santa Catarina. As duas amostras de areia (ADF e comum) foram submetidas a ensaios de caracterização física (tabela 1). A amostra de ADF também foi classificada conforme parâmetros ambientais (classificação de resíduos sólidos e toxicidade) e determinada a sua composição química (tabela 1).

Tabela 1 – Ensaios para caracterização físico-química e ambiental dos materiais.

Ensaios	ADF	Areia Comum
Fluorescência de Raios X (FRX)	X	
Classificação ambiental (NBR 10004:2004)	X	
Toxicidade Microtox (L5.227-CETESB, 2001 e NBR 15411-3:2012)	X	
Massa específica e Massa específica aparente (NBR NM 52:2009)	X	X
Massa específica unitária (NBR NM45:2006)	X	X
Curva granulométrica (NBR NM248:2003)	X	X

2.2 Estudo de Dosagem

O traço aplicado na moldagem dos corpos de prova de referência (0%) foi de 1: 3,2: 0,5 (cimento : areia : a/m) com adição de aditivo incorporador de ar (2 ml por kg de cimento) e ajuste da relação água/material seco (a/m) para manter o índice de consistência e trabalhabilidade das argamassas quando da adição do resíduo ADF. Os teores de substituição da areia normal por ADF foram 50% e 80%, conforme resultados obtidos por pesquisadores que utilizaram outras amostras de ADF na produção de argamassas (SILVA *et al.,* 2011; FERREIRA et al., 2014; SARRO *et al.,* 2015*)*.

2.3 Moldagem

Para atingir os objetivos propostos, obter os módulos de elasticidade (E), foram moldados dois tipos de corpos de prova: prismáticos (40 mm de seção

transversal e 160 mm de comprimento), conforme NBR 13279:2005 e cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (NBR 7215:1996). Assim foi possível obter **E** a partir de ensaios de tração à flexão e de compressão simples (figuras 1 e 2). Para cada teor de substituição (0%, 50% e 80%), idade (7, 28, 56 e 120 dias) e tipo de corpo de prova, foram moldadas 3 repetições, totalizando 72 copos de prova.

Figura 1 – Fôrmas para os corpos de prova prismáticos



Figura 2 – Fôrmas para os corpos de prova cilíndricos



2.4 Caracterização Mecânica

Para verificar as características das argamassas ainda no estado fresco, foram realizados ensaios pelo método Flow table (NBR 13276:2005), a qual determina a consistência normal das argamassas, o que pode ser traduzido como a trabalhabilidade apresentada pelas mesmas durante a aplicação. Neste trabalho optou-se por manter a consistência das argamassas, variando a relação água/material seco conforme teor de ADF.

Após 7, 28, 56 e 120 dias de cura, os corpos de prova cilíndricos e prismáticos foram submetidos aos ensaios de compressão simples (NBR 7215:1996) com determinação do módulo de elasticidade E (NBR 8522:1982) e tração à flexão e compressão, segundo a NBR 13279:2005, com determinação do módulo de deformação na ruptura (MOR). Para a realização destes ensaios foi utilizada a máquina universal de ensaios modelo DL 30000 (EMIC) (Figura 3 e 4) que permite a medição das deformações e deslocamento verticais com sensores acoplados aos corpos de prova. Os cálculos dos módulos de elasticidade (E) e módulos de ruptura (MOR), foram realizados segundo as equações 1 e 2, respectivamente.

Após a realização dos ensaios, os resultados foram analisados estatisticamente com o auxílio de um Software (Statgraphics Centurion, versão XV).

Figura 3 – Compressão simples em corpos de prova cilíndricos com determinação da deformação.

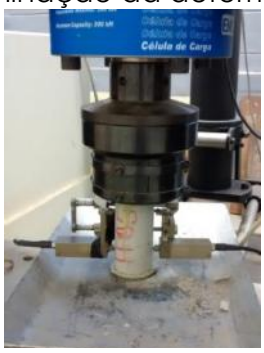


Figura 4 – Tração à flexão em corpos de prova prismáticos com determinação do deslocamento vertical.



$$E_{compressão} = \frac{\left(\sigma_{30\%P_{rup}} - 0{,}5_{MPa}\right)}{\left(\varepsilon_{30\%P_{rup}} - \varepsilon_{0{,}5MPa}\right)} \quad (1)$$

$$E_{flexão} = \frac{\left(P_{rup} \times L^3\right)}{\left(4 \times f \times b^4\right)} \quad (2)$$

Onde:
P_{rup} = Carga de Ruptura (N)
L= Vão livre durante o ensaio (100 mm)
f = Deslocamento vertical do corpo de prova durante o carregamento (mm)
b = Largura do corpo de prova (40 mm)
$\sigma_{30\%}$= 30% da carga de ruptura
$\sigma_{30\%}$ e $\sigma_{0,5MPa}$= Deformação específica, respectivamente, 30% da carga de ruptura e carga de ruptura igual a 0,5 MPa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

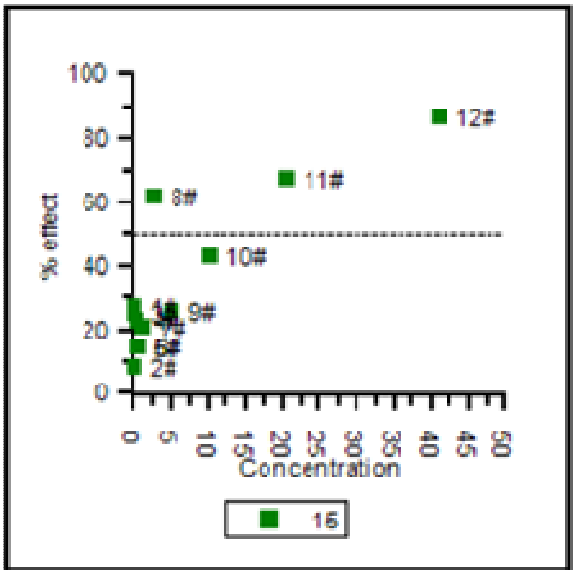
3.1 Caracterização físico-química e ambiental dos materiais

Sobre parâmetros ambientais, segundo a NBR 10004:2004, a amostra de ADF foi classificada como II-A (não perigoso e não inerte), o que viabiliza a aplicação em argamassas. Segundo Ferreira et al., (2014), a legislação internacional sobre limites de alguns metais em águas e solos, indica limites superiores aos encontrados na amostra de ADF estudada.

Para obter todos os parâmetros exigidos por órgãos ambientais, foram realizados ensaios de toxicidade, utilizando a metodologia de análise do teste de toxicidade aguda Microtox™ (L5.227-CETESB, 2001), a qual estabelece que a redução de acima de 20% da emissão de luz pela bactéria bioluminescente *Vibrio fischeri* é um indicativo de toxicidade da amostra (Figura 5). Os resultados indicaram que a amostra de ADF em

questão pode apresentar toxicidade, isto é, contaminação aos seres vivos. Entretanto, são necessários mais estudos, por exemplo, a determinação dos teores de metais pesados para confirmar estes resultados. Também é importante salientar que os ensaios foram realizados na massa bruta (amostra pura), situação que não se mantém nas argamassas, nas quais foram utilizadas no máximo 80% de ADF. Além disso, a matriz cimentícia neutraliza as possibilidades de contaminação por lixiviados devido o efeito de encapsulamento (PIMRAKSA et al., 2013; SIDIQUE et al., 2014).

Figura 5 – Resultados dos ensaios de toxicidade Microtox



No ensaio de FRX (Fluorescência de Raios X) obteve-se a composição química quantitativa da amostra (tabela 2). Com os resultados verifica-se que a amostra de ADF é composta basicamente por elementos químicos presentes em material quartzoso, isto é, sílica (SiO_2), com 72%. Ao compararmos estes resultados com Siddique et al. (2010), apresentados também na tabela 2, observa-se a identificação dos mesmos elementos químicos, sendo os teores bem próximos.

Tabela 2 – Composição química da amostra de ADF a partir do ensaio de FRX realizado na amostra bruta.

Elemento	**ADF (%)**	**ADF***
SiO_2	71,46	87,91
Al_2O_3	18,38	4,70
SO_3	2,35	0,09
Fe_2O_3	2,25	0,94
CaO	1,02	0,14
Cr_2O_3	0,73	___
K_2O	0,20	0,25
TiO_2	0,18	0,15

*Resultados do ensaio de FRX de Siddique et al. (2010)

Os resultados obtidos na caracterização física da ADF e areia comum descritos na tabela 3 indicaram que a ADF pode ser considerada, segundos aspectos físicos, como agregado miúdo para argamassas. Os valores dos índices físicos foram praticamente iguais, apresentando diferença acentuada em relação à massa específica da ADF (2,85 g/cm^3). Este valor pode ser justificado pela presença de óxidos de ferro e alumínio, com teores de 2,3% e 18,4%, respectivamente (tabela 2).

Em relação à massa unitária, os dois materiais (areia comum e ADF) podem ser consideradas iguais (tabela 3). Este resultado também corrobora as pesquisas de Siddique et al. (2010), que caracterizaram 17 amostras distintasde ADF, obtendo valores para a massa unitária entre 1,05 e 1,55 g/cm^3.

Tabela 3 – Caracterização Física das amostras de ADF e Areia Comum

Ensaio	**Massa específica (g/cm³)**	**Massa Esp. Aparente seca (g/cm³)**	**Massa unitária (g/cm³)**
ADF	2,85	2,57	1,48
Areia comum	2,63	2,58	1,50

Em relação à granulometria dos agregados miúdos utilizados (areia comum e ADF) (Tabela 4), verifica-se que os dois materiais obtiveram a mesma classificação granulométrica (zona utilizável inferior), o que contribui para viabilizar a aplicação desta amostra de resíduo como agregado miúdo em argamassas. Outros autores classificaram igualmente as amostras de ADF utilizadas nas respectivas pesquisas (FERREIRA et al., 2014; SILVA et al., 2011).

Tabela 4 – Caracterização granulométrica das amostras de areia comum e ADF.

Material	**Módulo de Finura (MF)**	**Dimensão máxima (mm)**	**Classificação**
ADF	1,31	0,6	Zona utilizável inferior
AREIA COMUM	1,7	1,2	Zona utilizável inferior

3.2 Caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido

3.2.1 Índice de Consistência

Admitindo-se que o índice de consistência normal de uma argamassa deve ser 260 mm, com variação de ± 10 mm (NBR 13276:2005), apenas o traço com 0% ADF (referência), manteve a relação água/material seco em 0,5. Os traços com incorporação de ADF tiveram esta relação alterada para 0,8. Isto ocorreu devido à granulometria apresentada pela amostra de ADF, com maior porcentagem de finos, o que representa maior área superficial dos grãos, resultando na necessidade de maior volume de água para envolvê-los (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Segundo relato de outros autores, esta propriedade depende também da origem do resíduo, que está ligada ao

tipo de peça fundida e processo de fundição (GUNEY et al., 2010; ETXEBERRIA et al., 2010)

3.2.2 Ensaios de resistência mecânica

Conforme o tipo de corpo de prova, foram realizados os ensaios para determinar o comportamento mecânico das argamassas com ADF. As figuras 6 a 9 apresentam os resultados de resistência á compressão média dos corpos de prova cilíndricos e respectivos módulos de elasticidade.

Figura 6 – Resistência a compressão dos corpos de prova cilíndricos para ruptura aos 7 e 28 dias

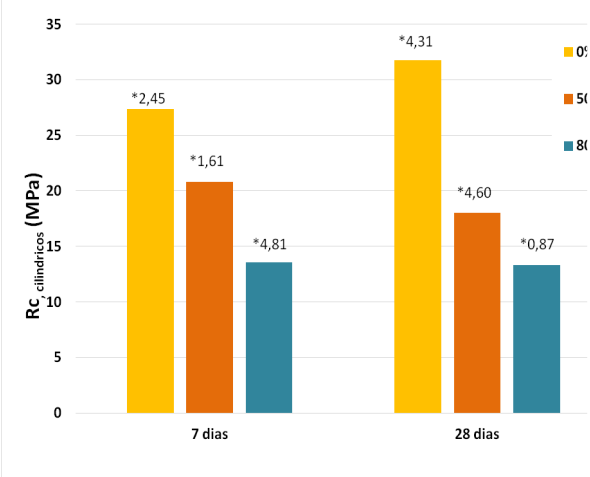
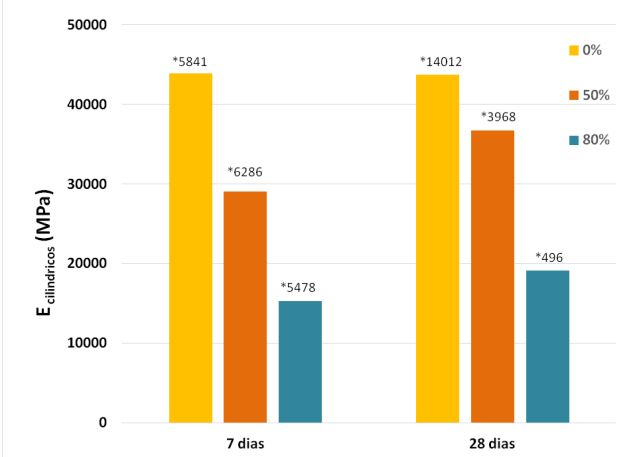


Figura 7 – Módulo de elasticidade dos corpos de prova cilíndricos para ruptura aos 7 e 28 dias



*Desvio Padrão (MPa)

Figura 8 – Resistência à tração na flexão(Rt) dos corpos de prova prismáticos para ruptura aos 7 e 28 dias

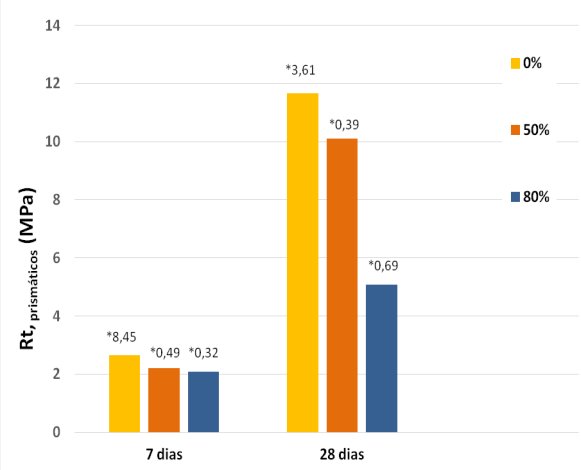
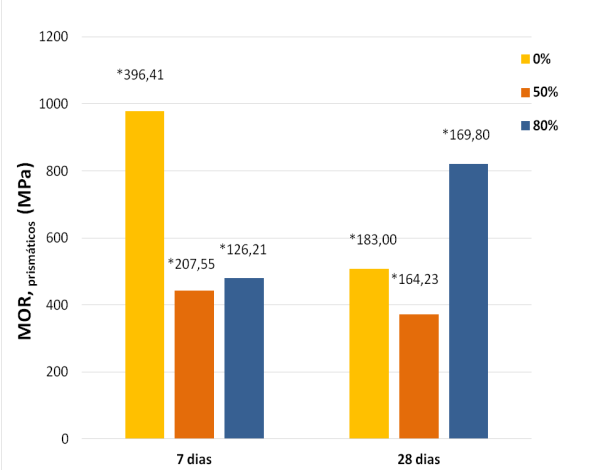


Figura 9 – Módulo de ruptura (MOR) dos corpos de prova prismáticos para ruptura aos 7 e 28 dias



*Desvio Padrão

Conforme os requisitos descritos na NBR 13281:2005, os traços com incorporação de ADF (50% e 80%) foram classificados como argamassas tipo III (Rc ≥ 8 MPa) para a idade de 28 dias, mesma classificação do traço referência (0% de ADF). Entretanto, tanto nos corpos de prova cilíndricos como dos prismáticos, verifica-se uma redução na resistência conforme o aumento do teor de ADF. A principal justificativa para este comportamento é a necessidade do aumento da relação água/materiais secos para manter a trabalhabilidade das argamassas com ADF (0,5 para 0,8), o que prejudica o comportamento mecânico devido à redução na proporção cimento:material seco, aumento do teor de vazios e redução da densidade das argamassas.

Como consequência, os módulos de elasticidade (corpos de prova cilíndricos) e de ruptura (corpos de prova prismáticos) dos traços com ADF também apresentaram valores menores. Este comportamento não pode ser considerado como prejudicial se avaliarmos que estes tipos de argamassas (assentamento de alvenarias e revestimento de paredes e tetos) são expostas às deformações excessivas durante sua vida útil, consequência das largas faixas de variações térmicas e de acomodação do substrato. Tal comportamento exige maiores deformações em um mesmo intervalo de tensões, o que resulta em módulos de elasticidade menores.

4 CONCLUSÕES

Com este trabalho verificou-se que até o teor de 50%, é possível substituir a areia comum por areia descartada de fundição (ADF), considerando as características ambientais da amostra do resíduo utilizado e os requisitos mecânicos citados na NBR 13281:2005. A incorporação desta ADF em argamassas de assentamento e revestimento reduziu os valores dos módulos de elasticidade (E) e de ruptura (MOR), entretanto, tal efeito pode ser considerado benéfico se avaliarmos o desempenho das mesmas às variações térmicas e intempéries.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15411**: Ecotoxicologia aquática — Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão da bioluminescência de Vibrio fischeri (ensaio de bactéria luminescente) – Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 7215**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. <http://www.abcp.org.br/>. Acesso em: ABR de 2016.

ALVES, A.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio. In: **3 Congresso Português de Argamassas de Construção**, Lisboa, 13 p., 2010.

CBCS – Conselho Brasileiro da Construção Sustentável. <http://www.cbcs.org.br/>. Acesso em: ABR de 2016.

CETESB. L5.227 - Teste de toxicidade com a bactéria luminescente Vibrio fischeri: Método de ensaio, 2001.

ETXEBERRIA, M.; PACHECO, C.; MENESES, J. M.; BERRIDI, I. Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates. **Construction and Building Material,** v. 24, p.1594–600, 2010.

FERREIRA, G.C.S.; BUENO, G. M.; DOMINGUES, L. G. F. Bedding mortar with waste foundry sand (WFS). In**: 4th International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management**, 2014, p. 1-9.

KLINSKY, L. M. G.; BARDINI, V. S. S.; FURLAN, A. P.; FABRI, G. T. P. (2012). Reaproveitamento de areia de fundição residual em misturas de areia asfalto usinada a quente. **Transportes**, v. 20 – 4, p. 27-34.

MASTELLA, M. A.; GISLON, E. S.; PELISSER, F.; RICKEN, C.; SILVA, L.; ANGIOLETTO, E.; MONTEDO, O. R. K. (2014). Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand. **Waste Management**, v. 34, p. 1495-1500.

MEHTA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: **Editora Pini**, 2008.

PEREIRA, R.L.; SCHMIDT, A.E.; ALMEIDA, N.H.C.; VERRAN, G.O. Utilização de resíduo de areia verde de fundição na preparação de argamassa para aplicação na construção civil. In: **Congresso em Ciência de Materiais**, 2000, Joinville. Anais. Joinville: 2000. 53

PHILIPPSEN, R. E LUZ, C. A. Utilização da areia artificial e areia de fundição em argamassas. In: **XIV SICITE - Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica**, 06 a 08 de outubro de 2010, Cornélio Procópio, PR.

PIMRAKSA, K.; CHINDAPRASIRT, P.; HUANJIT, T.; TANG, C.; SATO, T. (2013). Cement mortars hybridized with zeolite and zeolite-like materials made of lignite bottom ash for heavy metal encapsulation. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 31-41.

SARRO, W. S.; CARDOSO, S. M. ; DOMINGUES, L. G. F. ; ROCHA, H. L. ; BUENO, G. M. ; FERREIRA, G. C. S. . Parâmetros Ambientais e Mecânicos de Argamassas com ADF. **IV SIRS – Simpósio sobre resíduos sólidos** da USP São Carlos, 2015.

SIDDIQUE, R.; SINGH, G. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, Issue 11, p. 885-892, ISSN 0921- 3449, 2011.

SIDDIQUE, R.; SINGH, G.; BELARBI, R.; AIT-MOKHTAR, K.; KUNAL. (2015). Comparative investigation on the influence of spent foundry sand as partial replacement of fine aggregates on the properties of two grades of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 83, p. 216-222.

SILVA, W. R. L.; TOCHETTO, E.; PRUDÊNCIO JR., L. R.; OLIVEIRA, A. L. Influência do emprego de areia de fundição residual nas propriedades no estado fresco e endurecido de misturas cimentícias. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 4, n° 4, p. 642-662, 2011.

STATPOINT TECHNOLOGIES – Statgraphics Centurion, versão VI, software estatístico. **http://www.statgraphics.com/.**

WATANABE, F. A.; NASCIMENTO, M. R.; GEMELLI, E.; CAMARGO, N. H. A. (2006). Caracterização de pavimentos de concreto fabricados em equipamentos industriais com a adição de areia de fundição. In: **17 CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 13 p., 15 a 19 nov., Foz do Iguaçú, PR.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ADITIVO RETARDADOR A PARTIR DA MUCILAGEM DA PALMA FORRAGEIRA NA PASTA DE GESSO: ANÁLISE DO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO[1]

MONTEIRO, Aline G. S. (1)

(1) UFPB, e-mail: alinegsm_@hotmail.com

RESUMO

O revestimento à base do gesso possui agilidade e fácilidade na sua aplicação. Atualmente está sendo bastante utilizado devido ao seu baixo custo, no entanto, a execução deste revestimento gera um enorme volume de resíduos devido a alta velocidade de endurecimento, porém não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que possibilitem a sua reutilização. Para reduzir os resíduos gerados pela confecção do gesso é necessário a adição de um aditivo retardador que propicie aumento no tempo de pega, fornecendo mais tempo de trabalhabilidade do produto. Diante essa situação o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um aditivo retardador plastificante para pasta de gesso à partir da mucilagem da Palma Forrageira *Opuntia Ficus Indica*. Para atingir esses objetivos foi analisado dados bibliográficos e posteriormente elaborado ensaios de tempo de pega com a utilização do aparelho de Vicat e ensaio de compressão para avaliar sua ação de resistência mecânica. A avaliação do tempo de pega confirmou sua ação retardadora, contudo, no ensaio de resistência à compressão, quanto menor a porcentagem utilizada do aditivo, maior a resistência. Com base nos resultados, pode-se concluir que o aditivo é viável para ser utilizado como retardador e plastificante, reduzindo os resíduos desse material na construção civil.

Palavras-chave: Gesso. Resíduos. Aditivo Retardador.

ABSTRACT

The coating based plaster has agility and ease in application. It is currently being widely used due to its low cost, however, the execution of this coating generates a huge amount of waste due to high rate of hardening, but have not developed technologies or economically viable applications that enable their reuse. To reduce the waste generated by the production of gypsum adding a retarder additive is needed that provides increased setting time, providing longer workability of the product. Faced with this situation the present work aims to develop a plasticizer retardant additive for gypsum slurry from the mucilage Forager Opuntia Ficus Indica Palma. To achieve these goals was analyzed bibliographic data and further elaborated setting time tests using the Vicat apparatus and compression test to assess their strength of action. The setting time of the evaluation confirmed their retarding action, however, the compressive strength test, the lower the percentage of the additive used, the greater the resistance. Based on the results, it can be concluded that the additive is feasible to be used as fire retardant and plasticizer, reducing waste of such material in construction.

[1] MONTEIRO, Aline G. S. Influência da adição de aditivo retardador a partir da mucilagem da palma forrageira na pasta de gesso: análise do tempo de pega e resistência à compressão. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Plaster. Waste. Retardant additive*

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a ABNT (1994), gesso para construção é o "material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores do tempo de pega".

Com a separação do gesso dos demais resíduos da construção, ele obtém as características químicas da gipsita, podendo voltar à cadeia produtiva. Desde 1990 estudos vêm sendo feitos para encontrar métodos de reciclagem do material. Já encontraram, de forma significativa, três frentes de reaproveitamento desse material, representando grande importância para a sustentabilidade da construção civil no Brasil (SIDUSCON, 2012).

Segundo Sayonara Pinheiro estima-se que o resíduo do gesso represente em torno de 4% do volume do descarte da construção civil, que no Estado de São Paulo corresponde a mais de 50% de todo o resíduo sólido urbano gerado. O resíduo do gesso é constituído de sulfato de cálcio dihidratado. A facilidade de solubilização promove a sulfurização do solo e a contaminação do lençol freático. No Brasil, as perdas na construção são significativas. Estima-se que 5% do gesso acartonado é transformado em resíduos durante a construção. Já o gesso aplicado como revestimento diretamente sobre alvenaria gera uma quantidade maior de resíduos, em torno de 35%. A disposição de gesso em aterros sanitários não é pratica recomendada, exceto quando enclausurado e sem contato com matéria orgânica e água (MUNHOZ, 2009).

De acordo com o CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas. Para tentar mudar este cenário e diminuir o impacto da logística da distribuição do produto, o CONAMA reclassificou o gesso e o inseriu na Classe B, ou seja, de resíduo reciclável – conforme a resolução n° 431, de 24 de maio de 2011.

Para a redução dos resíduos gerados pela confecção do gesso é necessário a adição de um aditivo retardador que propicie um aumento no tempo de pega. Os produtos modificadores do tempo de pega afetam o tempo de início da pega, o desenvolvimento do endurecimento do gesso e interferem na facilidade de dissolução na água. Proporcionam flexibilidade ao uso do gesso, aumentando o tempo de trabalhabilidade do material.

O objetivo geral desse trabalho foi a avaliação do desempenho de tempo de pega através do aditivo à base da mucilagem da palma Opuntia fícus indica para blocos de gesso e a análise da resistência mecânica através do ensaio de compressão.

2 CACTÁCEA

Os Cactos ou Cactáceas, se destacam como as principais espécies de plantas carnudas e ricas em água que trazem as características que suportam grandes períodos de seca (BALLESTER OLMOS, 1995). Essas espécies são conhecidas como plantas suculentas. A palavra cacto, do grego *Kaktos*, significa planta que tem espinhos. De acordo com Takane et. al (2009), sua anatomia é diferente em algumas estruturas, como folhas, caules ou raízes, o que as tornam capazes de armazenar água. Além disso, possuem uma especialização fisiológica importante que as permitem sobreviver em condições extremas através da abertura dos estômatos durante a noite, evitando a desidratação durante os períodos mais críticos do dia. A seiva comumente espessa, com aspecto de gel, contribui para a retenção de água sendo denominada mucilagem.

Segundo Legen (2004), a mucilagem do Cacto era utilizado pelos indígenas no Mexico, em seu tempo, melhorando a propriedade do material. Esta é uma prática milenar que serve para proteger e restaurar prédios históricos, uma vez que o uso de cimento com estas finalidades possui efeitos prejudiciais, devido à incompatibilidade com o adobe, pois, além restringir a transpiração, aumenta os riscos de danos causados pela umidade.

De acordo com Kanan (2008), a mucilagem de cacto tem sido utilizado como aditivo para fabricação de tintas à base de cal, contribuindo em algumas cidades para as pinturas convencionais,como também para a população de baixa renda com a dispersão de insetos, como o barbeiro. Já Magalhães (2009) afirma que a mucilagem de cacto utilizada como aditivo para pastas e argamassas de gesso, cal ou cimento, melhora a resistência desses materiais, aumenta sua trabalhabilidade, além de ser uma substância orgânica, natural e de baixo custo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na pesquisa foi estudada a ação retardadora e de resistência mecânica da mucilagem *Opuntia ficus indica* na pasta de gesso. Esta é uma planta arbustiva que pode chegar até 4m de altura (HUNT E TAYLOR, 1990; BARBOSA et al. 1996). É uma espécie conhecida popularmente como palma-úmida, palma doce, urumbeta, nopal e nopalito (SOUZA E LORENZZI, 2005). Este é um cacto facilmente encontrado no Nordeste Brasileiro, utilizado normalmente na alimentação do gado.

3.1 Mucilagem de Cacto

Para extração da mucilagem do cacto Opuntia fícus indica,, foram coletados alguns cladódios, comumente conhecido como raquetes, cortadas em tiras e colocadas em uma prensa, podendo retirar a seiva da espécie de planta utilizada como podemos visualizar na Figura 01.

Figura 01: Mucilagem da *Opuntia Ficus Indica* retirada com a prensa



Fonte: Arquivo Pessoal.

Após esse processo, a mucilagem recebeu a denominação de "SO" (sumo opuntia), para a caracterização do produto.

3.2 Pasta de Gesso

Para a preparação da pasta de gesso foi utilizado gesso calcinado, material empregado na construção civil, como também na confecção de blocos de gesso e reparação de paredes. O gesso foi adquirido em uma loja de material de construção em João Pessoa-PB. A pasta de gesso com a mucilagem foi preparada em duas proporções, 1% e 3% em relação à pasta de gesso.

Todas as misturas foram realizadas diretamente com espátula de plástico para evitar oxidação com o gesso. Os materiais foram colocados em uma bandeja de mistura, sendo primeiramente adicionada a água, em seguida o impermeabilizante e, por último, o gesso.

Em todas as pastas procurou-se obter uma pasta homogenia e de fácil manipulação, para facilitar a moldagem para o ensaio.

3.3 Ensaio de Tempo de Pega

O passo metodológico para esse estudo foi a pesquisa bibliográfica e o estudo em laboratório sobre um produto que retarde a ação de endurecimento do gesso aumentando também sua plasticidade. Para realizar esse trabalho utilizou-se uma pesquisa qualitativa e experimental.

A técnica e o instrumento para esse método aplicado foi a análise do tempo de pega através do aparelho de Vicat.

Mediu-se o tempo de início e fim de pega de pastas com três concentrações diferentes para cada porcentagem do aditivo e quatro sem aditivo, através da agulha de Vicat (figura 02) e conforme NBR 12128 (ABNT, 1991). A relação água/gesso foi determinada a partir da plasticidade oferecida pelo material. O tempo de início de pega foi caracterizado quando a agulha estacionou a 1 mm da base e o fim de pega foi determinado quando a tensão exercida pelo aparelho deixou uma leve impressão no gesso. Com base na literatura de Henão e Cincotto (1997, apud AGOPYAN 1982, ULLMANS 1985, WIRCHING 1991) concentrações que geram tempo de retardamento do início de pega de aproximadamente 1 h, para cada uma das substâncias retardadoras, é considerado como o tempo de pega ótimo.

Figura 02: Realização do ensaio de tempo de pega com o aparelho de Vicat



Fonte: Arquivo Pessoal

3.4 Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a NBR 12129/1991. Foram confeccionados corpos de prova cúbicos com 50mm de aresta, em um molde com 3 compartimentos, fazendo-se uma moldagem simultânea dos 3 corpos de prova cúbicos.

Todos os cubos antes do ensaio foram submetidos a medições de confirmação da igualdade de dimensão das faces.

Foram utilizados 30 corpos de provas, sendo 4 grupos controle utilizados como referência sem a adição do aditivo. No gesso mede-se a resistência quando ele apresenta constância de massa. A idade do ensaio manteve-se fixa em 30 dias.

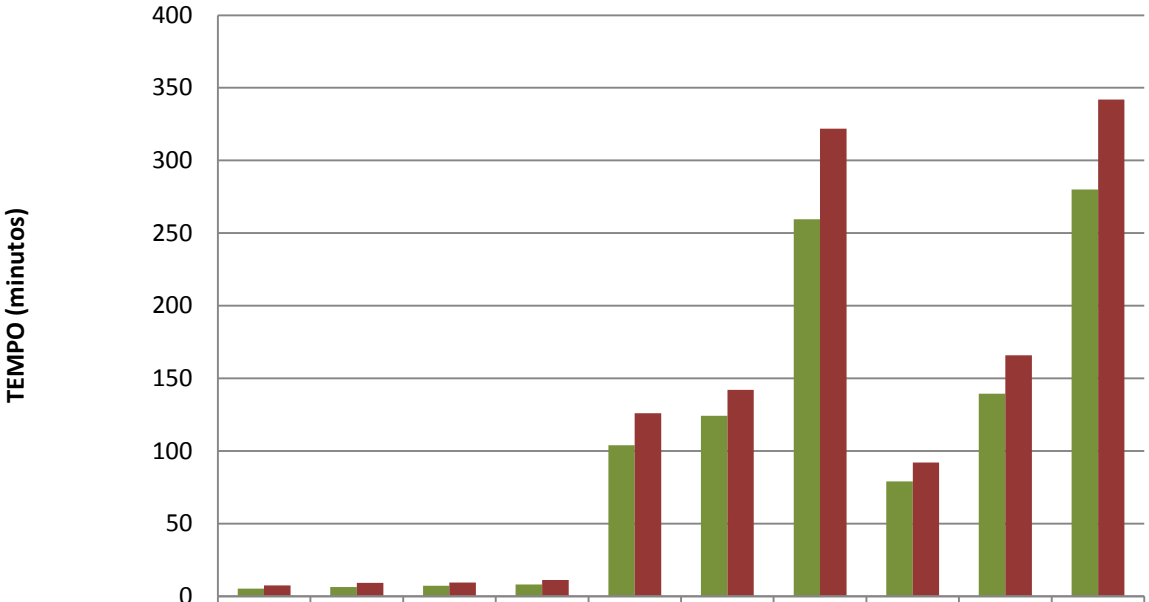
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram analisados os resultados dos ensaios, com a adição da mucilagem da cactácea Opuntia fícus indica às pastas de gesso, de tempo de pega e compressão.

Através de uma análise tátil-visual observou-se uma mudança na consistência da pasta com o emprego do aditivo.

Os resultados apresentam que a adição da mucilagem deu um efeito retardador significante da pega com apenas 1% de adição, já que, a necessidade de retardamento é de apenas 1 hora e que a mucilagem adicionada à pasta de gesso influencia no retardamento do tempo de pega, propiciando um aumento de plasticidade ao material. Os valores médios dos tempos de pega correspondentes com relação água/gesso (a/g) 0,4 e 0,5, com variação de adição de 1%, 3% e 5% estão sendo apresentados na figura 03.

Figura 03: Influência do teor de aditivo no tempo de pega da pasta de gesso



	R.0,4	R.0,5	R.0,6	R.0,7	0,4.1%	0,4.3%	0,4.5%	0,5.1%	0,5.3%	0,5.5%
INÍCIO DE PEGA	5,31	6,34	7,26	8,21	104	124,21	259,5	79	139,37	280
FINAL DE PEGA	7,46	9,27	9,45	11,23	126	142,17	322	92	166	342

R.0,4 – Valor Referência 0,4 a/g; R.0,5 – Valor Referência 0,5 a/g; R.0,6 – Valor Referência 0,6 a/g; R.0,7 – Valor Referência 0,7 a/g; 0,4.1% – 0,4 a/g com 1% de aditivo; 0,4.3% – 0,4 a/g com 3% de aditivo; 0,4.5% – 0,4 a/g com 5% de aditivo; 0,5.1% – 0,5 a/g com 1% de aditivo; 0,5.3% – 0,5 a/g com 3% de aditivo; 0,5.5% – 0,5 a/g com 5% de aditivo;

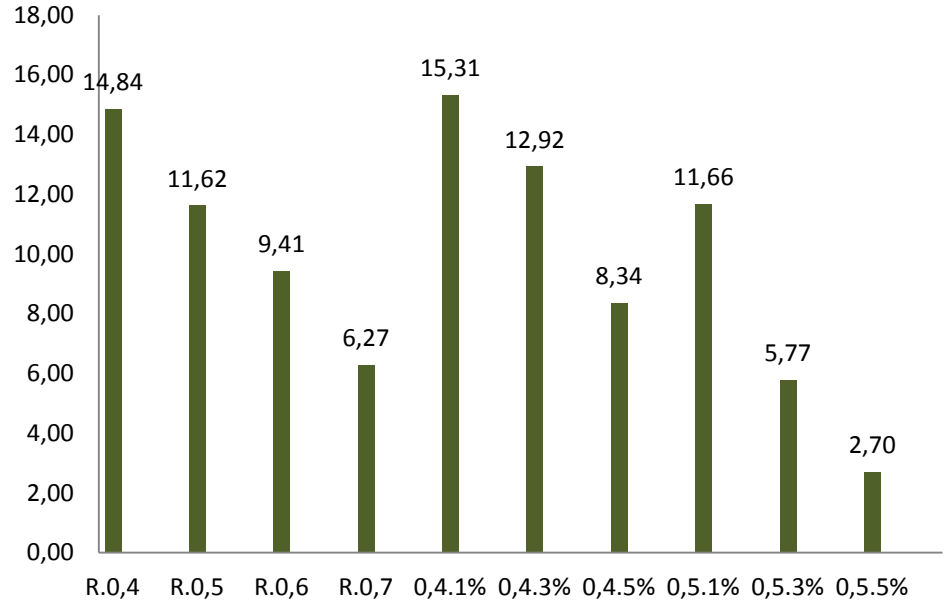
A Figura 03 mostra a influência da relação água/gesso nos tempos de inicio e fim de pega. Percebe-se que os tempos de início e fim de pega crescem com a relação a/g. É visível o grande efeito retardador do aditivo. Passa-se de tempos de pega dos valores de referência com poucos minutos para mais de uma hora.

Observa-se que os valores de MPa crescem devido a influência da pocertagem do aditivo, visando o acrescimo de 1 hora da relação a/g 0,4

com o teor de 1% de aditivo comparado ao valor de referência 0,4. Percebe-se que aumentando-se o teor de aditivo, tem-se um aumento no tempo de pega.

A Figura 04 apresenta os valores médios do ensaio de compressão. Percebe-se que passando o teor de aditivo para 3% ou 5% a resistência é significativamente penalizada.

Figura 04: Influência do teor de aditivo na resistência à compressão da pasta de gesso



R.0,4 – Valor Referência 0,4 a/g; R.0,5 – Valor Referência 0,5 a/g; R.0,6 – Valor Referência 0,6 a/g; R.0,7 – Valor Referência 0,7 a/g; 0,4.1% – 0,4 a/g com 1% de aditivo; 0,4.3% – 0,4 a/g com 3% de aditivo; 0,4.5% – 0,4 a/g com 5% de aditivo; 0,5.1% – 0,5 a/g com 1% de aditivo; 0,5.3% – 0,5 a/g com 3% de aditivo; 0,5.5% – 0,5 a/g com 5% de aditivo;

Percebe-se claramente na figura 04 que o retardador tem uma influência direta sobre a resistência do gesso endurecido. A figura mostra o decréscimo da resistência à medida que o teor de aditivo aumenta.

A NBR 13207 especifica o mínimo de resistência à compressão de 8,4MPa. Dado essa estimativa, observa-se que para a referência 0,7 a/g o valor é de 6,27MPa, sendo inferior ao valor permitido. Não se enquadra também a relação a/g 0,5 com teor de 5% com o valor de 2,7 MPa, que corresponde 1/3 do valor exigido pela norma.

Pode-se afirmar que há uma diferença significativa na influência do aditivo empregado na pega do gesso, considerando-se o teor utilizado, sendo, provavelmente, o mais adequado utilizar concentrações menores, sem aumentar o risco de mudança significativa nas propriedades, bem como na microestrutura do material.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de aditivo na pasta de gesso é uma ótima alternativa para a o retardo do tempo de pega, já que o mesmo, no valor de referência, obtém

o tempo de início de pega com um valor baixo comparado à pasta com o aditivo, que acarreta na diminuição de resíduos em canteiro de obras e consequentemente na redução dos problemas devido à má disposição ou segregação destes resíduos.

De acordo com os resultados obtidos, a adição de até 1% de resíduo é uma maneira viável de utilização, já que nas obras necessita de agilidade na construção, com menor perda de material, e esta quantidade de aditivo promove um tempo de pega favorável para uso, aumentando a velocidade de endurecimento.

No que diz respeito à resistência à compressão, ela não é afetada quando se utiliza 1% do aditivo desenvolvido. Teores mais elevados começam a penalizar a resistência, fazendo-a decrescer.

Foi observado que desde a mistura dos materiais a adição da mucilagem possibilitou a preparação de uma pasta fluida, o que não ocorre geralmente nas pastas de gesso sem aditivo, que necessitam de uma proporção maior de água para que adquira consistência adequada para a utilização.

O aditivo permite diversificar o uso do gesso na construção. Com ele pode-se baixar significativamente a relação água/gesso ainda com trabalhabilidade, ter um tempo de manuseio do material por mais tempo e chegar a resistências que permitirá a execução de elementos com função estrutural na engenharia.

AGRADECIMENTOS

Deixo expressos meus sinceros agradecimentos ao Prof. Orientador Normando Perazzo pelos engrandecimento técnico no decorrer do estudo e aos meus familiares pelo estímulo, amizade, carinho, críticas, sugestões e paciência, sem as quais o presente trabalho teria sido impossível.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta. NBR 12128 Rio de Janeiro, 1991.

BALLESTER OLMOS, J. F. **Cactus y Plantas Suculentas**. Espanha: Floraprint, 1995.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

LEGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Porto Alegre. Livraria do Arquiteto; Rio de Janeiro: TIBÁ – Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura, 2004.

MAGALHÃES, A. C. T. V. de. **Estudo de Fibras Vegetais, Mucilagem de Cacto e Gesso em Componentes Construtivos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009.

MUNHOZ, F.C. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa.**Dissertação do Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2008.

PINHEIRO, S. **Gesso Reciclado: Avaliação de Propriedades para Uso em Componentes**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 352p. Tese (Doutorado). Departamento de Arquitetura e Construção, UNICAMP, 2011.

SINDUSGESSO. Pólo gesseiro. http://www.sindusgesso.org.br/. Acesso em agosto de 2014.

TAKANE, R. J.; PIVETTA, K. F. L.; YANAGISAWA, S. S. **Cultivo de Cactos e Suculentas Ornamentais**. 1. ed. Fortaleza: GrafHouse, 2009.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS AO LONGO DO TEMPO DECORRIDO DO SEU PREPARO[1]

KELLER, Hergya A. (1); LOVATO, Patrícia S. (2)

(1) UPF, e-mail: hergyakeller@gmail.com; (2) UPF, e-mail: patricialovato@upf.br;

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar propriedades de argamassas estabilizadas preparadas em laboratório. Foram estudados três teores de aditivo estabilizador de hidratação (0,5; 0,7 e 0,9%) e um teor de aditivo incorporador de ar (0,3%), em comparação com mistura sem aditivo. As propriedades foram avaliadas ao longo do tempo de utilização da argamassa (0, 24, 48 horas). No estado fresco foram avaliadas a consistência e a densidade de massa, e no estado endurecido, a densidade de massa, resistência à tração na flexão, a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade. Verificou-se variação do comportamento ao longo do tempo de utilização das argamassas. A utilização de incorporador de ar, quando utilizado estabilizador nos teores 0,7% e 0,9% resultou em baixos valores de resistência e elevada absorção. Constatou-se que a argamassa com 0,5% de aditivo estabilizador de hidratação foi a que apresentou os melhores resultados para o traço estudado e materiais utilizados, mantendo boa trabalhabilidade ao longo do tempo de utilização e atendendo os requisitos estabelecidos por norma quanto à resistência à tração na flexão, resistência à compressão e coeficiente de capilaridade.

Palavras-chave: Argamassa estabilizada. Aditivo incorporador de ar. Aditivo estabilizador de hidratação.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate ready mixed mortar properties, prepared in the laboratory. Were studied three levels of stabilizing admixture (0,5, 0,7 and 0,9%) and one level of air-entraining admixture (0.3%), compared with mortar without admixture. The properties were evaluated over the using time of mortar (0, 24, 48 hours). In the fresh state were evaluated consistency and bulk density, and in the hardened state, the bulk density, the flexural strength, compressive strength and water absorption by capillary action. There was variation in the behavior over the using time of mortars. The use of air-entraining admixture, when used stabilizing admixture together in levels 0,7% and 0,9% resulted in low strength values and high water absorption. It was found that the mortar with 0,5% of stabilizing admixture showed the best results for the mix proportion studied and materials used, maintaining good workability over the using time and meeting the requirements set by the standard as the flexural strength, compressive strength and coefficient due to capillary action.

***Keywords**: Ready mixed mortar. Air- entraining admixture. Stabilizing admixture.*

[1] KELLER, Hergya A.; LOVATO, Patrícia S. Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do tempo decorrido do seu preparo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem buscado, cada vez mais, racionalizar suas obras para elevar a sua produtividade e aumentar a qualidade dos serviços. Maior controle sobre os produtos e processos tem sido exigido, direcionando para a busca por novas tecnologias, sistemas construtivos inovadores ou materiais que substituam, aprimorem e/ou tornem mais prático o dia-a-dia na obra. Nesse contexto, a argamassa estabilizada apresenta-se como uma alternativa viável para suprir a necessidade de racionalização.

A argamassa estabilizada é um grande triunfo da engenharia para a preservação do meio ambiente, porque é possível diminuir o espaço necessário para armazenamento de materiais na obra, e também possibilita a redução no desperdício da argamassa pronta, pois ela não perde suas propriedades, podendo ficar armazenada na obra por até três dias.

Conforme Gates et al. (1990), as argamassas estabilizadas, devido ao seu controle de qualidade de produção, são pelo menos iguais ou melhores que as argamassas produzidas em obras. Para isso, as argamassas devem ser adequadamente produzidas e entregue no local de utilização.

Hermann e Rocha (2013) afirmam que em função da produção ser feita em centrais dosadoras, possui um rígido controle na produção, o que garante a homogeneidade do produto e a redução do risco de manifestações patológicas quando aplicadas. Entretanto, com relação à homogeneidade, Macioski et al. (2015) observaram variação de resultados entre lotes recebidos da mesma argamassa e de acordo com o dia de utilização.

Outras desvantagens se referem ao maior tempo necessário para adquirir rigidez, variação da consistência ao longo do tempo de utilização e maior tempo de espera para acabamentos de superfície (HERMANN; ROCHA, 2013). Casali et al. (2011) constataram que o processo de armazenamento da argamassa de um dia para o outro pode influenciar nos resultados.

Apesar do início da utilização das argamassas estabilizadas no Brasil ter ocorrido em 1985 (MARTINS; NETO, 1999), Pagnussat et al. (2012) relatam que o seu uso ainda é pequeno no país, sendo restrito a alguns mercados regionais específicos. Nestes, a utilização do produto é crescente, como no caso na região em que se realizou esse estudo.

Cada vez mais pesquisas sobre argamassa estabilizada vêm sendo desenvolvidas (MANN NETO et al., 2010; CASALI et al., 2011; PAGNUSSAT et al., 2012; BELLEI et al., 2015) com o objetivo de adequar os materiais de cada região para viabilizar o uso correto deste material. Isso proporciona a busca por vantagens técnicas e econômicas, e ainda a adequação com as necessidades e características de cada região.

Por ser um produto relativamente novo, têm-se poucos dados sobre as características e desempenho em serviço da argamassa estabilizada. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar propriedades de

argamassas estabilizadas preparadas em laboratório, ao longo do seu tempo de utilização.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente definiram-se as variáveis independentes: teor de aditivo estabilizador de hidratação (0%, 0,5%, 0,7% e 0,9%) e teor de aditivo incorporador de ar (0% e 0,3%). Os teores foram empregados em relação à massa de cimento. As misturas realizadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Misturas realizadas

Mistura nº	Identificação	% aditivo estabilizador de hidratação	% aditivo incorporador de ar	Moldagem (horas)
1	Ref	0	0	0
2	0,5%	0,5	0	0, 24, 48
3	0,7%	0,7	0	0, 24, 48
4	0,9%	0,9	0	0, 24, 48
5	0,5%+0,3%	0,5	0,3	0, 24, 48
6	0,7%+0,3%	0,7	0,3	0, 24, 48
7	0,9%+0,3%	0,9	0,3	0, 24, 48

Fonte: Os autores

Os teores de aditivo estabilizador foram definidos a partir de um estudo piloto, em que foi constatado que teores muito baixos, como 0,3% não se mantiveram trabalháveis até 48 horas, apesar de o fabricante indicar teores a partir de 0,2%. Com relação ao aditivo incorporador de ar, em função de limitação de tempo para realização da pesquisa, optou-se por utilizar o teor intermediário indicado pelo fabricante.

2.1 Materiais utilizados

As argamassas foram confeccionadas com cimento CP II-F-32 e areia natural média. Na Figura 1 é mostrada a distribuição granulométrica do agregado utilizado e na Tabela 2 apresenta-se a sua caracterização.

O aditivo estabilizador de hidratação possui densidade de 1,17 g/cm³ e a dosagem recomendada pelo fabricante é de 0,2 a 1,5% sobre a massa de cimento. O aditivo incorporador de ar apresenta densidade de 1,00 g/cm³, sendo recomendado pelo fabricante a dosagem de 0,1 a 0,5% sobre a massa do cimento.

Tabela 2 - Caracterização do agregado

Ensaio	Norma	Resultado
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	4,75
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,77
Massa específica (kg/m³)	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2630
Massa unitária (kg/m³)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1700

Fonte: Os autores

Tabela 3 – Distribuição granulométrica

Abertura da peneira (mm)	% retida	% retida acumulada
6,3	0	0
4,75	0	0
2,36	8	8
1,18	23	31
0,6	27	58
0,3	23	81
0,15	15	96
<0,15	4	100

Fonte: Os autores

2.2 Preparo das argamassas

As argamassas foram produzidas no traço 1:4,5, em volume (cimento:areia seca). Este foi convertido para massa, através das massas unitárias dos materiais. A argamassa foi preparada seguindo o procedimento descrito na NBR 13276 (ABNT, 2005a) e as quantidades de materiais foram medidas em massa.

A consistência inicial das misturas foi fixada em (260±20) mm, a qual foi determinada seguindo o procedimento descrito na NBR 13276 (ABNT, 2005a). Alcançada esta consistência, eram moldados nove corpos-de-prova prismáticos de (4x4x16) cm, para cada mistura efetuada.

A superfície da argamassa restante era regularizada, coberta com um plástico impermeável, e acima desse, era colocada uma película de água de aproximadamente 1 cm, conforme ilustra a Figura 1. Após 24 horas, o plástico era retirado juntamente com a película de água e novamente era realizado o ensaio de consistência e moldados corpos-de-prova. Independente do valor obtido no ensaio de consistência, não era acrescentada mais água na mistura.

O mesmo procedimento era repetido após 48 horas da mistura inicial. Após a moldagem, os corpos-de-prova eram mantidos em sala climatizada com temperatura de (23±2)°C e umidade de (60±5)%, até os 28 dias de idade.

Figura 1 – Armazenamento da argamassa estabilizada



Fonte: Os autores

2.3 Propriedades avaliadas

No estado fresco, foi avaliada a consistência com 0, 24 e 48 horas, assim como a densidade de massa, conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005b).

As propriedades avaliadas no estado endurecido, número de corpos-de-prova por mistura e por hora de moldagem, assim como as normas seguidas, estão descritas na Tabela 4.

As propriedades foram avaliadas aos 28 dias dos corpos-de-prova, independente se moldados no dia do preparo da argamassa, após 24 horas ou após 48 horas.

Tabela 4 – Propriedades avaliadas no estado endurecido

Propriedade	Norma	Número de corpos-de-prova
Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005d)	3
Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005c)	6
Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005c)	12
Absorção de água por capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005f)	3

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

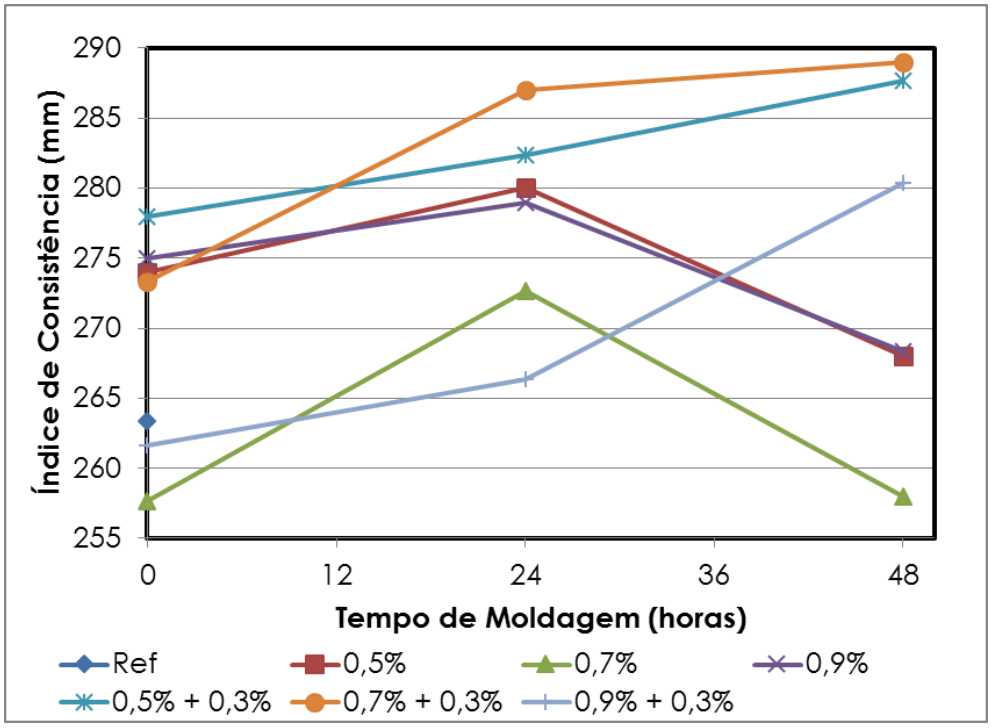
Os resultados obtidos foram analisados e encontram-se apresentados a seguir, separados em dois itens: estado fresco e estado endurecido.

3.1 Estado fresco

Todas as misturas realizadas se mantiveram trabalháveis até 48 horas, confirmando que os teores de aditivo estabilizador avaliados tiveram o efeito esperado. Ressalta-se que em estudo piloto, o teor de 0,3%, apesar de indicado pelo fornecedor, manteve-se trabalhável somente até 24 horas após o preparo da argamassa.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados dos índices de consistência para cada mistura, ao longo do tempo de utilização das argamassas.

Figura 2 – Índice de consistência das argamassas ao longo do tempo de utilização



Fonte: Os autores

Em todas as argamassas produzidas somente com o estabilizador de hidratação, a consistência apresentou aumento após 24 horas decorridas do seu preparo, reduzindo-se posteriormente após 48 horas de seu preparo. Dapper (2012) também observou este comportamento ao avaliar argamassa estabilizada coletada em obra.

Nas argamassas em que foi utilizado também o aditivo incorporador de ar, o índice de consistência aumentou ao longo do tempo de utilização da argamassa. Este fato possivelmente está relacionado com o efeito do aditivo incorporador de ar, uma vez que não houve incorporação de ar, a argamassa ficou mais fluída.

Vale lembrar que a película de água foi isolada da argamassa por um plástico, em todas as misturas, portanto o aumento da consistência não é devido à absorção da água da película pela argamassa.

Na Tabela 5 são mostrados os dados referentes à moldagem da argamassa, a consistência nela apresentada refere-se à obtida no dia da moldagem (0

horas). Com a utilização do aditivo incorporador de ar, percebeu-se aumento da relação água/cimento quanto maior o teor de aditivo estabilizador de hidratação utilizado.

Tabela 5 – Dados das argamassas no dia da moldagem

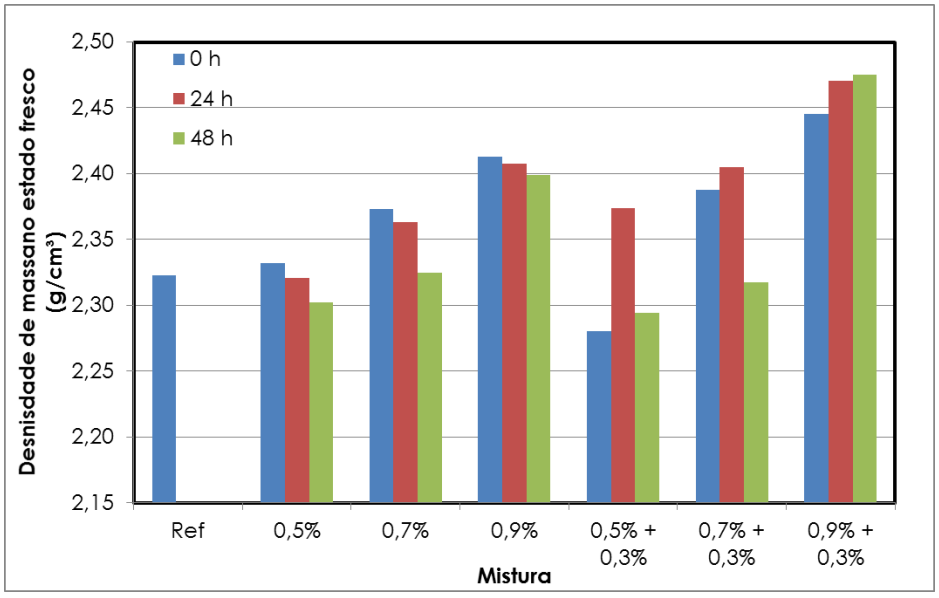
Mistura nº	Identificação	Relação a/c	Consistência (mm)	Consumo de cimento (kg/m³)
1	Ref	1,26	263	261
2	0,5%	1,34	274	272
3	0,7%	1,17	258	267
4	0,9%	1,25	275	268
5	0,5%+0,3%	1,26	278	252
6	0,7%+0,3%	1,35	273	258
7	0,9%+0,3%	1,40	262	268

Fonte: Os autores

Os resultados médios de densidade de massa no estado fresco estão mostrados na Figura 3. Nas argamassas produzidas somente com aditivo estabilizador de hidratação a densidade da massa diminuiu ao longo do tempo de utilização das argamassas. Observa-se também que quanto maior o percentual de aditivo empregado, maior a densidade das argamassas.

No caso das argamassas produzidas com os dois aditivos houve uma variação da densidade de massa no estado fresco ao longo do tempo de utilização, não apresentando uma tendência de comportamento. Com a utilização do incorporador de ar, esperava-se redução da densidade das argamassas em comparação com as misturas somente com estabilizador, fato verificado somente na mistura 0,5%+0,3%.

Figura 3 – Densidade de massa no estado fresco em função do teor de aditivo

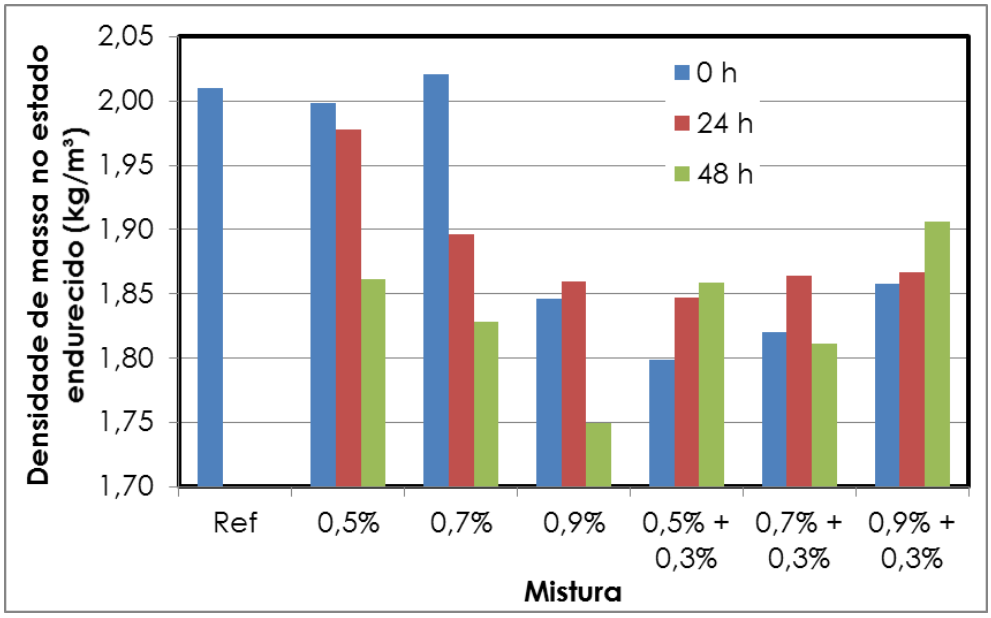


Fonte: Os autores

3.2 Estado endurecido

Os resultados de densidade de massa no estado endurecido estão mostrados na Figura 4. Para elaboração do gráfico foram feitas as médias de três corpos-de-prova por traço e por tempo de moldagem.

Figura 4 – Densidade de massa no estado endurecido em função do teor de aditivo



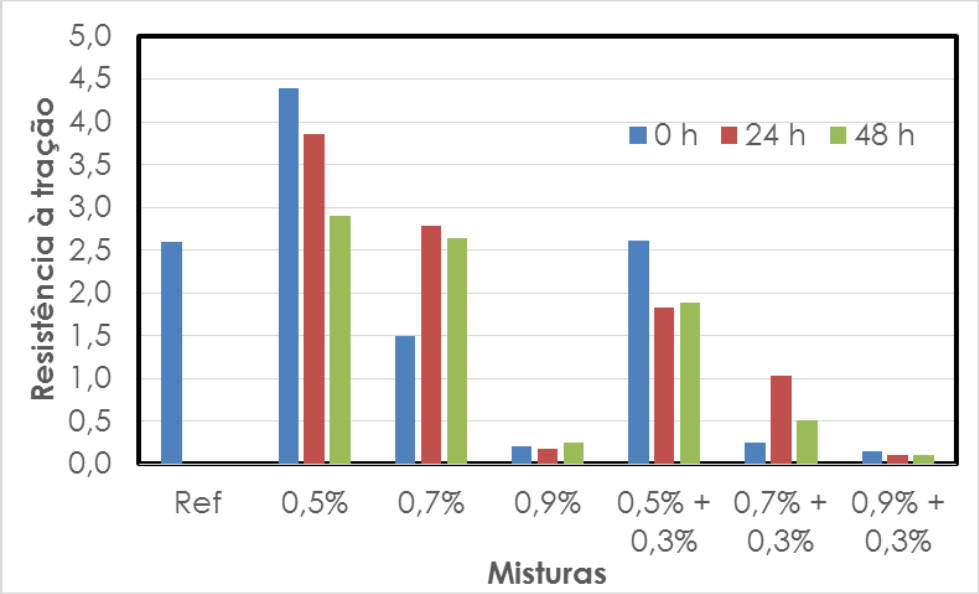
Fonte: Os autores

Nota-se que as argamassas produzidas com teores 0,5% e 0,7% de aditivo estabilizador de hidratação apresentam redução da densidade de massa, ao longo do seu tempo de utilização, quando se compara com os corpos-de-prova moldados logo após o preparo. O oposto ocorre nas argamassas (0,5%+0,3%) e (0,9%+0,3%).

Já a mistura preparada com 0,9% de aditivo estabilizador e a mistura com 0,7%+0,3% de aditivo incorporador de ar, apresentam um aumento da densidade da massa dos corpos-de-prova moldados após 24 horas em relação aos moldadas logo após o preparo da argamassa. Para os corpos-de-prova moldados após 48 horas do preparo da argamassa, a densidade encontrada foi inferior que com 0 horas. Pagnussat et al. (2012), atribuem esse comportamento ao fato que as argamassas perderam parte do ar incorporado pelo aditivo.

A Figura 5 apresenta os resultados médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão. Tanto para a resistência à tração na flexão como para resistência à compressão calcularam-se as médias e os desvios, e, quando necessário, foram descartados valores que extrapolavam o valor máximo do desvio estabelecido pela NBR 13279 (ABNT, 2005c).

Figura 5 – Resistência à tração na flexão



Fonte: Os autores

Observa-se que as argamassas produzidas não apresentam uma tendência de comportamento ao longo do seu tempo de preparo (0, 24 e 48 horas).

As misturas em que se utilizou 0,5% de aditivo estabilizador de hidratação tiveram uma redução na sua resistência ao longo do tempo de utilização, o que não ocorre nos teores (0,7 e 0,9)%, pois nestes a resistência aumenta com 24h e diminui um pouco com 48 horas.

Foi verificado que, quanto maior é o teor de aditivo estabilizador de hidratação menor é a resistência à tração na flexão, tornando-se inviável a utilização de um teor de 0,9%, pois os resultados obtidos foram muito baixos. Também se observou que com a utilização do aditivo incorporador de ar, as misturas apresentaram uma resistência inferior do que as misturas sem esse aditivo.

Para a mistura feita somente com 0,5% de aditivo estabilizador de hidratação a resistência à tração aumentou 69% em relação a mistura de referência, na moldagem logo após o preparo da argamassa. Já com 0,7% do mesmo aditivo, a resistência foi aproximadamente 42% menor que a referência. Com a utilização do aditivo incorporador de ar, a resistência da mistura (0,5% + 0,3%) foi igual à de referência e as demais combinações apresentaram resistência inferior a 10% da resistência da argamassa de referência.

Para argamassas produzidas somente com o estabilizador, a resistência à tração na flexão corresponde, em média, a 25 % da resistência à compressão, e nas argamassas em que foi também utilizado o aditivo incorporador de ar, essa média diminui para 15%. Segundo Macioski (2014) os valores de resistência à tração na flexão correspondem, em média, a 41% da resistência à compressão, ou seja, os valores encontrados neste trabalho ficaram bem abaixo deste valor.

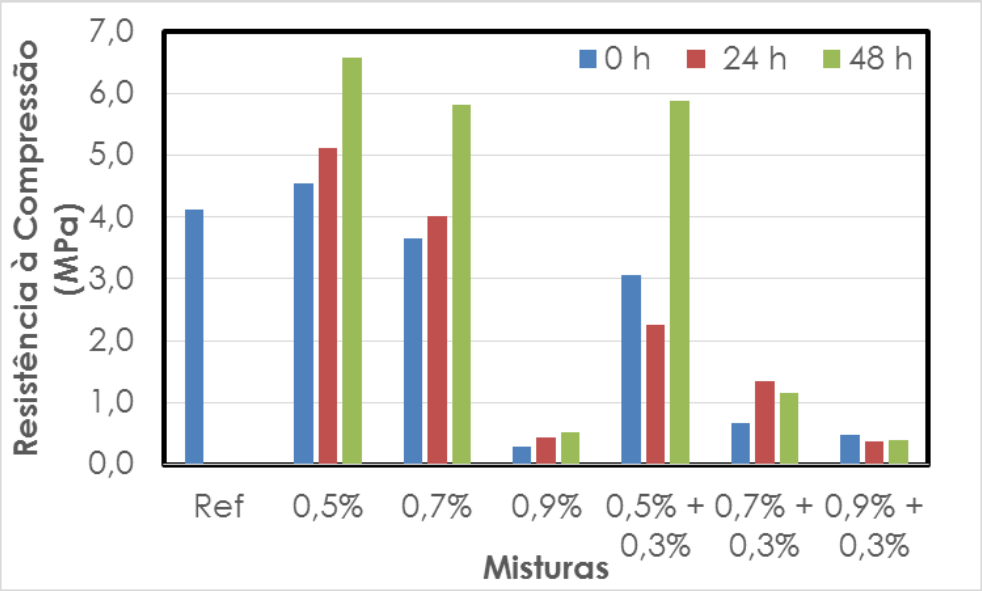
Com relação ao uso do incorporador de ar, as resistências obtidas nas misturas foram inferiores às das misturas realizadas somente com aditivo estabilizador. Os resultados encontrados foram, de modo geral, baixos, se comparados às argamassas sem incorporador de ar.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, sendo usadas as médias obtidas de seis corpos-de-prova para cada tempo de misturas das argamassas estudadas. Assim como ocorreu na resistência à tração na flexão, as misturas 0,9%, 0,7%+0,3% e 0,9%+0,3% tiveram resultados muito baixos.

As misturas feitas somente com estabilizador de hidratação apresentaram um aumento na sua resistência ao longo do tempo de utilização. Uma possível causa seria que nas misturas moldadas no primeiro dia o aditivo ainda estivesse bloqueando a hidratação de algumas partículas de cimento, requerendo mais estudos para verificação. Porém, como ainda não foram realizadas análises estatísticas dos dados, não é possível afirmar que esse aumento de resistência é significativo. As misturas que possuíam também o incorporador de ar não seguiram um padrão definido.

Comparando somente as resistências referentes ao primeiro dia de moldagem, é percebido um comportamento semelhante à resistência à tração, ou seja, a resistência à compressão diminuiu ao passo que o teor de aditivo utilizado aumenta.

Figura 6 – Resistência à compressão



Fonte: Os autores

Considerando os corpos-de-prova moldados no dia do preparo das misturas, a argamassa com 0,5% de aditivo estabilizador teve um acréscimo de aproximadamente 10% em relação à argamassa referência, e com o aumento do teor de aditivo, a resistência à compressão apresentou-se 12% e 93% menor que a mistura de referência, para os teores de 0,7% e 0,9%,

respectivamente. Nas misturas com incorporador de ar, todas as argamassas apresentam resistência à compressão menor que a mistura de referência.

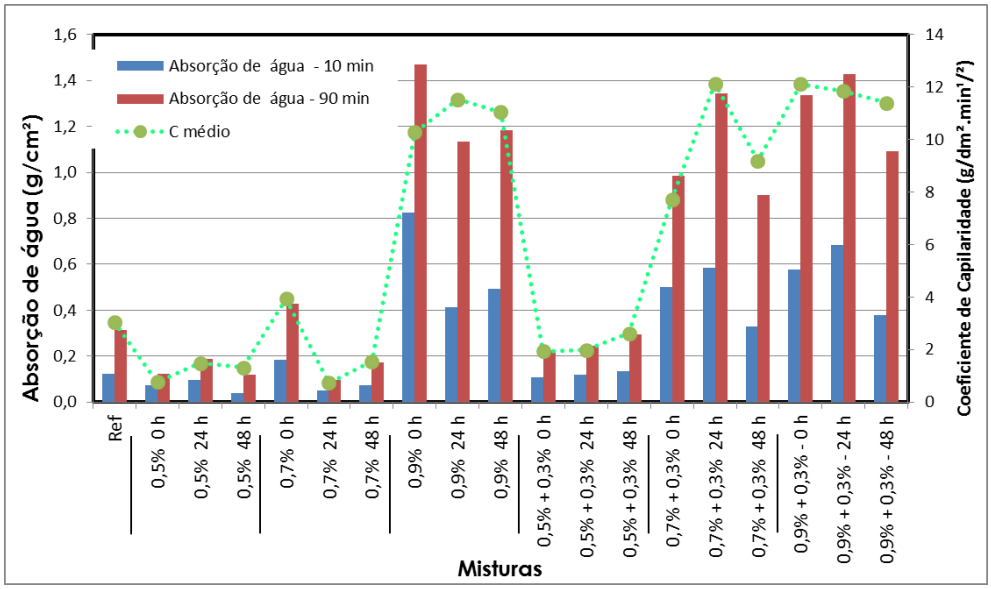
A Figura 7 apresenta a absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 minutos e o coeficiente de capilaridade das argamassas produzidas, foi utilizado a média de três corpos-de-prova por mistura e por tempo de moldagem.

Observa-se grande variação de resultados entre os diferentes teores de aditivo e tempos de moldagem dos corpos-de-prova. A maioria das misturas realizadas apresentou absorção superior à argamassa de referência.

Também está demonstrado na figura que, as argamassas 0,5%, 0,7% + 0,3% e 0,9% + 0,3% apresentaram maior absorção quando moldadas 24 horas após o seu preparo do que quando moldadas após 48 horas.

Assim como na resistência à tração na flexão e resistência à compressão, as misturas em que foi utilizado 0,9% de aditivo estabilizador de hidratação apresentaram comportamento inferior que as misturas com outros teores, ou seja, a absorção de água foi mais elevada.

Figura 7– Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade



Fonte: Os autores

Também se observam absorções de água mais altas quando se utiliza o incorporador de ar na mistura com 0,7% de estabilizador de hidratação. As misturas com 0,5% de estabilizador apresentaram absorções semelhante ou inferior à argamassa de referência, dependendo do dia de moldagem.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, verificou-se que uma mesma argamassa apresenta comportamento distinto ao longo do seu tempo de utilização, porém como ainda não foram realizadas análises

estatísticas, não se pode afirmar que as diferenças são significativas. Nota-se que o teor de aditivo empregado influencia nas propriedades estudadas.

Além de estender o tempo de utilização da argamassa, o emprego do aditivo estabilizador de hidratação colabora com a redução da quantidade de água de amassamento, promovendo aumento das resistências à tração na flexão e à compressão, e redução do coeficiente de capilaridade delas. Porém, com a utilização do aditivo incorporador de ar, obteve-se o comportamento contrário, pois com o aumento do teor de estabilizador, aumenta a quantidade de água de amassamento necessária.

Apesar de o fabricante indicar a utilização do estabilizador de hidratação juntamente com o incorporador de ar, verificou-se que o teor de incorporador de ar empregado influenciou negativamente nas propriedades avaliadas no estado endurecido.

Considerando os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005e) e os parâmetros de desempenho para argamassas estabilizadas de revestimento propostos por Bauer et al. (2015), somente a argamassa produzida com 0,5% de estabilizador de hidratação, sem o uso de incorporador de ar, atendeu todos os requisitos para ser considerada adequada para a utilização em todas as idades de moldagem. Nas argamassas produzidas com teores maiores de aditivo estabilizador, e/ou com incorporador de ar, os resultados de resistência não atenderam os requisitos citados.

Desta maneira, para o traço estudado, com os materiais empregados, o teor de 0,5% de aditivo estabilizador de hidratação se torna o mais indicado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa de aditivos químicos para construção civil pelo auxílio oferecido e à concreteira que forneceu as amostras para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 13279**: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade da massa no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e

tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005e.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005f.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 11., 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

BELLEI, P.; JANTSCH; A. C.; TEMP, A. L.; NUNES, G. R.; OLIVEIRA, M. D.; MOHAMAD, G. Estudo comparativo do desempenho no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas de 36h e 72h. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 11., 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ENTAC, 2015.

CASALI. J. M.; MANN NETO, A.; ANDRADE, D.C.; ARRIAGADA, N. T. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 9., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2011.

DAPPER, M. E. H. **Evolução das propriedades da argamassa estabilizada ao longo do tempo indicado para sua utilização e classificação segundo normas vigentes.** 2012. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

GATES, R. E.; NELSON, R. L.; PISTILLI, M. F. The development of ready mixed mortar in the United States. In: MATTHYS, J. H. **Masonry: Components to assemblages.** Americam Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1990.

HERMANN, A.; ROCHA, J. P. A. **Pesquisa da viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco.** 2013. 101 p. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

MACIOSKI, G. **Avaliação do comportamento de argamassas estabilizadas para revestimento.** 2014. 116 p. Trabalho de final de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MACIOSKI, G.; COSTA, M. M.; CASALI, J. M. Caracterização de argamassas estabilizadas submetidas à sucção de substrato poroso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. 11., 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2015.

MANN NETO, A.; ANDRADE, D. C.; SOTO, N. T. A. **Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada.** 2010. 127 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

MARTINS NETO, A. A. A.; DJANIKIAN, J. G. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central.** 1999. 23 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP (BT/PCC/235). Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 1999.

PAGNUSSAT, D. T.; VIDOR, D.; MASUERO, A. B. Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do seu tempo de utilização. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSA E ETICS. 4., 2012, Coimbra. **Anais...** Coimbra, 2012.

TREVISOL JÚNIOR, H.; PORTELLA, K. F.; BRAGANÇA, M. O. G. P. Avaliação da perda de consistência e do teor de ar incorporado de argamassas de revestimento em relação ao tempo de utilização no estado fresco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TÉCNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 11., 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS DE CAL COM ADIÇÕES DE POZOLANAS[1]

SILVOSO, Marcos Martinez (1), HAINFELLNER, Katharine Pontes (2), CHAVES, Caroline Batista (3), MARTINHO, Renata de Oliveira (4)

(1) UFRJ, e-mail: silvoso@fau.ufrj.br; (2) UFRJ, e-mail: kakahainfellner@hotmail.com; (3) UFRJ, e-mail: carolineebatista@hotmail.com; (4) UFRJ, e-mail: re.martinho@hotmail.com

RESUMO

No Brasil argamassas de cal foram predominantes até a chegada do cimento Portland no século XIX. Sua utilização em revestimentos muitas vezes incorporava pigmentos minerais que além de atribuir cor, possuíam características pozolânicas, conferindo maior resistência e durabilidade. Este trabalho busca analisar experimentalmente o comportamento de argamassas de cal com adições pozolânicas visando sua utilização em projetos de restauro. Foram produzidas argamassas de cal com adição de três pozolanas: pó de tijolo moído, metacaulim e cinza volante, com traços na proporção volumétrica 1:3:2, aglomerante, areia e água respectivamente. Os aglomerantes compostos por cal e pozolana foram avaliadas em diferentes proporções 1:0,5; 1:1; 1:2; 1:3 de cal e pozolana. Para avaliar o comportamento mecânico das argamassa foram realizados ensaios no estado endurecido, obtendo-se a resistência à compressão e as curvas tensão x deformação. Através dos ensaios de índice de consistência, realizados no estado fresco, constatou-se que com o aumento do teor de tijolo moído e metacaulim reduz a trabalhabilidade da argamassa, enquanto a cinza volante proporciona o aumento de sua fluidez. Os ensaios no estado endurecido permitiram identificar as proporções entre cal e pozolana que propiciaram aumento na resistência mecânica da argamassa e seu efeito na rigidez do material.

Palavras-chave: Argamassas. Cal. Pozolana. Restauro.

ABSTRACT

In Brazil lime mortars were predominant until the arrival of Portland cement in the nineteenth century. Its use as a coating mortar could incorporate mineral pigments that besides assigning color, had pozzolanic characteristics, giving them greater strength and durability. This paper presents the experimental analysis of behavior lime mortars with pozzolanic additions aiming its use in restoration projects. Lime mortars were produced with addition of three pozzolans: ceramic powder, fly ash, and metakaolin with a volumetric ratio of 1: 3: 2, binder, sand and water respectively. The binders of lime and pozzolan were evaluated at different ratios 1: 0.5; 1: 1; 1: 2; 1: 3, lime and pozzolan respectively. Tests on samples were performed in the hardened state to assess the mechanical behavior of mortars and get the resistance to compression and tension-deformation curves. Through the consistency index tests, carried out in the fresh state, it was found that with the increase of ceramic powder and metakaolin occurs a reduction in workability of mortar, while the fly ash provides increased fluidity. The mechanical tests identified the proportions of lime and pozzolan which caused

[1] SILVOSO, Marcos Martinez; HAINFELLNER, Katharine Pontes; CHAVES, Caroline Batista; MARTINHO, Renata de Oliveira. Desenvolvimento e análise experimental de argamassas de cal com adições de pozolanas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

an increase in the mechanical resistance of the mortar and its effect on the rigidity of the material.

***Keywords**: Mortar. Lime. Pozzolan. Restoration.*

1 INTRODUÇÃO

Do período colonial até meados do século XX, as argamassas de cal para revestimento foram muito comuns no Brasil. Historicamente, os sistemas construtivos brasileiros se iniciaram com a utilização de sistemas de terra, tais como pau-a-pique, taipa de pilão e adobe. A colonização portuguesa trouxe para o país a argamassa que continha como aglomerante a cal, e em meados do século XVI começaram a surgir as construções à base de cal (COSTA, 2003). Tal presença ocorria notadamente nas regiões litorâneas em função da disponibilidade de conchas marinhas, matéria-prima utilizada na época no Brasil para a produção da cal (GOMES, 2006).

O uso da cal como principal aglomerante presente em revestimentos perdurou até a chegada do cimento Portland (final do século XIX). Em projetos de manutenção e restauro de edifícios antigos deve-se respeitar o comportamento dos materiais e compreendê-los a luz das técnicas construtivas utilizadas durante o período de sua construção. Dessa forma, quando se pretende intervir em edifícios com revestimentos originalmente compostos com argamassas de cal, deve-se evitar a utilização do cimento Portland. O cimento Portland quando utilizado em argamassas de revestimento em edifícios históricos impermeabiliza suas alvenarias, prejudicando seu comportamento físico e mecânico.

Pelo valor histórico e artístico dos revestimentos, a teoria arquitetônica e científica da restauração estabelece a manutenção, sempre que possível, das superfícies arquitetônicas e seus revestimentos, utilizando-se de procedimentos de reparação e consolidação como a primeira alternativa em intervenções de restauro em edifícios antigos (VEIGA, 2004). Porém, devido ao estado de deterioração, às vezes é necessário proceder à renovação total ou parcial destes revestimentos. De acordo com Fonseca (2006), ocorre uma aceleração da degradação do revestimento e, consequentemente, da alvenaria, em função da incompatibilidade da pintura nova com o material antigo que compõe as paredes da edificação, pois os materiais atuais tendem a impermeabilizar as alvenarias, enquanto os revestimentos de fachadas a base de cal são permeáveis.

Ao produzir argamassas de substituição é necessário levar em consideração que não se deve inserir nenhum material que seja mais resistente que o existente, sendo esta a razão pela qual aplicações de cimento Portland em revestimentos à base de cal não são adequadas, pois se os esforços atuarem sobre a estrutura mais antiga, haverá a perda de um testemunho histórico (GLEIZE et al., 2009). Além disso, é importante ressaltar que, ao aplicar procedimentos de coloração nestes revestimentos históricos, as técnicas de pigmentação antigas também devem ser respeitadas. Tintas plásticas (acrílica, PVA) funcionam de forma inadequada sobre paredes de

edifícios antigos, pois criam películas impermeáveis que não são compatíveis à porosidade das paredes antigas (VELOSA, 2009). Visando o desenvolvimento de adequados projetos de restauro de revestimento argamassado de edifícios de interesse históricos, é crescente o interesse no desenvolvimento de pesquisas sobre as argamassas de cal e adições minerais que confiram pigmentação às argamassas.

A cal é um aglomerante inorgânico, ou mineral, aéreo, que misturado com água, forma uma pasta com propriedades aglomerantes, cujo endurecimento se dá pela reação com o Dióxido de Carbono (CO2), e após este processo, não resiste em ambientes úmidos ou em contato permanente com água. A utilização de pozolanas em conjunto com a cal possibilita a produção de um aglomerante hidráulico, resultando em produtos que resistem satisfatoriamente a ação da água. A cal é um dos ligantes mais antigos que se tem conhecimento, seu uso foi frequente entre as antigas civilizações como material construtivo, porém ao longo do tempo variou-se o processo de obtenção deste material, com a utilização de diferentes matérias-primas, tais como calcários, corais, mármores, e conchas de diversas espécies (SANTIAGO, 2007).

As construções com revestimento de argamassas à base de cal podiam ser encontradas na cor natural da cal (branca) ou em tons obtidos a partir da incorporação de pigmentos minerais como terras de óxido de ferro, cinzas e lazurita, materiais que apresentam características pozolânicas. De acordo com Velosa (2009, apud Cruz Souza, 2013, p. 19) argamassas com este tipo de adição apresentam características satisfatórias no seu comportamento e nas suas propriedades, conferindo durabilidade e resistência à ação prolongada da água. As pozolanas podem ser definidas com materiais silicosos ou sílico-aluminosos que possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas que quando finamente moídos e na presença de água reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio. Sua denominação deriva de uma região italiana conhecida por *Pozzoulli*, onde são encontradas cinzas vulcânicas, já utilizadas no império romano para, em conjunto com a cal, produzir argamassas e concretos resistentes à ação da água.

Neste contexto o presente trabalho busca analisar experimentalmente o comportamento de argamassas de cal com adição de diferentes pozolanas visando sua utilização em projetos de restauro de edificações antigas. No programa experimental desenvolvido foram avaliadas diferentes composições de argamassas de cal com três pozolanas, o pó de tijolo moído, a cinza volante e o metacaulim.

Diferentes fontes (KANAN, 2008 e VELOSA, 2009) sugerem a utilização de resíduo cerâmico como uma adição mineral empregada em argamassas de cal. O pó de cerâmica traz benefícios porque favorece o aumento da porosidade na argamassa, ajuda na pega e na cura final, e, dessa forma, melhora a durabilidade da argamassa. Também apresenta pozolanicidade, podendo ser utilizada inclusive para a produção de concretos em substituição parcial do Cimento Portland (GONÇALVES, 2005). Além disso,

garante uma pigmentação mais intensa por fazer parte da composição da argamassa e não ser apenas uma camada externa de pintura. A cinza volante utilizada é um subproduto resultante da combustão de carvão mineral pulverizado para a geração de energia. Ela é coletada nos precipitadores eletrostáticos e normalmente forma um aglomerado que é separado por moagem. Segundo Hoppe Filho (2008), a interação da cinza volante com a cal e a água resulta na formação de compostos hidratados, e a cinza volante consome esse hidróxido de cálcio, por atividade pozolânica. A terceira pozolana analisada é uma metacaulinita comercial, produzida a partir da calcinação do mineral caolinita, que se origina da alteração dos aluminossilicatos, principalmente feldspatos e micas. Trata-se de um material pulverulento, que apresenta características pozolânicas, podendo ser utilizado como material suplementar em argamassas e concretos (GONÇALVES, 2005).

2 MATERIAIS

2.1 Cal

No programa experimental realizado, foi utilizada cal hidratada do tipo CH1, com massa especifica 2,43 kg/dm^3.

2.2 Areia

Foi utilizado areia lavada e peneirada, separada nas seguintes frações granulométricas, grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100), reproduzindo a classificação utilizada na areia normal brasileira do Instituto de Pesquisas Tecnológicas(IPT). Tal procedimento teve o objetivo de garantir a mesma distribuição granulométrica para todos os ensaios realizados. A massa específica, obtida experimentalmente foi de 2,60 g/cm³.

2.3 Metacaulim

A adição mineral de metacaulim possui em sua composição química predominante o Silicato de aluminío ($Al_2Si_2O_7$), coloração creme claro, e suas principais características físico - químicas são: massa especifica de 2,56 kg/dm^3, área especifica BET: 230.000cm²/g, atividade pozolânica Chapelle: 880mg Ca(OH)2/g, perda ao fogo de 3%.

2.4 Cinza volante

A cinza volante utilizada foi produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas. De acordo com o fabricante sua composição química é SiO2 + Al2O3 + Fe2O3, possui coloração cinza claro e suas principais características fisico-quimicas são: massa específica: 2,35 kg/dm^3, índice de atividade pozolânica com o cal aos 7 dias > 6,0 MPa e perda ao fogo < 2,0%.

2.5 Tijolo moído

O pó de tijolo moído foi o material cerâmico analisado, produzido pela moagem de resíduos de blocos cerâmicos em laboratório e possui tom avermelhado. Foi utilizado um moinho de bolas/barras do tipo SONNEX marca PAVITEST. A moagem com barras de aço realizou a redução dos fragmentos de blocos cerâmicos, obtidos comercialmente na cidade do Rio de Janeiro, para uma granulometria próxima a areia. Após essa etapa, o resíduo foi submetido a um novo processo de moagem, desta vez, com a utilização de esferas de aço por 4 horas, de modo a obter um pó. Em ambas etapas foram utilizados 7 kg de resíduo para aproximadamente 60 kg de corpos moedores. A Figura 1 ilustra o moinho e o resíduo cerâmico antes e após o término da moagem.

Figura 1 - Moinho, fragmentos do resíduo cerâmico e seu aspecto após a moagem



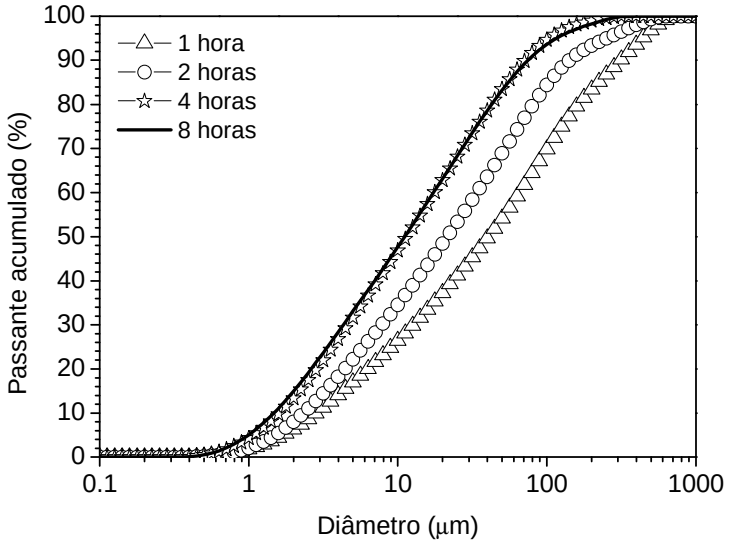
Fonte: Autores

A massa específica foi determinada conforme a ABNT NBR NM 23:2000 obtendo-se 2,58 kg/dm^3. Os resultados da análise granulométrica estão apresentados na Com relação a atividade pozolânica, ensaios realizados utilizando cimento Protland, conforme estabelecido pela 12653:2012, indicaram uma relação de 67% entre o valor de resistência à compressão obtido para a argamassa de referência (REF) e para a argamassa contendo o resíduo cerâmico (REF_RT). Tal valor é um indicativo de não pozolanicidade do resíduo cerâmico analisado.

Figura 2(granulometria laser), para amostras coletadas em diferentes intervalos de tempo de moagem (1h, 2h, 4h e 8h). Observa-se que para 4 horas de moagem 50% dos grãos do resíduo são inferiores a 11 μm.

Com relação a atividade pozolânica, ensaios realizados utilizando cimento Protland, conforme estabelecido pela 12653:2012, indicaram uma relação de 67% entre o valor de resistência à compressão obtido para a argamassa de referência (REF) e para a argamassa contendo o resíduo cerâmico (REF_RT). Tal valor é um indicativo de não pozolanicidade do resíduo cerâmico analisado.

Figura 2 - Curvas granulométricas do resíduo cerâmico



Fonte: Autores

A Figura 3 ilustra os aspecto das adições minerais empregadas em conjunto com a cal para a produção das argamassas analisadas.

Figura 3 - Aspecto das adições minerais analisadas: pó de tijolo moído, metacaulim e cinza volante, respectivamente.



Fonte: Autores

3 MÉTODOS

3.1 Produção de misturas

3.1.1 Definição dos traços

Os traços analisados foram estabelecidos com base na bibliografia e a partir dos resultados de Índice de Consistência (NBR 5751 ABNT 2012). A relação volumétrica aglomerante:areia foi adotada como 1:3, por se tratar de um traço usual em obras de restauro para argamassas a base de cal. Souza

(2013) indica que historicamente as argamassas a base de cal para revestimentos utilizavam relações cal:areia de 1:1,1:2, 1:3 e 1:4. No programa experimental realizado, fixou-se a relação aglomerante:areia (1:3), de modo a possibilitar a análise do efeito das pozolanas estudadas em conjunto com a cal. A proporção de água (relação volumétrica aglomerante:água) foi definida através de estudos preliminares com argamassas de cal e tijolo moído de modo que estas atingissem um índice de consistência de 225 mm ± 25 mm, tendo sido encontrada uma relação aglomerante:água de 1:2. Assim os traços foram definidos utilizando uma proporção volumétrica 1:3:2 fixa, sendo: o número 1 referente ao aglomerante (cal e adição mineral), o número 3 referente à areia e o número 2 à água. Mantendo fixas as proporções de areia e água com relação ao aglomerante, foram analisadas diferentes misturas considerando as seguintes relações volumétricas cal:pozolana: 1:0,5 ; 1:1 ; 1:2 ; 1:3. A partir dos resultados do ensaio de Índice de Consistência foram avaliados ainda traços variando a proporção aglomerante:água, determinados de modo a manter constante o índice de consistência (225 mm ± 25 mm). A Tabela 1 apresenta a nomenclatura utilizada.

Tabela 1 – Argamassas analisadas (nomenclatura e relações volumétricas).

Pozolana	Cal:Pozolana	Aglomerante:água 1:2	Aglomerante:água variável*
Metacaulim	1:0,5	Mk305	Mk305x
	1:1	Mk310	Mk310x
	1:2	Mk320	Mk320x
	1:3	Mk330	Mk330x
Cinza Volante	1:0,5	Cv305	Cv305x
	1:1	Cv310	Cv310x
	1:2	Cv320	Cv320x
	1:3	Cv330	Cv330x
Tijolo moído	1:0,5	Tj305	-
	1:1	Tj310	-
	1:2	Tj320	-
	1:3	Tj330	Tj330x

* A relação aglomerante:água é variável, mantendo constante o I.C. Fonte: Autores

3.1.2 Produção das argamassas

As argamassas foram produzidas em laboratório climatizado, com temperatura mantida a 24 ± 2 °C. Os materiais foram pesados em balança eletrônica e a mistura foi realizada em argamassadeira padrão. O procedimento adotado é sucintamente descrito a seguir: homogeneização dos aglomerantes (mistura Cal e pozolana); homogeneização manual dos aglomerantes com a areia; adicionar a água e misturar por 1 minuto na velocidade 1; manter em descanso por 2 minutos; mistura por mais 1 minuto na velocidade 2; descansar por 1 minuto, antes da realização do ensaio de

Índice de Consistência.

Após a realização dos ensaios no estado fresco, para cada argamassa foram moldados 9 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5 x 10 cm, para determinação da resistência à compressão. As dimensões dos corpos de prova foram adotadas conforme prescrito pela NBR 5751 (ABNT 2012). A mistura e a moldagem foram realizadas conforme a NBR 7215 (ABNT 1996). As argamassas de tijolo moído e metacaulim permaneceram nos próprios moldes por 4 dias até a desmoldagem. As argamassas que utilizaram cinza volante apresentaram um maior tempo de pega, tendo sido necessário aguardar de 5 à 14 dias para a retirada do molde. Após a desmoldagem os corpos de prova foram mantidos ao ar em laboratório, durante 100 dias antes da realização dos ensaios de resistência à compressão.

3.2 Ensaios no estado fresco

3.2.1 Índice de consistência

Para avaliação da trabalhabilidade das argamassas foi realizado o ensaio de Índice de Consistência conforme preconizado pela NBR 7215 (ABNT 1996). Para as argamassas que não atingiram o espalhamento de 225 mm ± 25 mm, utilizado como critério para estabelecer um padrão de trabalhabilidade, o ensaio foi repetido corrigindo a quantidade de água até ser atingido o I.C. esperado.

3.3 Ensaio no estado endurecido

3.3.1 Ensaio de resistência à compressão

Para cada argamassa o ensaio de resistência à compressão foi realizado em 3 corpos de prova cilíndricos (5 x 10 cm), com idade aproximada de 100 dias. Os ensaios foram feitos em prensa universal hidráulica, AMSLER (modernizada em 2013), com capacidade de carga de 30Tf. O software CSHC 40 da prensa foi configurado com uma velocidade de carregamento de 1,00 kgf/s. Através de sensores de deslocamento (LVDT), ligados a um sistema de aquisição de sinais *Lynx*, foi possível determinar durante a realização do ensaio, as curvas tensão x deformação das diferentes argamassas analisadas. A Figura 4 ilustra o ensaio de resistência à compressão.

Figura 4 - Ensaio de resistência à compressão.





Fonte: Autores

4 RESULTADOS

4.1 Estado fresco

A Tabela 3 apresenta os resultados de Índice de Consistência obtidos no estado fresco para as argamassas estudadas, onde a nomenclatura empregada corresponde a apresentada na Tabela 1. Também é apresentada a relação aglomerante:água para as diferentes argamassas.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios no estado fresco

Pozolana	Argamassa	Aglomerante : água	IC (mm)
Metacaulim	Mk305	1 : 2,0	180
	Mk305x	1 : 2,2	225
	Mk310	1 : 2,0	170
	Mk310x	1 : 2,3	230
	Mk320	1 : 2,0	150
	Mk320x	1 : 2,4	215
	Mk330	1 : 2,0	145
	Mk330x	1 : 2,5	220
Cinza Volante	Cv305	1 : 2,0	280
	Cv305x	1 : 1,5	210
	Cv310	1 : 2,0	300
	Cv310x	1 : 1,4	200
	Cv320	1 : 2,0	310
	Cv320x	1 : 1,5	225
	Cv330	1 : 2,0	310
	Cv330x	1 : 1,6	250
Tijolo moído	Tj305	1 : 2,0	225
	Tj310	1 : 2,0	215
	Tj320	1 : 2,0	215
	Tj330	1 : 2,0	180
	Tj330x	1 : 2,1	230

Fonte: Autores

Observando os dados da Tabela 3, conclui-se que para argamassas com tijolo moído a relação água:aglomerante 1:2 conduz a Índices de Consistência dentro da faixa adotada. Exceção feita para a argamassa TJ330, onde foi necessário a adição de água para manutenção da trabalhabilidade (Tj330x).

Argamassas com adição de cinza volante apresentaram um aumento do Índice de Consistência com o teor de adição em relação a cal, tendo sido verificado um aumento da fluidez da argamassa. Dessa forma, foi necessário a correção do traço com a diminuição do teor de água para obtenção de uma argamassa com a trabalhabilidade requerida.

Nas argamassas com adição de metacaulim, todos os traços apresentaram uma redução do Índice de Consistência com o aumento do teor de metacaulim, produzindo argamassas mais secas. Para obtenção de argamassas com a trabalhabilidade requerida os traços foram corrigidos com adição de água.

4.1 Estado endurecido

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão obtidos no estado endurecido para as argamassas estudadas. Também são apresentados o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Argamassas	*fc (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
Mk305	2,35	0,17	7,32%
Mk305x	2,11	0,07	3,13%
Mk310	3,06	0,24	7,76%
Mk310x	2,30	0,08	3,30%
Mk320	6,37	0,95	14,95%
Mk320x	3,31	0,19	5,78%
Mk330	3,82	0,60	15,63%
Mk330x	2,69	0,12	4,32%
Cv305	0,72	0,06	8,39%
Cv305x	0,90	0,05	5,47%
Cv310	0,63	0,05	8,66%
Cv310x	1,32	0,04	4,34%
Cv320	0,45	0,05	11,05%
Cv320x	0,82	-	-
Cv330	0,68	0,01	1,47%
Cv330x	0,61	0,07	11,97%
Tj305	1,89	-	-
Tj310	1,45	0,13	9,30%
Tj320	0,90	0,04	4,48%
Tj330	0,43	0,05	11,43%
Tj330x	0,53	0,03	6,54%

*Valor médio resultante dos resultados de três corpos de prova, exceção feita as misturas Cv320x e Tj305, onde foram utilizados os resultados de apenas dois corpos de prova. Fonte: Autores

A análise dos resultados de resistência à compressão indicam que as argamassas com metacaulim foram aquelas que apresentaram a maior resistência em todos os teores avaliados. Observa-se ainda, que a proporção cal:metacaulim de 1:2 foi conduziu aos maiores valores de resistência à compressão (mistura Mk320). Com relação às misturas onde foi modificado o teor de água para manutenção do Índice de Consistência (misturas com sufixo x), percebe-se que o aumento da quantidade de água levou a uma queda da resistência, mas ainda assim, a proporção cal:metacaulim de 1:2 foi aquela onde foi obtida a maior resistência.

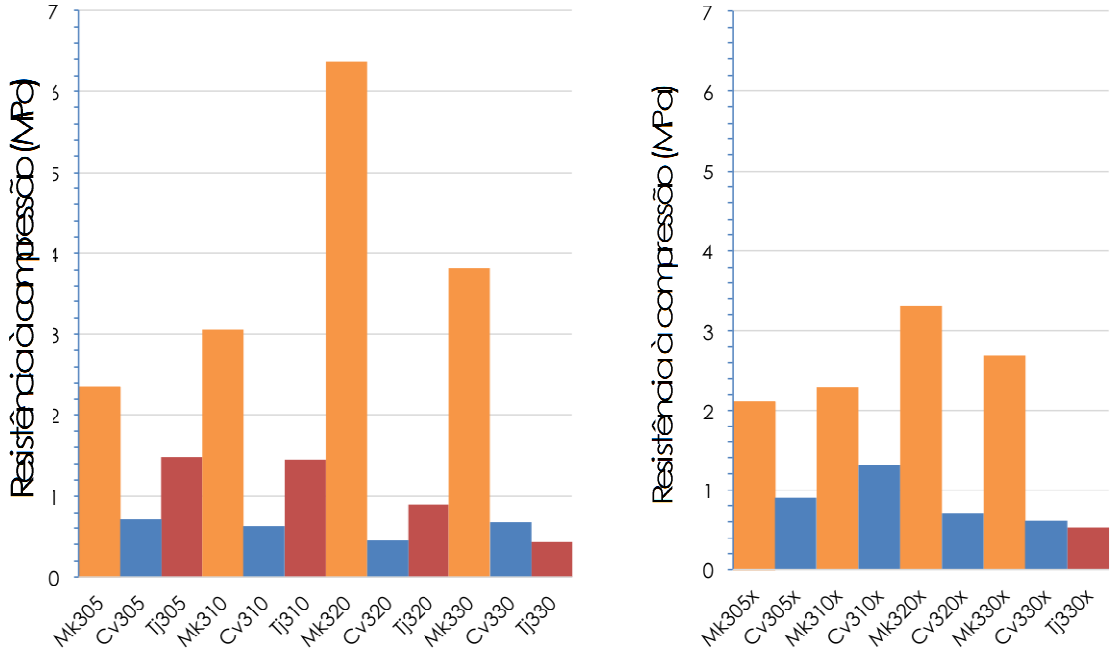
As argamassas com utilização de cinza volante apresentaram as menores resistências. Apenas na proporção cal:cinza volante de 1:3 (Cv330) o valor médio de resistência à compressão foi superior ao obtido na argamassa com

tijolo moído com o mesmo teor adição mineral (Tj330). Observa-se, como esperado, que a redução do teor de água (misturas com sufixo x) propiciou um aumento nas resistência das argamassas. O maior valor médio de resistência à compressão para essa série de misturas foi obtido quando adotada uma relação cal:cinza volante de 1:1, e uma relação aglomerante:água de 1:1,4 (mistura Cv310x).

As argamassas com tijolo moído apresentaram valores intermediários de resistência à compressão, sendo que o aumento do teor do tijolo moído proporcionou uma queda na resistência. Para essa série, observa-se que o maior valor de resistência à compressão foi obtido para relação cal:tijolo moído de 1:0,5 e relação aglomerante:água de 1:2.

A Figura 5 apresenta de modo comparativo os resultados dos valores médios obtidos para a resistência á compressão de todas as argamassas analisadas.

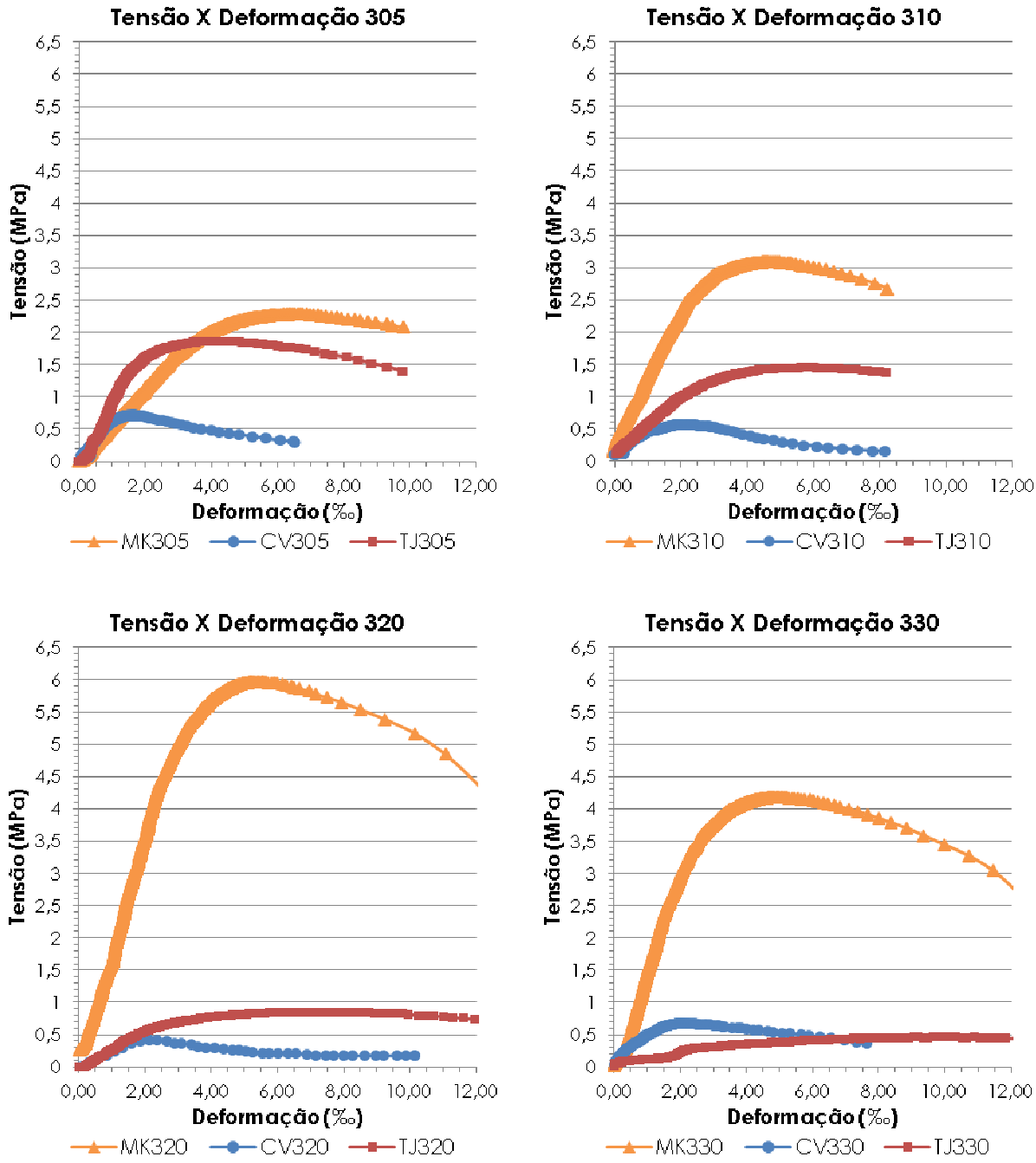
Figura 5 - Valores médios de resistência à compressão dos traços sem e com alteração no teor de água, respectivamente.



Fonte: Autores

Durante os ensaios de resistência à compressão foram obtidas as curvas tensão x deformação para todas as argamassas estudadas. A Figura 6 apresenta curvas típicas para as argamassas com a mesma proporção aglomerante:água (1:2). De modo geral, observa-se que as argamassas com metacaulim, além de apresentarem maiores valores de resistência à compressão, também apresentaram uma maior rigidez do trecho linear-elástico, excetuando-se as argamassas com relação cal:pozolana de 1:0,5, onde a maior rigidez foi observada para a argamassa com tijolo moído. Observa-se ainda, que as argamassas com tijolo moído apresentam uma maior deformabilidade, com maiores deformações de ruptura para as proporções cal:pozolana 1:1, 1:2 e 1:3.

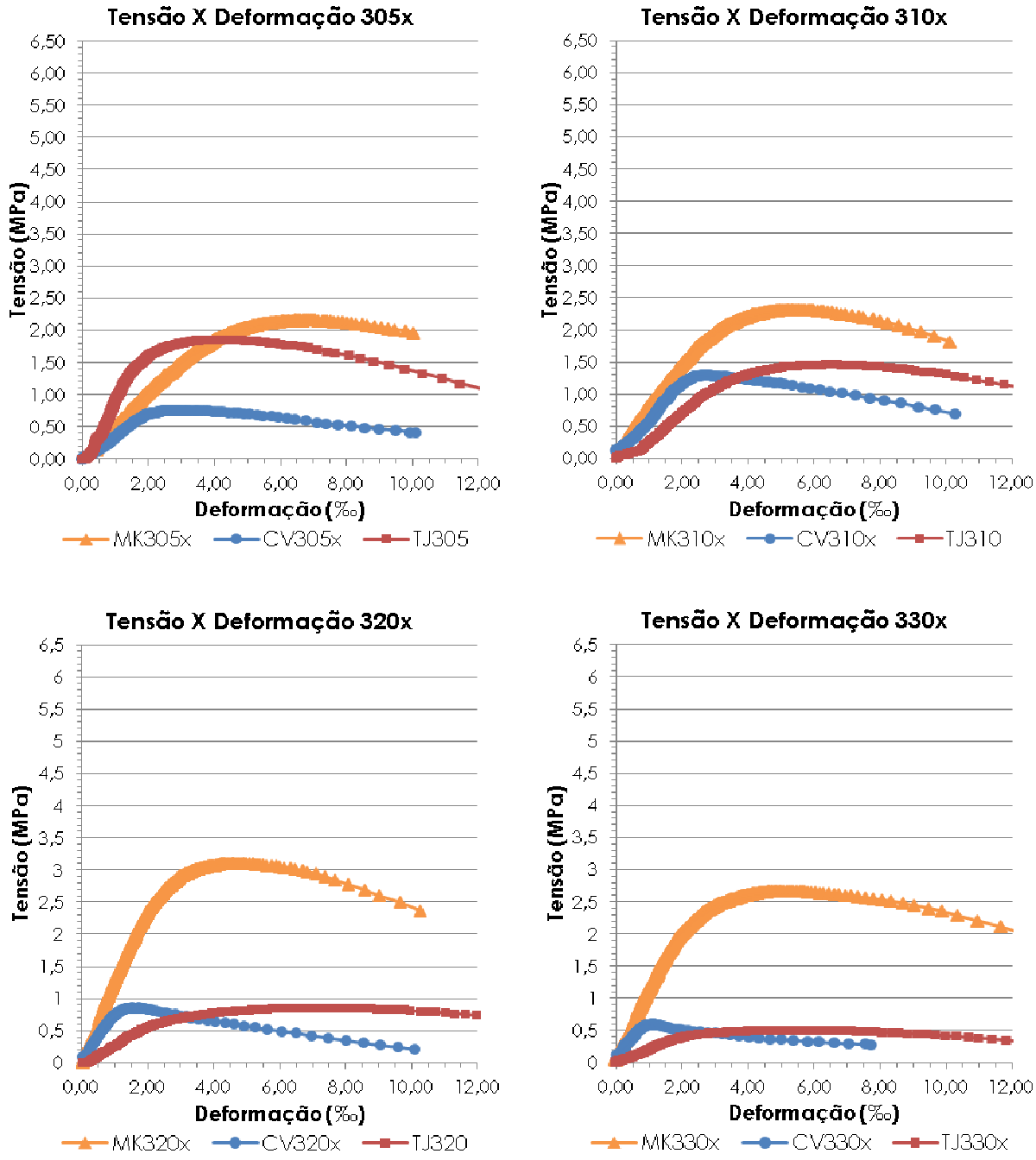
Figura 6 - Curvas típicas de tensão x deformação para as argamassas com a mesma relação aglomerante:água (1:2)



Fonte: Autores

A Figura 7 apresenta curvas típicas de tensão x deformação para argamassas com I.C dentro da faixa estipulada, mas com variação da relação aglomerante:água. Tal análise tem por objetivo permitir a comparação do comportamento das argamassas com trabalhabilidade equivalente.

Figura 7 - Curvas típicas de tensão x deformação para as argamassas com o mesmo Índice de Consistência e variação da relação aglomerante:água



Fonte: Autores

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho permitiram avaliar o comportamento de argamassas de cal com a utilização de diferentes pozolanas em diferentes teores.

No estado fresco constatou-se que com o aumento do teor de tijolo moído e metacaulim verifica-se uma diminuição do índice de consistência, enquanto a cinza volante proporciona uma maior fluidez da argamassa.

No estado endurecido observa-se que argamassas com metacaulim apresentaram maiores resistências à compressão, sendo que a proporção cal:metacaulim de 1:2 foi aquela que proporcionou as resistências máximas, mesmo na mistura onde foi alterado o teor de água para manutenção da trabalhabilidade.

As argamassas com cinza volante apresentaram as menores resistências à compressão, indicando uma menor reatividade do material com cal, fato também verificado pelo endurecimento mais lento observado quando da desmoldagem dos corpos de prova. A argamassa com proporção cal:cinza volante de 1:1 foi a que apresentou maior resistência à compressão.

Nas argamassas com tijolo moído, para as proporções analisadas, o aumento do teor de adição mineral levou a uma redução da resistência à compressão. O maior valor de resistência à compressão foi obtido para a proporção cal:tijolo moído de 1:0,5. Observa-se, no entanto, que quando foi utilizada a mistura cal:tijolo moído de 1:1, obteve-se um valor de resistência à compressão ainda satisfatório, porém com maior deformação de ruptura, o que é benéfico para em argamassas de revestimento.

Os teores de água foram alterados na produção das argamassas para elas manterem a mesma trabalhabilidade. Foi possível constatar que o aumento deste teor de água resultou na redução nos valores de resistência à compressão nas argamassas com metacaulim. Nas argamassas com cinza volante, a diminuição de água aumentou a resistência à compressão da argamassa.

Os resultados obtidos ampliam o conhecimento sobre o comportamento de argamassas de cal com adições das pozolanas estudadas. Os resultados preliminares apresentados neste trabalho indicam que os materiais desenvolvidos apresentam potencial de aplicação como argamassas de revestimento em projetos de restauro de edifícios antigos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPERJ pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751** - Materiais Pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. Revisão em 1997.

_____. **NBR12653**: Cimento Portland - Materiais Pozolânicos, Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR15894**:Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Rio de Janeiro, 2010

_____. **NBR NM 23:2000:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica . Rio de janeiro, 2000.

COSTA, A. P. T. **Argamassas de revestimento para fachadas em edificações históricas: composição, aplicabilidade e restauro.**2003. 127 mestrado - PROARQ-FAU/UFRJ, 2003.

FONSECA, D. B. **Tintas e pigmentos no patrimônio urbano pelotense: um estudo dos materiais de pintura do século XIX**. Mestrado, UFBA, 2006. 205p.

GLEIZE, P.J.P.; MOTTA, E.V.; SILVA, D.A.; ROMAN, H.R. **Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil)**. UFSC, 2009.

GOMES, A. O. **Argamassas para revestimento de edificações**. [S.l.]: UFBA, 2006.

GONÇALVES, J. P., **Desenvolvimento e Caracterização de Concretos de Baixo Impacto Ambiental Contendo Argila Calcinada e Areia Artificial.** Tese de Doutorado, UFRJ, 2005.

HOPPE FILHO, J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto**. Tese de Doutorado, EPUSP, 2008. 247p.

KANAN, M. I. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal**. – Brasília, DF : IPHAN/Programa Monumenta, 2008. 172 p. (Cadernos Técnicos; 8).

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. - Salvador : EDUFBA, 2007. 202 p

SOUZA, J. S. C. **Estudo de argamassa à base de cal e metacaulim para intervenções em revestimento das edificações históricas.** Mestrado - Recife, 2013. 227 p.

VEIGA, M. R.; AGUIAR, J.; SILVA, A. S.; CARVALHO, F. **Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos**. Lisboa: LNEC, 2004.126p.

VELOSA, A. L. P. L. **Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas**. Aveiro: Doutorado em Engenharia Civil - Universidade de Aveiro, 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO GRAU DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO POR PERDA AO FOGO[1]

MASUELA, Fábio Blas (1); CAMARINI, Gladis (2)

(1) UNICAMP, e-mail: fabblas@gmail.com; (2) UNICAMP, e-mail: gcamarini@gmail.com

RESUMO

Este trabalho estudou o grau de hidratação do cimento Portland, por meio da determinação dos valores de água não evaporável, empregando o ensaio de perda ao fogo a 600 °C e a 1000 °C. O estudo se deu em cimentos com adição de escória de alto-forno, (CP III 40 RS e CP II E 32), e sem adições de escória (CP II F 32 e CP V ARI). As pastas foram submetidas a diferentes temperaturas de cura: 20 °C, 40 °C e 60 °C. Os resultados confirmaram o efeito da temperatura de cura na hidratação dos cimentos, principalmente para o cimento com escória de alto-forno. Para a determinação do grau de hidratação, observou-se que o valor teórico do percentual de água não evaporável de 0,23 (23%) foi adequado para os cimentos avaliados. A determinação da perda ao fogo a 600 °C permitiu uma avaliação adequada do grau de hidratação dos cimentos Portland, cujos valores também são confirmados na literatura.

Palavras-chave: Grau de Hidratação. Cimento Portland. Temperatura de cura. Perda ao Fogo.

ABSTRACT

This study examines the degree of hydration of Portland cement, by the determination of non-evaporable water content, by the loss on ignition test at 600 °C and at 1000 °C. Two cements had blast furnace slag addition, (CPIII 40 RS and CP II E 32), and two cements without slag addition (CP II F 32 and CP V ARI). The pastes were subjected to different curing temperatures: 20°C, 40°C and 60°C. The results confirmed the effect of curing temperature on the cements hydration, in particular to blast furnace slag cements. The degree of hydration was determined with the theoretical value of 23% of non-evaporable water. It was observed that this value was suitable for the studied cements. Determination of loss on ignition at 600 °C allowed a proper assessment of the degree of hydration of Portland cement, whose values are confirmed on the literature.

***Keywords**: Degree of hydration. Portland Cement. Curing temperature. Loss on ignition.*

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do cimento Portland é um tema importante e está ligada à resistência e durabilidade das construções. O estudo da hidratação do cimento Portland é importante tanto para o meio acadêmico como para o mercado consumidor. No meio acadêmico há uma busca pela

[1] MASUELA, Fábio Blas; CAMARINI, Gladis. Avaliação do grau de hidratação do cimento por perda ao fogo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

compreensão de fenômenos químicos e microestruturais que influenciam na hidratação do cimento, pois estas características são complexas e interdependentes (BULLARD et al., 2011) e que subsidiam o mercado com resultados de pesquisas e inovações. Para o mercado, a importância se dá pela crescente produção e consumo de cimentos com adições minerais em busca de materiais sustentáveis, econômicos e acima de tudo, com desempenho satisfatório (BULLARD et al., 2011).

A produção de clínquer ocasiona 5 a 8% da emissão de CO_2 produzida pelo homem, e a redução desta taxa é um dos aspectos relevantes e que se almeja no presente e para o futuro (SCHNEIDER et al., 2011). Desta forma, adições minerais são amplamente utilizadas nos concretos modernos (LOTHENBACH et al., 2011). O uso das adições, tais como escória de alto forno com propriedades hidráulicas latentes, cinzas volantes e sílica ativa, que possuem propriedades pozolânicas, bem como uma combinação de materiais inertes de elevada finura, podem melhorar as propriedades do concreto, amenizar o impacto ambiental, e trazer benefícios econômicos (HAN et al., 2015).

O grau de hidratação do cimento Portland é uma característica importante para o desempenho das estruturas. Assim, métodos que possam determinar essa propriedade tornam-se cada vez mais relevantes, considerando ainda a complexidade de reações existentes entre os cimentos Portland com adições minerais em diferentes temperaturas de cura. Temperaturas variando entre 20 °C e 60 °C podem ser alcançadas em diferentes etapas de construção nas diversas regiões brasileiras. O conhecimento das propriedades do concreto nas primeiras idades é fundamental para as obras, principalmente pela necessidade de desforma rápida.

2 GRAU DE HIDRATAÇÃO

O cimento Portland é um aglomerante que ao hidratar apresenta características físicas e mecânicas que atendem as necessidades da engenharia. Os produtos principais da hidratação do cimento Portland são os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. Os aluminatos são responsáveis pela pega e pelo enrijecimento da matriz, e os silicatos pela resistência mecânica (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A pega refere-se a uma perda de plasticidade com liberação de calor (reações exotérmicas), enquanto que no endurecimento há o desenvolvimento da resistência mecânica do material em um processo mais lento (TAYLOR, 1990).

O progresso da hidratação é denominado grau de hidratação que está relacionado com a idade do cimento Portland e a cinética de hidratação (TAYLOR, 1990). É possível determinar o grau de hidratação do cimento medindo-se a quantidade de $Ca(OH)_2$ na pasta, pelo calor desenvolvido durante a hidratação, pela quantidade de água quimicamente combinada (ou água não evaporável) e pela quantidade de cimento não hidratado (NEVILLE e BROOKS, 2013).

O grau de hidratação da pasta de cimento pode ser determinado

conhecendo-se a porcentagem da massa da água não evaporável (W_n) (TAYLOR, 1990). Monteagudo e colaboradores (2014) estudaram a água não evaporável por meio de ensaio de termogravimetria (TG). Esses autores discutiram a metodologia de Pane e Hanses (2005) e Bhatty (1986) que classificaram faixas de temperatura do ensaio de TG em região de desidratação (LDH), desidroxilação (LDX) e descarbonatação (LDC). Onde LDH e LDX são regiões que contemplam a perda de toda a água quimicamente combinada, ocorrendo até a temperatura de 580 °C, e a região LDC devido à perda do CO_2 do calcário presente no cimento em temperaturas de até 1100 °C.

Há na literatura trabalhos que determinam a água não evaporável pelo ensaio de perda ao fogo avaliando a perda de massa em temperatura de 900 °C a 1000 °C, todos eles com o objetivo de avaliar o grau de hidratação do cimento (AMEN, 2011; HUANHAI, 1993; LAM, WONG e POON, 2000; NARMLUK e NAWA, 2011). Em todos esses casos o grau de hidratação foi determinado por meio da relação entre a água não evaporável (W_n), definida em ensaio, pelo valor teórico da água não evaporável ("x") (Equação 1).

$$\alpha = (W_n/x).\ 100 \qquad (1)$$

O valor teórico do teor de água não evaporável "x" para um cimento Portland comum completamente hidratado, em condições ideais, é de 32% (TAYLOR, 1990); entretanto, em condições usuais, com relação água/cimento elevada, e para cimentos Portland com adições, o valor teórico "x" encontrado na literatura apresenta uma grande variação. Segundo Neville (1997), este valor pode estar entre 18% e 23% (em massa, em relação ao material anidro). Há trabalhos que utilizaram 23% (AMEN, 2011; HUANHAI, 1993; LAM, WONG e POON, 2000; NARMLUK e NAWA, 2011). Monteagudo e colaboradores (2014) utilizaram 24%, afirmando que esse valor teórico "x" varia entre 23% e 25%. Escalante-Garcia (2003), trabalhando com cimentos puros, encontrou resultado de 23% para o valor de "x", afirmando que em cimentos com adições há diferenças nesses valores, pois dependendo das características das adições é necessária água adicional para manter a trabalhabilidade da pasta.

O objetivo deste trabalho experimental é determinar o grau de hidratação de cimentos Portland encontrados no mercado brasileiro, particularmente na região metropolitana de Campinas, por meio de ensaios de perda ao fogo, submetidos a diferentes temperaturas de cura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho experimental foram utilizados os seguintes cimentos:

a) Cimento Portland Composto com Fíller, CP II F 32, que contém um valor máximo de 10% de material carbonático em sua composição (ABNT, 1991).
b) Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V ARI, que apresenta um valor máximo de 5% de adições (escória granulada de alto-forno, ou pozolana, ou material carbonático) (ABNT, 1991).
c) Cimento Portland Composto com Escória, CP II E 32, que contém um valor máximo de 34% de escória granulada de alto-forno em sua composição (ABNT, 1991).
d) Cimento Portland de alto-forno, CP III 40 RS, que contém um valor máximo de 70% de escória granulada de alto-forno em sua composição (ABNT, 1991).

A Tabela 1 apresenta as características químicas e físicas desses cimentos, empregados no trabalho experimental.

Tabela 1 – Características dos cimentos Portland

Óxidos	CP II F	CP V	CPII E	CP III
CaO	**60,84%**	**64,03%**	**55,30%**	**54,40%**
SiO_2	**19,03%**	**19,04%**	**23,10%**	**24,61%**
Al_2O_3	**4,60%**	**5,01%**	**6,74%**	**7,32%**
Fe_2O_3	**3,22%**	**3,23%**	**2,43%**	**1,90%**
MgO	**3,20%**	**1,74%**	**3,77%**	**0%**
SO_3	**3,23%**	**3,11%**	**1,89%**	**2,78%**
Finura Blaine (m^2/kg)	**3810**	**5330**	**3890**	**4500**
Início de pega (min)	**180**	**160**	**185**	**200**
Fim de pega (min)	**285**	**265**	**290**	**295**

Fonte: Fabricantes dos cimentos

3.2 Mistura experimental e Cura

Os ensaios foram realizados em pastas de cimento, todas com relação a/c 0,45. Foram moldados três corpos de prova para cada tipo de cimento em moldes hermeticamente fechados, totalizando doze corpos de prova. Após o início da pega do cimento, três corpos de prova foram curados por 24 horas em diferentes temperaturas de cura, a saber, 20 °C, 40 °C e 60 °C. Adotou-se esse procedimento em função da logística e da disponibilidade dos equipamentos para os ensaios. Além disso, a cura térmica pode ser um elemento importante em cimentos com adições, acelerando o processo de hidratação desde início da pega até períodos mais prolongados de cura. Assim garante-se que este tempo possa auxiliar as reações mesmo após a formação da carapaça hidratada em torno dos grãos anidros de cimento. Em seguida, ainda nos moldes, as pastas permaneceram em repouso em ambiente de laboratório até a data do ensaio de 14 dias. Esse procedimento também foi adotado por ser um período médio de desforma das estruturas de concreto. Logo, seria possível avaliar se o cimento teria uma hidratação

adequada para desforma.

3.3 Métodos

Nas pastas foram determinadas as perdas ao fogo a 600 °C e a 1000 °C na idade de 14 dias. Na véspera do ensaio as amostras permaneceram na estufa a 100 °C por 24 horas para perda de água livre. Em seguida foram colocadas em um dessecador por 30 minutos para esfriar. Esse material foi fragmentado e colocado em três cadinhos de porcelana de 4mL onde foram pesados (m_1) e levados à mufla. Esse procedimento foi adotado para todos os tipos de cimento avaliados.

As amostras permaneceram na mufla por um período de 6h: três horas para estabilizar a temperatura do conjunto mufla+cadinho+amostra, e três horas para finalizar o procedimento de perda ao fogo. Ao término do ensaio as amostras foram pesadas (m_2). Este procedimento foi realizado para ambas as temperaturas: 600 °C e 1000 °C.

Assim, com os valores das massas das amostras antes do ensaio (m_1) e após o ensaio (m_2) foi calculada a perda ao fogo (PF) que corresponde à água não evaporável (W_n) (Equação 2). O grau de hidratação (α) foi calculado com base na Equação 1, utilizando o valor de 0,23 (23%) para o valor teórico da água não evaporável ("x").

$$PF\ (\%) = W_n\ (\%) = [(m_1 - m_2)/m_1]. 100 \quad (2)$$

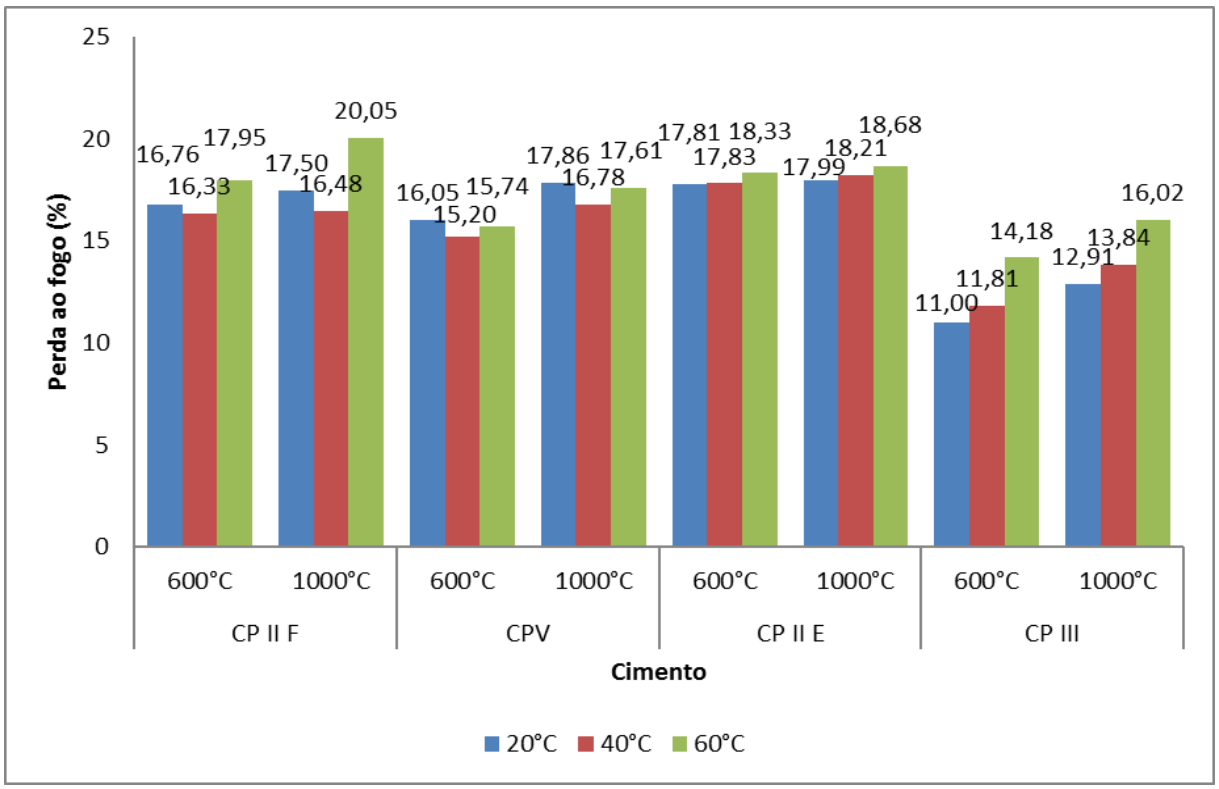
Os resultados de perda ao fogo a 600 °C e a 1000 °C foram analisados estatisticamente pelo método de t-student para teste de hipóteses para as médias com duas populações pareadas (dependentes) para determinar, entre os resultados dos ensaios, se houve (S) ou não houve diferença significativa (NS). Também foram analisados estatisticamente os resultados de PF entre as temperaturas de cura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados dos ensaios de PF a 600 °C e a 1000 °C (Equação 2) dos cimentos Portland curados em diferentes temperaturas de cura. Estes valores foram analisados estatisticamente pela hipótese de os resultados dos ensaios a 600 °C e 1000 °C apresentarem ou não diferenças significativas.

Com base nesses resultados, obteve-se a Tabela 2, que apresenta os resultados da comparação entre os ensaios de PF para cada cimento. Esses resultados indicam se há ou não diferenças estatisticamente significativas entre a perda ao fogo a 600 °C e a perda ao fogo a 1000 °C.

Figura 1 - Perda ao fogo a 600 °C e 1000 °C das pastas de cimento curadas em diferentes temperaturas de cura



Fonte: Os autores

Tabela 2 – Resultados da análise estatística dos ensaios de PF

PF: 600 °C = 1000 °C ou PF: 600 °C ≠ 1000 °C		Temperatura de cura		
		20 °C	40 °C	60 °C
Cimento	CP II F	NS	NS	S
	CP V	NS	NS	NS
	CP II E	NS	NS	NS
	CP III	NS	NS	NS

Legenda:. S – há diferença significativa; NS – não há diferença significativa

Fonte: Os autores

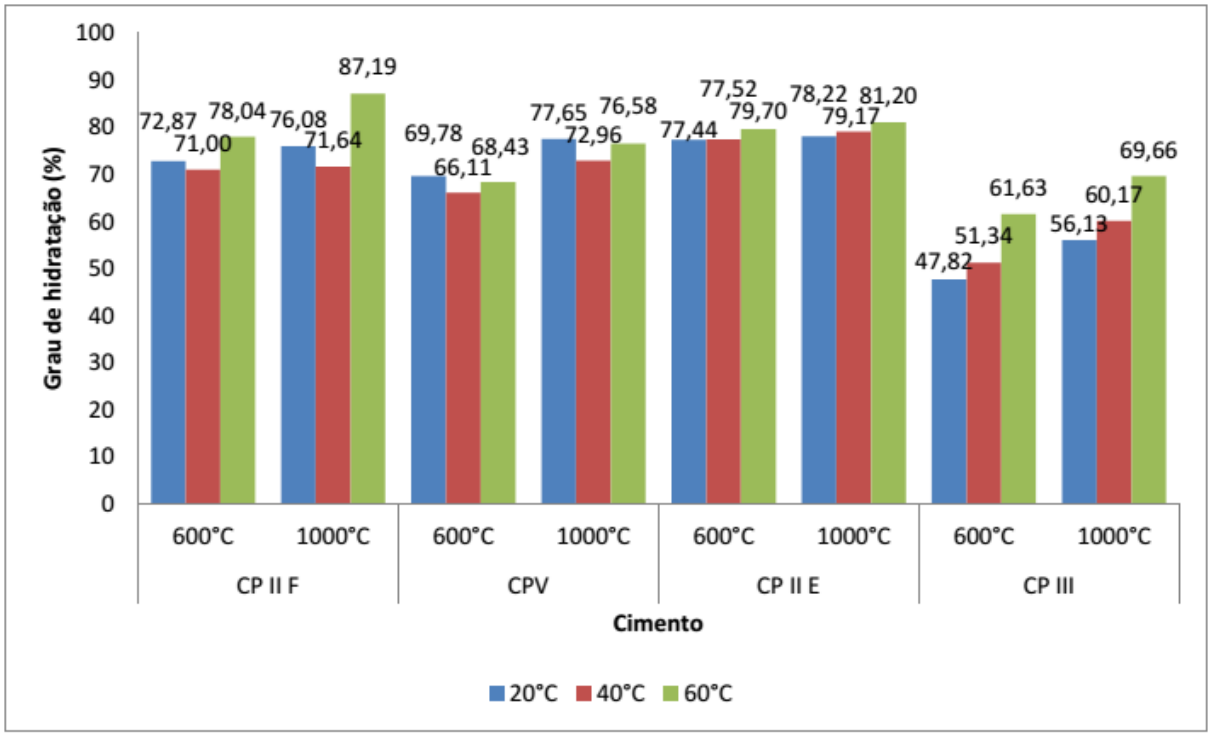
Os resultados da PF a 600 °C e 1000 °C apresentados na Tabela 2 indicam que não há diferenças significativas para todos os cimentos, nem para as três temperaturas de cura, considerando-se que o fim da liberação da água não evaporável ocorre até a temperatura de 580 °C (TAYLOR, 1990; MONTEAGUDO et al., 2014).

A única diferença significativa entre os ensaios de PF aconteceu com o cimento CP II F. Isto acontece, pois, a faixa de temperatura entre 600 °C a 1000 °C ocorre a liberação de CO_2 correspondente ao fíler calcário, presente em maior quantidade no cimento CP II F (BHATTY, 1986; TAYLOR, 1990; PANE e HANSES, 2005; ALARCON-RUIZ et al., 2005; MONTEAGUDO et al.,

2014).

Portanto, para calcular o grau de hidratação é possível fazer a PF até 600 °C para os cimentos com baixo teor de filler calcário. Desta forma, os graus de hidratação foram calculados utilizando a Equação 1, com o valor teórico "x" igual a 0,23 (Figura 6). Como o grau de hidratação é diretamente proporcional a W_n, as comparações estatísticas entre os resultados se equivalem.

Figura 2 – Grau de hidratação (%) (para x = 0,23), em diferentes temperaturas de cura



Fonte: Os autores

Os resultados foram bastante satisfatórios, apresentando valores médios do grau de hidratação de 75% em pastas com idade de 14 dias, exceto para o cimento CP III que apresentou resultados inferiores, como esperado. Valores próximos aos obtidos neste trabalho experimental foram encontrados em estudos anteriores (HUANHAI, 1993; LAM, WONG e POON, 2000; NARMLUK e NAWA, 2011; WANG e LEE, 2010, 2012).

A Tabela 3 apresenta a avaliação da hipótese de que os resultados dos ensaios de PF, nas diferentes temperaturas de cura, apresentaram diferenças significativas (S) ou não (NS), considerando as mesmas condições de ensaio.

Tabela 3 – Avaliação estatística dos resultados de PF

Teste-t		20°C-40°C	20°C-60°C	40°C-60°C
PF 600 °C	CP II F	NS	NS	NS
	CP V	NS	NS	NS
	CP II E	NS	NS	NS
	CP III	NS	S	S
PF 1000 °C	CP II F	NS	S	S
	CP V	NS	NS	NS
	CP II E	NS	NS	NS
	CP III	NS	S	S

Legenda: S – diferença significativa; NS – diferença não significativa.

Fonte: Os autores

Os resultados da Tabela 3, e os resultados do grau de hidratação (Figura 2), evidenciaram que o cimento com escória de alto forno, CP III 40 RS, é o mais sensível à cura térmica. Para suprir a hidratação lenta inicial na cura a 20 °C é necessário acelerar as reações que podem ocorrer por métodos de ativação mecânica, química e térmica (SAJEDI e RAZAK, 2011). Na escória de alto forno, a finura é uma forma de ativação, melhorando a reatividade do material. O próprio clínquer atua como um ativador químico, pois possui compostos que favorecem a hidratação da escória, e a cura a 60 °C atua como um ativador térmico (SAJEDI e RAZAK, 2011; CAMARINI e CINCOTTO, 1995; CAMARINI, 1995).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que a cura térmica acelera a velocidade de reação de modo que o cimento Portland apresenta hidratação mais rápida em temperaturas de cura mais elevadas. Esse efeito é mais acentuado nos cimentos Portland com escória de alto-forno, resultando propriedades atingidas em tempo mais curto, contribuindo para melhorar e dinamizar as etapas das construções.

Para a determinação do grau de hidratação é possível utilizar o ensaio de perda ao fogo na temperatura de 600 °C, que apresentou resultados bastante satisfatórios, não havendo diferenças entre as perdas ao fogo a 600 ° C e a 1000 °C. Para determinações do grau de hidratação em temperaturas ambiente e mais elevadas em cimentos sem ou com poucas adições esse ensaio é adequado.

Com o ensaio de PF e com a adoção do valor teórico do teor de água não evaporável de x = 23%, cálculo do grau de hidratação é possível e compatível com trabalhos anteriores encontrados na literatura, corroborando os resultados do grau de hidratação obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 18/2012: Cimento Portland – Análise química – Determinação de perda ao fogo.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 5733/91: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. **NBR 11578/91: Cimento Portland composto.** Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. **NBR 5735/91: Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ALARCON-RUIZ, L. et al. The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste. **Cement and concrete research**. v. 35, p.609-13. 2005.

AMEN, D. K. H. Degree of Hydration and Strength Development of Low Water-to-Cement Ratios in Silica Fume Cement System. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**. v. 11, p.10-6. 2011

BHATTY, J.I. Hydration versus strengthen a Portland cement developed from domestic mineral wastes – a comparative study. **Thermochimica Acta.** v. 106, p. 93-103. 1986.

BULLARD, J. W. et al. Mechanisms of cement hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1208–1223, 2011

CAMARINI, G. Desempenho de misturas de cimento Portland comum e escória de alto-forno submetidas à cura térmica. Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, 1995.

CAMARINI, G; CINCOTTO, M.A. **Efeito da cura térmica na resistência de argamassas de cimento Portland comum e de alto-forno**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo. 1995. ISSN:0103-9830.

ESCALANTE-GARCIA, J. I. Nonevaporable water from neat OPC and replacement materials in composite cements hydrated at different temperatures. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 11, p. 1883–1888, 2003.

HAN, F., et. al. Hydration heat evolution and kinetics of blended cement containing steel slag at different temperatures. **Thermochimica Acta.** v. 605, p. 43-51. 2015

HUANHAI, Z., et. al. Kinetic study on hydration of alkali-activated slag. **Cement and Concrete Reserch.** v. 23, p. 1253-58. 1993

LAM, L.; WONG, Y.L.; POON, C.S. Degree of hydration and gel/space ratio of high-volume fly ash/cement systems. **Cement and Concrete Reserch**. v. 30, p. 747-56. 2000.

LOTHENBACH, B.; SCRIVENER, K.; HOOTON, R. D. Supplementary cementitious materials. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1244–1256, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties and Materials**. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 2008, 659p.

MONTEAGUDO, S.M., et. al. The degree of hydration assessment of blended cement pastes by differential thermal and thermogravimetric analysis. Morphological evolution of the solid phases. **Thermochimica Acta.** v. 592, p. 37-51. 2014

NARMLUK, M., NAWA, T. Effect of fly ash on the kinetics of Portland cement hydration at different curing temperatures. **Cement and concrete research**.v.41.p.579-89. 2011.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

PANE, I., HANSEN, W. Investigation of blended cement hydration by isothermal calorimetry and thermal analysis. **Cement and concrete research**. v.35, p.1155-1164. 2005.

SAJEDI, F., RAZAK, H.A. Comparison of different methods for activation of ordinary Portland cement-slag mortars. **Construction and Building Materials**. v.25, p.642-650. 2011.

SCHNEIDER, M., et al. Sustainable cement production – present and future. **Cement and Concrete Research**, v. 41, p. 642-650, 2011.

TAYLOR, H.F.W. Cement Chemistry. London: Academic, 1990.

WANG, X. Y.; LEE, H.S. Modeling the hydration of concrete incorporating fly ash or slag. **Cement and Concrete Research.**v.40, p.984–96.2010

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

PRODUÇÃO DE CIMENTO BELÍTICO A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA USO EM ARGAMASSAS DE RESTAURO[1]

MENDES, Beatryz Mendes (1); ALVARENGA, Rita de Cássia S. S. (2); FASSONI, Délio Porto (3); PEDROTI, Leonardo Gonçalves (4); RIBEIRO, José Carlos Lopes (5)

(1) UFV, e-mail: beatryz.mendes@ufv.br; (2) UFV, e-mail: rcassia.alvarenga@gmail.com; (3) UFV, e-mail: delioporto@gmail.com; (4) UFV, e-mail: leonardo.pedroti@ufv.br; (5) UFV, e-mail: jcarlos.ribeiro@ufv.br

RESUMO

No intuito de adequar o setor da construção civil ao desenvolvimento sustentável proposto nas últimas décadas, muito tem-se investigado acerca da criação de materiais de construção alternativos, com menor impacto ambiental. O presente trabalho teve por objetivos a produção de um cimento belítico a partir de resíduos industriais e a avaliação deste quanto ao uso em argamassas para obras de restauro. Foi preparada uma mistura binária com os resíduos então mencionados na relação molar Ca/Si igual a 1,4. A mistura foi calcinada à 950°C e, em seguida, submetida a resfriamento rápido por injeção de ar comprimido. A análise da composição mineralógica deste novo clínquer, realizada por meio da técnica de DRX, revelou a presença do silicato dicálcico. Ensaios de caracterização física e química também foram realizados. Argamassas simples foram produzidas com o aglomerante, sendo avaliadas quanto a resistência à compressão. Os resultados mostraram que o novo clínquer desenvolvido possui aspectos que o caracterizam como um cimento de pega rápida, estável e durável. Esta pesquisa mostra a possibilidade de se produzir aglomerantes hidráulicos sustentáveis, com largo potencial de utilização na construção civil e que contribuem para minimizar a emissão de gases poluentes e o consumo de recursos naturais e energia.

Palavras-chave: Cimento belítico. Sustentabilidade. Resíduos.

ABSTRACT

In order to better align the construction industry to the sustainable development proposed in the last decades, a lot of work has been done to create alternative building materials, with a lower environmental impact. The objective of this project is to develop a belite cement through the association of granite wastes and "grits", from cellulose industry, similar to the Roman Cement, and evaluate its usage in mortars for restoration and facade decoration. A binary mix between wastes in the ratio of 1.4 (Ca/Si) was prepared. The mix was burned at 950 °C and then submitted to a quick cooling by compressed air injection. The analysis of the mineralogical composition of the clinker, made by DRX techniques, indicated the presence of dicalcium silicate. Physical and chemical characterization tests were also performed. Simple mortars samples were produced with the binder and its compressive strength were evaluated. The results show that the clinker was some features which characterize it as a quick setting, stable and durable cement. The research shows the possibility of making

[1] MENDES, Beatryz; ALVARENGA, Rita de Cássia; FASSONI, Délio; PEDROTI, Leonardo; RIBEIRO, José Carlos. Produção de cimento belítico a partir de resíduos industriais para uso em argamassas de restauro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

sustainable hydraulic binders, with a wide potential usage in construction and with the capacity to reduce the emission of greenhouse gases and the consumption of natural resources and energy.

***Keywords**: Belite cement. Sustainability. Wastes.*

1 INTRODUÇÃO

Aglomerantes são materiais pulverulentos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar materiais entre si (HAGEMANN, 2011). São produtos que, misturados com água, formam uma pasta que endurece por simples secagem ou pela ocorrência de reações químicas de hidratação.

Os aglomerantes podem ser classificados como aéreos ou hidráulicos, de acordo com a capacidade de endurecer sob a influência exclusiva da água e conservar suas propriedades na presença desta.

Existem alguns tipos de cimento, tais como o cimento Portland, o cimento Romano (ou natural), o cimento aluminoso, entre outros. O cimento Portland é o ligante hidráulico mais utilizado nos dias de hoje, sendo um material extensamente aplicado em materiais do setor da construção como argamassas e concretos (BURUBERRI, 2014).

O alto consumo do produto torna o ramo de produção do cimento Portland um dos maiores consumidores de recursos naturais e energia, e responsável por uma elevada emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Segundo a CIMPOR (2011)[2],

> a nível global, a indústria cimenteira produz atualmente cerca de 5% das emissões antropogênicas de CO_2, das quais metade é intrínseca ao próprio processo químico de produção, 40 % é proveniente dos combustíveis utilizados e os restantes 10%, emitidos de forma indireta, em consequência da utilização de energia elétrica e transportes.

Diante à necessidade cada vez maior de se estabelecer mundialmente uma sustentabilidade à longo prazo, na qual o crescimento econômico deve respeitar os limites ecológicos, tem-se buscado cada vez mais formas alternativas de produção do cimento. Estas investigações estão centradas, principalmente, na redução das emissões de CO_2 e na utilização de materiais alternativos, como os resíduos industriais, em substituição às matérias-primas convencionais.

Neste âmbito, destacam-se os cimentos belíticos, que retomam a ideia do antigo cimento Romano ou natural. Na produção de ambos, as temperaturas típicas para um cimento ótimo são na ordem de 750 a 1000°C (HUGHES, 2012). Isso implica em menor consumo de energia e emissão de gases tóxicos à atmosfera.

O cimento Romano apresenta ainda outras características que tornam interessante a sua utilização. Eles se distinguem dos outros aglomerantes hidráulicos principalmente pelo curto tempo de pega, cor e textura agradáveis, pouca retração na pega e excelente durabilidade (KOSLOWSKI;

[2] CIMPOR - CIMENTOS DE PORTUGAL, SGPS, S.A.

HUGHES; WEBER, 2010). Por isso, foi muito aplicado em argamassas destinadas ao ornamento e conservação de fachadas de monumentos históricos em meados do século XIX.

Apresenta-se neste trabalho o desenvolvimento de um clínquer belítico, com características bastante próximas das do cimento Romano, e sua aplicação na fabricação de argamassas a serem utilizadas em obras de restauro. Todavia, o material foi produzido somente a partir de resíduos industriais, provenientes das indústrias de celulose e beneficiamento de rochas ornamentais, o que colabora ainda mais com o desenvolvimento sustentável almejado.

2 METODOLOGIA

2.1 Recebimento, preparação das matérias-primas e calcinação

O procedimento inicial para a realização deste trabalho foi a obtenção dos resíduos a serem empregados na produção do novo cimento. O grits, resíduo proveniente da indústria da celulose, foi recebido diretamente da empresa fornecedora. O resíduo do corte de granito (RCG), por sua vez, foi coletado da lama resultante das operações de corte, na indústria geradora, armazenado em sacos plásticos e transportado até o Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa. Foram utilizados na presente pesquisa 20 kg e 25 kg dos resíduos RCG e *grits*, respectivamente.

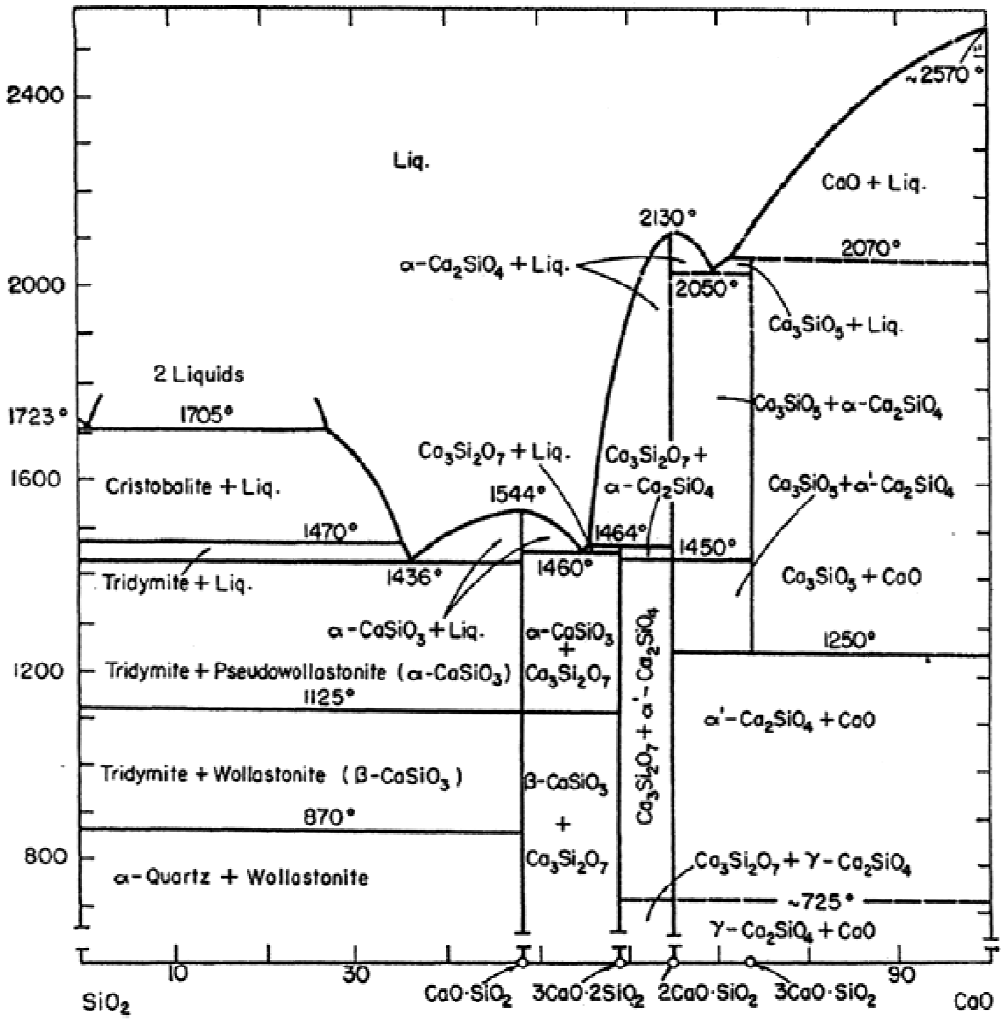
Após o recebimento, as matérias-primas foram caracterizadas quimicamente através da técnica de fluorescência de raios x por energia dispersiva (EDX). Partindo dos resultados obtidos, fez-se um proporcionamento da quantidade de cada um dos resíduos para a obtenção de uma relação molar Ca/Si igual a 1,4. Este valor foi adotado com base nas pesquisas de Kacimi et al. (2009) e Boudizi et al. (2014), que também abordaram a fabricação de cimentos belíticos.

Para obedecer a relação 1,4 citada acima, obteve-se a proporção 1:0,65 de *grits* para RCG. Os materiais foram misturados e homogeneizados em via úmida, em um recipiente plástico, e blocos prismáticos de dimensões 24x11x12 cm foram moldados para a calcinação em forno elétrico tipo mufla, da marca *Linn*, linha *Elektro Therm* e temperatura máxima igual a 1350°C.

A temperatura de sinterização foi adotada após análise do diagrama de fases do sistema $CaO\text{-}SiO_2$ (Figura 1), a fim de se obter as fases a'-C_2S e β-C_2S. Observa-se que este composto cristalino é formado a partir dos 725°C, em quantidades crescentes até a temperatura de 1250°C. Eckel (1905) sugere que a temperatura de queima para a produção de cimento romano esteja entre 900-1200 °C. No entanto, como um dos objetivos é a redução do teor de CO_2 liberado quando da produção do clínquer, a temperatura máxima de alcance adotada na presente pesquisa foi 950°C. Os blocos permaneceram no forno durante um intervalo de tempo de cinco horas,

com uma taxa de aquecimento igual a 3,08 °C/min, e mantidos ainda por mais trinta minutos sob a temperatura de 950°C.

Figura 1 – Diagrama de fases do sistema $CaO\text{-}SiO_2$



Fonte: Raupp (2006)

O clínquer obtido após a sinterização foi resfriado através da injeção de ar comprimido. Após, o material foi submetido por um período de uma hora no moinho de bolas. A finura desejada foi a passante na peneira #200. Amostras do material foram recolhidas e submetidas a ensaios de caracterização física, química e mineralógica, sem adição de outro componente. Na Figura 2 é mostrado o material resultante.

Figura 2 – Material obtido após a calcinação da mistura de resíduos e ser submetido ao moinho de bolas



Fonte: Os autores

2.2 Caracterização física, química e mineralógica

2.2.1 Determinação da massa específica

A massa específica foi determinada a partir dos procedimentos da NM 23:2001. O reagente líquido usado durante o ensaio foi querosene, e tomou-se uma amostra de 60g do clínquer.

2.2.2 Determinação da área específica do novo clínquer

O ensaio de determinação da área específica foi executado segundo a ABNT NBR 7224:1996, mediante o emprego do "permeabilímetro de Blaine" (Figura 3). A amostra foi preparada e a massa foi determinada por tentativas, como recomenda a norma. A temperatura da sala de ensaio foi controlada e o tempo de percolação do ar na amostra foi medido com o auxílio de um cronômetro. Todos os dados obtidos foram anotados para o posterior cálculo da área específica em massa.

Figura 3 – Permeabilímetro de Blaine



Fonte: Os autores

2.2.3 Determinação da expansibilidade de Le Chatelier

Determinou-se a expansibilidade a quente do aglomerante através das prescrições da ABNT NBR 11582:1991. Preparou-se, previamente, a pasta de cimento e água necessária para a consistência normal e prosseguiu-se com a moldagem dos três corpos de prova com o uso das agulhas de Le Chatelier (Figura 4). Realizou-se os demais procedimentos obtendo-se assim os resultados necessários.

Figura 4 – Ensaio de expansibilidade a quente do novo clínquer



Fonte: Os autores

2.2.4 Determinação dos tempos de pega

Inicialmente, foram feitos os procedimentos para a determinação dos tempos de pega segundo a ABNT NBR NM 65:2002. Antes, foi obtido o índice de consistência normal, de acordo com a ABNT NBR NM 43:2002.

No entanto, o comportamento do novo clínquer difere muito em relação ao cimento Portland, de modo que os procedimentos aplicados para a determinação do tempo de pega não levaram à obtenção de resultados válidos. Mesmo utilizando o teor de água para consistência normal da pasta, ao colocá-la no molde tronco-cônico, houve alta exsudação, o que acabou inviabilizando o ensaio.

Por não haver dados concretos sobre os tempos de pega, inferiu-se sobre o mesmo através da observação do comportamento de pastas e argamassas produzidas com relação água/cimento igual a 0,55.

Sabendo-se que os tempos de pega são propriedades importantes a serem verificadas, estes estão sendo objetos de estudo desta mesma equipe, em um projeto paralelo, no qual se está avaliando a influência da adição do ácido cítrico em pastas e argamassas com o novo clínquer.

2.2.5 Determinação da composição química (EDX)

A composição química do novo clínquer foi determinada através da análise por fluorescência de raios-X por energia dispersiva, ou EDX. O ensaio foi realizado na Sala de Instrumentação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, através do aparelho MicroEDX-1300, da marca Shimadzu.

2.2.6 Análise por Difração de Raios X (XRD)

A análise mineralógica do material foi feita a partir da aplicação dos métodos de difração de raios x. Os parâmetros e respectivas condições de execução da técnica são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros e condições da análise por DRX

Parâmetros	**Condições**
Radiação	Cu Ka (λ = 1,5418 Å)
Faixa angular de varredura (2θ)	20 a 80°
Passo angular (2θ)	0.05°
Tempo de varredura total	20 min

Fonte: Os autores

2.2.7 Análises qualitativas

Realizaram-se também análises visuais, portanto qualitativas, em pastas feitas com o cimento, para avaliar melhor características tais como: cor, textura e aplicabilidade em rebocos e outros revestimentos.

2.3 Produção de argamassas e determinação da resistência mecânica

A fim de avaliar o possível emprego do novo aglomerante em argamassas de restauro, produziram-se argamassas simples, contendo somente o clínquer, areia e água. Segundo Koslowski, Hughes e Weber (2010), argamassas para reboco produzidas com cimento romano devem ter uma proporção de cimento para agregado fino 1:1,5 em volume; portanto, este foi o traço escolhido.

Utilizou-se areia úmida, peneirada e fina, com módulo de finura igual a 1,74 e dimensão máxima característica de 1,2 mm. A adição de água foi controlada durante a mistura até obter-se a textura desejada para uma massa de reboco. O fator água/cimento obtido foi de 0,36, incluindo a água presente na areia.

Os procedimentos para a fabricação da argamassa seguiram as prescrições da ABNT NBR 13276: 2002. Após a preparação desta, foram moldados corpos de prova cilíndricos, com dimensões 5x10 cm, para a realização de ensaios de resistência à compressão aos 21, 28 e 42 dias. Estes foram levados para a câmara úmida, onde permaneceram em cura até as datas de ruptura.

Foram ensaiados dois exemplares em cada idade (previamente capeados) obtendo-se assim a resistência média.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As composições químicas dos resíduos utilizados na produção do clínquer, obtida através da técnica de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDX), estão apresentadas no Quadro 2.

No Quadros 3, 4 e 5 são apresentados os dados coletados e os resultados obtidos nos ensaios de determinação da massa específica, área específica e expansibilidade a quente, respectivamente.

Eckel (1905) apresenta a especificação que os cimentos naturais americanos deveriam possuir massa específica em torno de 2,5 a 2,8 g/cm³. Seguindo esse critério, observa-se que a massa específica do clínquer produzido está dentro dos limites estabelecidos.

Quadro 2 – Composição química dos resíduos *grits* e RCG, empregados como matérias-primas

Caracterização química dos resíduos		
Composto	Grits	RCG
	%	%
SiO2	0,78	65,95
Al2O3	<0,10	12,84
CaO	95,4	3,01
Fe2O3	0,22	7,89
K2O	0,08	4,19
Na2O	0,76	2,39
MgO	0,85	1,47
MnO	0,01	0,04
TiO2	0,05	0,93
PF*	41,67	1.33

Fonte: Os autores

Quadro 3 – Determinação da massa específica do novo clínquer

Determinação da Massa Específica		
Massa da amostra:	60,0	g
Medida inicial:	0,3	ml
Medida final:	22,7	ml
Massa específica:	**2,679**	g/cm³

Fonte: Os autores

Quadro 4 – Determinação da área específica do novo clínquer

Determinação da Área Específica pelo Método de Permeabilidade ao Ar			
Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	
Massa (m)	2,13	2,14	g
Tempo (t)	87" 63	87" 58	s
Massa Específica (ρ)	2,679	2,679	g/cm³
Volume da camada (Vcam)	1.663	1.663	cm³
Constante do aparelho (k)	0,829	0,829	$Pa^{1/2}m^{-1}$
Temperatura	32	32	°C
Viscosidade do ar (η)	18,67	18,67	$x10^{-6}Pa.s$
Área Específica (Am):	529,0	522,0	m²/kg
Área Específica média (Am):	**525**		m²/kg

Fonte: Os autores

Quadro 5 – Determinação da expansibilidade do novo clínquer

Determinação da Expansibilidade			
Hora da leitura inicial:	15:00		
	CP 1	CP2	CP3
Leitura inicial (mm)	1,5	2,5	1,0
Leitura final (mm)	2,5	2,5	1,0
Diferença (mm)	1,0	0,0	0,0
Expansibilidade média (mm):		**0,3**	

Fonte: Os autores

Os valores típicos de área específica para os cimentos romanos são entre 400-800 m²/kg (HUGHES, 2012). O valor encontrado enquadra-se nesta faixa, como era o esperado. Ressalta-se que a área específica do cimento Portland gira em torno de 240 m²/kg, correspondendo a menos de 50% da área específica do cimento belítico.

A área específica elevada, além de aumentar a exsudação, interfere na reatividade do material, governando a velocidade das reações de hidratação do mesmo.

Segundo Petrucci (2005), para que um cimento seja estável, é necessário que nenhum de seus compostos sofra, uma vez endurecido, uma expansão prejudicial. A cal e a magnésia, livres e cristalizadas, são os principais responsáveis por uma marcada expansão, pois se hidratam lentamente e sem dissolução prévia.

O resultado do ensaio de expansibilidade a quente mostra que o cimento não apresentou expansão além dos limites estabelecidos pela norma, sendo, portanto, estável. Isto significa, também, que o teor de cal livre presente no

material não é significativo o bastante para afetar a estabilidade do mesmo.

Os resultados obtidos na análise da composição química do clínquer, através do EDX, são mostrados no Quadro 6. O teor de óxido de cálcio presente na amostra foi considerável, sendo aproximadamente 29%. No entanto, esta porcentagem engloba tanto a cal livre como os óxidos de cálcio combinados aos silicatos, predominantes na matriz cimentícia.

Hughes (2012) estabelece critérios de composição para o cimento Romano, sendo que as porcentagens de SiO_2 e Al_2O_3 devem ser superiores a 20% e 6%, respectivamente. Além disso, o teor de SO_3 deve ser inferior a 4% e o de cloro, a 0,1%. Ele apresenta, ainda, intervalos ótimos para os valores dos módulos hidráulico e de sílica. Os critérios que não foram atendidos pelo novo aglomerante foi o teor de Al_2O_3, apresentando-se inferior ao mínimo estabelecido, e os módulos hidráulico e de sílica.

Estas diferenças entre a composição requerida para a classificação como cimento Romano e a do novo aglomerante ocorreram devido às matérias-primas empregadas na produção deste, que se distinguem daquelas que dão origem ao antigo cimento Romano ou Natural.

Quadro 6 – Composição química do novo clínquer produzido

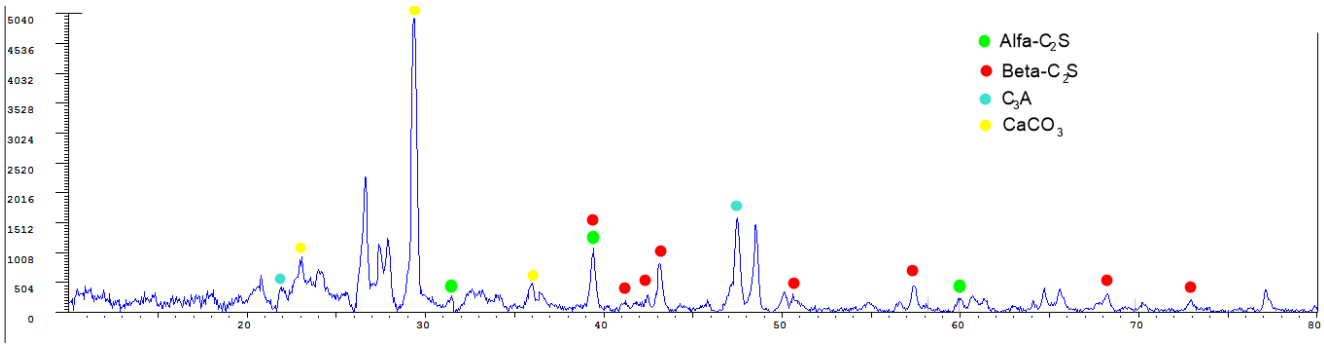
Composição química do novo clínquer produzido	
Composto	%
CaO	28,86
Al_2O_3	4,82
SiO_2	28,65
Fe_2O_3	0,50
K_2O	1,78
MgO	0,18
Na_2O	1,39
TiO_2	0,03
SO_3	1,04
Cl	0,11
CO_3	30,99

Fonte: Os autores

O difratograma obtido na análise por DRX é mostrado na Figura 5. Neste, foi possível identificar a presença das fases a'-C_2S e β-C_2S, as mais reativas e que apresentam, portanto, maior hidraulicidade. Observa-se também a presença do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e aluminato tricálcico (C_3A).

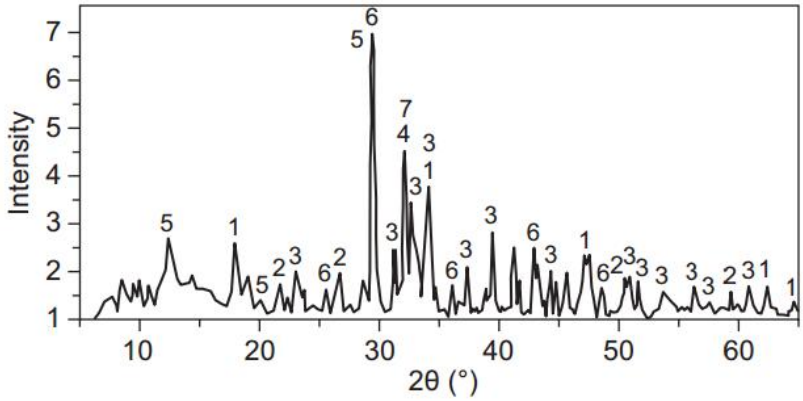
Heikal et al. (2015), em seu trabalho, também abordou sobre cimentos naturais e obteve o difratograma apresentado na Figura 6 para o clínquer estudado. Comparando-se os dois difratogramas, percebe-se que existe semelhança entre os mesmos, com alguns picos e fases em comum.

Figura 5 – Difratograma do clínquer, obtido pela análise DRX



Fonte: Os autores

Figura 6 – Difratograma do cimento natural estudado por Heikal et al. (2015) (1 - $Ca(OH)_2$; 2 – SiO_2; 3 – C_2S; 4 – C_3A; 5 – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; 6 – $CaCO_3$; 7 – C_2AS)



Fonte: Heikal et al. (2015)

Na análise qualitativa das pastas de cimento pode-se observar os aspectos de coloração uniforme e textura fina, assim como ocorre nas pastas produzidas com cimento Romano.

A resistência à compressão da argamassa produzida, nas três idades de ruptura, está apresentada no Quadro 7. A evolução do ganho de resistência pode ser melhor observada no Gráfico 1.

Ressalta-se que, já a partir do 21° dia, a argamassa apresentou resistência à compressão superior aos 3 MPa, comportamento que se mostrou satisfatório para a finalidade prevista. Aos 42 dias, a resistência alcançou aproximadamente 4,2 MPa.

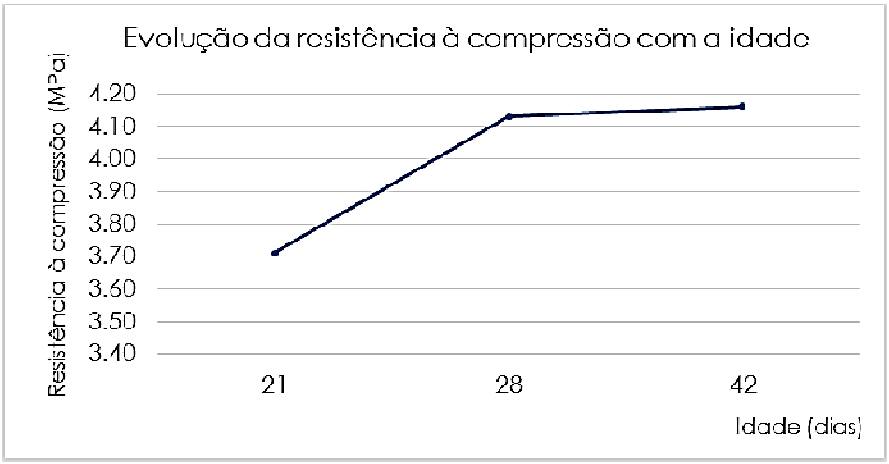
Embora houve a confirmação da presença das fases a'-C_2S e β-C_2S no clínquer, o ganho de resistência após os 28 dias de idade foi abaixo do esperado, fato que indica a necessidade de continuidade da presente investigação.

Quadro 7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas

C.P.	Idade (dias)	Área (cm²)	Força (N)	Tensão (MPa)	Tensão Média (MPa)
1	21	19,67	7378,10	3,75	3,71
2	21	19,60	7175,03	3,66	
3	28	19,71	7784,24	3,95	4,13
4	28	19,67	8461,13	4,30	
5	42	19,60	8122,68	4,14	4,16
6	42	19,63	8190,37	4,17	

Fonte: Os autores

Gráfico 1 – Evolução da resistência à compressão com a idade



Fonte: Os autores

A argamassa apresentou um bom aspecto visual, sem desagregação da areia e fissuração superficial. Observou-se que a mesma é um tanto porosa, semelhante às argamassas produzidas com cimento Romano (Figura 7). No entanto, características como porosidade e absorção não foram ainda quantificadas. Estes ensaios serão realizados posteriormente.

Figura 7 – Corpos de prova rompidos aos 42 dias



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

A caracterização feita até então revela que o novo clínquer, além de possuir propriedades aglomerantes, assemelha-se ao antigo cimento Romano ou Natural, atendendo aos objetivos previstos. Desta forma, justifica-se o seu uso potencial em argamassas para obras de restauro e conservação de fachadas de monumentos históricos.

A análise mineralógica por difração de raios X mostrou que a temperatura de queima e o resfriamento do material foram suficientes para a formação e estabilização do silicato dicálcico em suas fases mais reativas.

As composições químicas do novo clínquer e as definidas para cimentos Romanos são próximas, porém alguns compostos não estiveram presentes em quantidades ideais. Isto se deve às matérias primas empregadas, que diferem daquelas que dão origem ao cimento Romano ou Natural.

Observa-se que o cimento não apresentou expansibilidade significativa, sendo este um aspecto positivo. A argamassa produzida a partir do mesmo mostrou desempenho mecânico satisfatório para o uso ao qual se destina.

Outros ensaios de caracterização do clínquer e das argamassas ainda devem ser feitos, como a determinação do óxido de cálcio livre, determinação da porosidade e absorção.

O presente trabalho experimental mostra a possibilidade de obtenção de um clínquer belítico utilizando como matérias-primas apenas resíduos industriais produzidos em larga escala no Brasil. Sua produção, que ocorre sob menores temperaturas de queima, contribui ainda com a redução da emissão de gases na atmosfera. Tem-se uma alternativa mais sustentável, economicamente viável e promissora, desde que seja mais bem estudada e otimizada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências brasileiras CNPQ, CAPES e FAPEMIG e ao Laboratório de Materiais de Construção da UFV pelo suporte dado ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 23**: Cimento Portland e Outros Materiais em pó - Determinação da massa específica. 1 ed. [s.l.], 2000. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7224**: Cimento Portland e Outros Materiais em Pó - Determinação da área específica. Rio de Janeiro, 1984. 10 p.

_____. **NBR 11582**: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991. 2 p.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002. 3 p.

_____. **NBR NM 43**: Cimento Portland – Determinação da pasta de concistência normal. Rio de Janeiro, 2002. 8 p.

_____. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002. 4 p.

BOUDIZI, M. A.; TAHAKOURT, · A.; BOUDIZI, N.; MERABET, D. Synthesis and characterization of belite cement with high hydraulic reactivity and low environmental impact. **Arab J Sci Eng**, v.39, p.8659–8668, 2014.

BURUBERRI, Leire Hernando. **Uso de lamas de cinzas volantes e cinzas da indústria da celulose em clínquer**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.

CIMENTOS DE PORTUGAL. **Relatório de Sustentabilidade:** O desafio da sustentabilidade. Lisboa: CIMPOR, 2011, 128p.

ECKEL, Edwin C.. **Cements, Limes and Plasters.** New York: John Wiley & Sons, 1905

HAGEMANN, S. E. **Materiais de Construção Básicos**. Universidade Aberta do Brasil, Instituto Federal Sul-rio-grandense, Porto Alegre, 2011. 143 p.

HEIKAL, Mohamed et al. Hydration characteristics of prompt cement in the presence citric acid as retarder. **Ceramics – Silikáty,** S.l., v. 1, n. 59, p.17-23, mar. 2015.

HUGHES, D (Ed.). **Manual on best practice in the application of roman cements**: Roman cement, past and present Conservation theory and practice. 2. ed. [s.l.]: Rocare Project, 2012. 113 p.

KACIMI, L.; SIMON-MASSERON, A.; SALEM, S. GHOMARI, A. DERRICHE, Z. Synthesis of belite cement clinker of high hydraulic reactivity. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 39, p.559–565, 2009.

KOZLOWSKI, Roman; HUGHES, David; WEBER, Johannes. Roman cements - key materials of the built heritage of the nineteenth century. In: DAN, M. Boştenaru; PřIKRYL, R.; TÖRÖK, Á.. **Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures.** [s.l.]: [s.n.], 2010. p. 28.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14. ed. São Paulo: Globo, 2005.

RAUPP, Fabiano Pereira. **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral:** composições cerâmicas e cimentícias. 2006. 77 f. Tese (Doutorado), Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

COMPARAÇÕES ENTRE OS DESEMPENHOS DE DOMOS DE POLI(METIL METACRILATO) - (PMMA) E POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (GRP)[1]

OMENA, Thiago Henrique (1); OLIVEIRA, Claudia (2); LARA, Arthur Hunold (3)

(1) USP, e-mail: thomena@gmail.com; (2) USP, e-mail: ctao@usp.br; (3) USP, e-mail: arthurlara@usp.br

RESUMO

Este artigo compara as propriedades físicas de dois materiais translúcidos usados em componentes de iluminação zenital: PMMA poli(metil metacrilato) e GRP (*glass reinforced polymer*). Foram avaliadas propriedades dos materiais que influenciam o desempenho lumínico e térmico. A pesquisa verificou os índices de emissividade, temperatura superficial, iluminância e fluxo de calor radiante. A geometria a peça foi projetada com auxílio do programa *Rhinoceros* 3D e plugin *RhinoVault* que simula a estrutura de cascas. Ambas superfícies foram submetidas a condições reais de iluminação e insolação para efeitos comparativos de estudos de desempenho. Os dados de temperatura de superfície foram adquiridos por meio de câmera termo visora, a temperatura do ar e de globo e a iluminância foram computados por meio de estação meteorológica e dois sensores de coleta. Os resultados demonstraram que a temperatura superficial externa da cobertura de PMMA chegou a 67,9ºC enquanto o compósito no mesmo período estava em 51,2ºC. Em relação ao fluxo de calor, encontrou-se indícios de que a superfície GRP chega a emitir um fluxo de 42,15 W/m² frente à 209,57 W/m² da superfície PMMA.

Palavras-chave: Emissividade. Fluxo de calor. Materiais compósitos. Domos.

ABSTRACT

This paper compares the physical properties of two translucent materials used in natural lighting components: PMMA poly (methyl methacrylate) and GRP (glass reinforced polymer. It was evaluated material properties that influenced the luminic ande thermal performances. The research analyzed emissivity index, surface temperature, heat flux and illuminance. The geometry was designed with the aid of Rhinoceros 3D program and RhinoVault plugin that simulates shells structures. Both surfaces were subjected to actual lighting and insolation conditions for comparative studies. The surface temperature data has been acquired by camera with thermic display, the air temperature and the illuminance were computed by weather station and two collecting sensors. The results showed that the external surface temperature of the acrylic coverage reached 67,9ºC while the composite in the same period was 51,2ºC. Regarding to heat flow, it found evidence that the composite surface comes to emit a flow of 42.15 W / m² front of 209.57 W / m² of acrylic surface.

***Keywords**: Emissivity. Heat flow. Composite materials. Domes.*

[1] OMENA, Thiago Henrique; OLIVEIRA, Claudia; LARA, Arthur Hunold Comparações entre os desempenhos de domos de poli(metil metacrilato) - (PMMA) e polímero reforçado com fibra de vidro (GRP). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Elementos de iluminação zenital – em arranjos discretos como os domos ou contínuos na forma de uma cobertura – compõem um amplo repertório arquitetônico e são adotados como recurso estético, funcional e como meio de melhorar o conforto lumínico (PEREIRA, 2006; IBARRA SOTO, 2010 etc) e as condições de habitabilidade e salubridade nas edificações. Sendo parte fundamental das estratégias de uso racional da energia, tais elementos permitem o aproveitamento direto da luz natural, viabilizando a redução do consumo do uso de eletricidade para a iluminação dos ambientes.

As soluções de projeto e construção dos elementos de iluminação zenital devem ainda responder a outros requisitos de desempenho de edificações, tais como, o controle do fluxo de energia térmica para a regulação das condições de conforto termo higrométrico; a garantia de superfícies estanques ou com controle da entrada de água chuva; a provisão de superfícies resistentes à ação de cargas concentradas, granizo e outras cargas acidentais potencialmente atuantes nessas superfícies durante a operação e manutenção das edificações para garantir condições de segurança estrutural e de uso.

Atualmente o potencial estético e o aproveitamento da luz natural são temas largamente pesquisados (NOBOA, 1991; PEREIRA, 2006; IBARRA SOTO, 2010), e as questões vinculadas à estanqueidade das coberturas também têm recebido crescente atenção do meio técnico. No entanto, as medidas para proteção contra queda de altura e contra impactos nessas superfícies ainda requerem maior atenção por parte dos projetistas, construtores e fabricantes, notadamente em edificações nas quais a área da iluminação zenital corresponde a uma significativa parcela da área da cobertura da edificação.

Recentemente, verifica-se de forma incremental, a integração dos elementos de iluminação zenital aos sistemas de produção de energia fotovoltaica, ampliando o potencial de uso multifuncional dessas superfícies. Essas superfícies requerem, via de regra, maiores áreas para atender simultaneamente aos múltiplos requisitos de desempenho. Portanto, as medidas de proteção são essenciais tanto para os usuários dos ambientes internos que se beneficiam diretamente da iluminação zenital, como para os trabalhadores responsáveis pela operação e manutenção da edificação e que devem, frequentemente, acessar a cobertura. Esses usos combinados exigem, naturalmente, especificações mais rigorosas[2] para materiais e componentes quanto à resistência a cargas de impacto e para as condições de segurança a serem providas nas coberturas das edificações.

Diante do exposto, este artigo sumariza os primeiros resultados experimentais de um estudo comparativo de dois materiais comumente usados para

[2] Atualmente normas internacionais (ASTM) sobre segurança de domos para edifícios não residenciais estão sendo revistas (WK17797 New Test Method for Standard Specification for Human Impact and Fall-through Resistance of Unit Skylights and Related Products Used on Skylight Openings. Disponível em www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=skylight&. Acesso em 01/Abril/2016.

produção de domos: o poli (metil metacrilato de metila) (PMMA) também conhecido como acrílico e a resina poliéster reforçada com fibra de vidro (GRP) ou *glassfiber reinforced polymer*. Esse estudo faz parte de um projeto que visa à investigação de métodos de projeto de superfícies multifuncionais incorporadas aos sistemas de iluminação zenital.

2 OBJETIVO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo do estudo apresentado neste artigo foi analisar, comparativamente, propriedades físicas que interferem no desempenho lumínico e térmico de dois materiais poliméricos empregados nos sistemas de iluminação zenital, PMMA e GRP: emissividade, iluminância, temperatura superficial, e fluxo de calor radiante.

A escolha do PMMA se deu em razão de ser um dos materiais mais comumente usados para a fabricação de domos no Brasil. O GRP, por sua vez, foi usado por ser um dos materiais compósitos explorados da pesquisa que estuda métodos de produção de peças por infusão à vácuo. Além disso, o GRP foi selecionado pelo fato de ser um material também usado para a produção de domos e por ser um material fibroso que, via de regra, apresenta boa resistência a impactos. Um modelo reduzido de domo de acrílico leitoso, que estava sendo usado para validação de um método de instalação, serviu de referência para a modelagem da superfície GRP. O processo de produção do compósito GRP é descrito no item 2.1.

2.1 Produção da superfície de GRP

Antes de produzir a superfície por laminação manual, é preciso isolar quimicamente o molde da resina que irá ser aplicada, e para isso, foi preciso aplicar uma camada de massa de polir número 2 (figura 1A), após aplicação da mesma, é necessário deixar secar, para depois polir com uma estopa. O polimento tem a finalidade de retirar todas as sujeiras do molde. Depois de lavado o mesmo com água e detergente para desengordurar, espera-se secar.

Após o processo descrito, foram efetuados três polimentos, onde é aplicado a primeira camada de cera *Tec Glaze*, esperar-se secar (10 a 15 minutos) depois dá-se um polimento, repete-se o procedimento por três vezes. Por último, após o enceramento aplica-se com uma esponja duas camadas de poli(álcool vinílico) - PVA, espera-se evaporar o álcool e secar a camada.

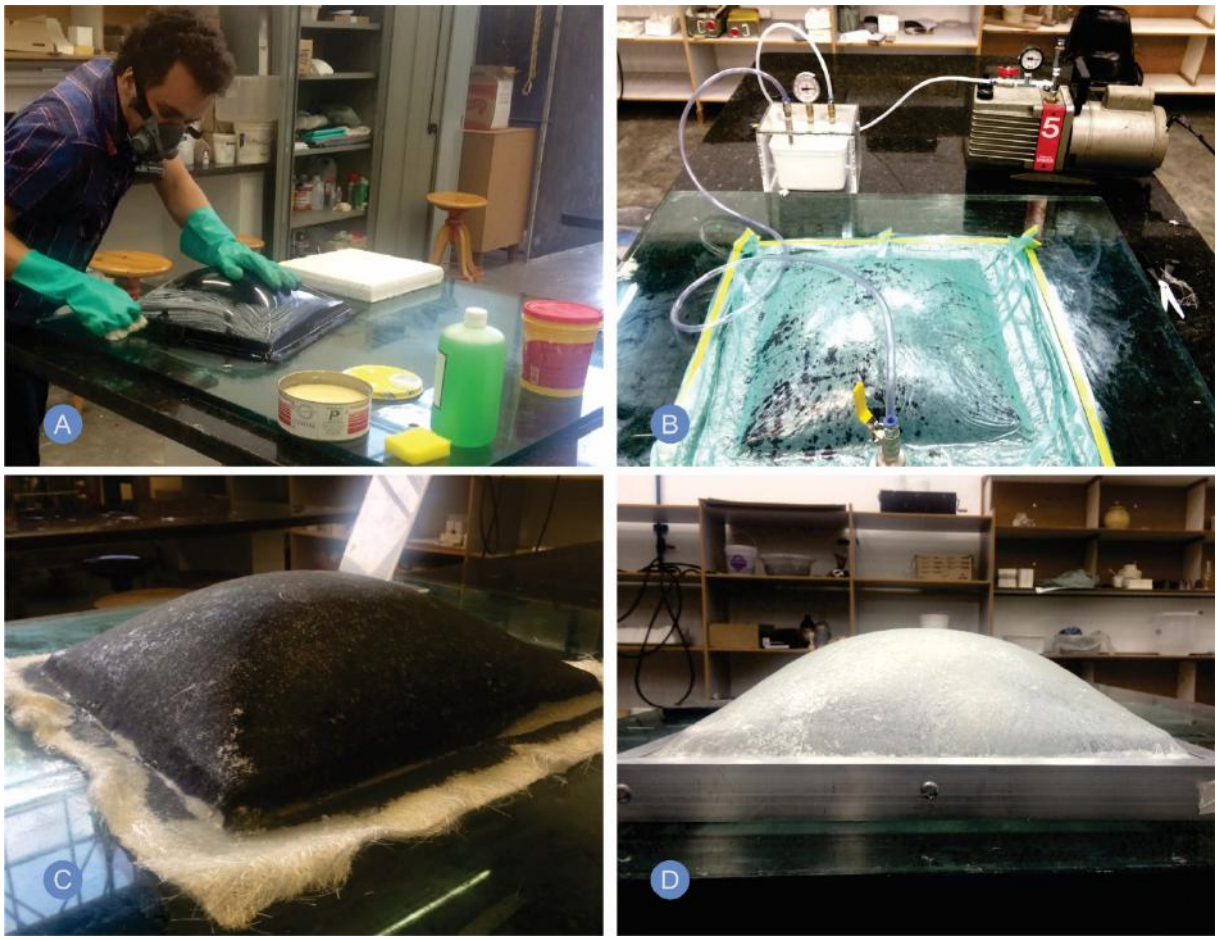
Foi utilizado 400 ml de resina para 100 gotas (1,5%) de catalizador Butanox; sobre a resina aplica-se duas camadas de *Roving* contínuo de fibra de vidro (figura 1B). Após a selagem do sistema, seja por saco de vácuo ou pela própria mesa, com auxílio de fita *bambam* (dupla face); aplica-se a pressão de 0,6 bar, acima da pressão local, que deve ser mantida até o início de catalisação, (figura 1C).

Para desmoldagem da peça, utiliza-se espátulas ou cunhas metálicas ou de madeira, além de ar comprimido que pode auxiliar, visto que descola as

superfícies da peça e do molde, a peça final é demonstrada na figura 1D.

Para compor o arranjo físico para os ensaios foram desenvolvidas duas envoltórias idênticas (para controlar as variáveis dos ambientes das superfícies), com placas de fibras de Madeira de Média Densidade - MDF com 3 mm de espessura e medidas externas de 425 x 425 x 700 mm. A modelagem da envoltória foi feita no aplicativo *Rhinoceros* 3D e o encaixe das superfícies foi parametrizado por meio do *plugin Grasshopper* e, posteriormente, foram cortadas em máquina CNC a laser como demonstra as figuras 2 e 3A.

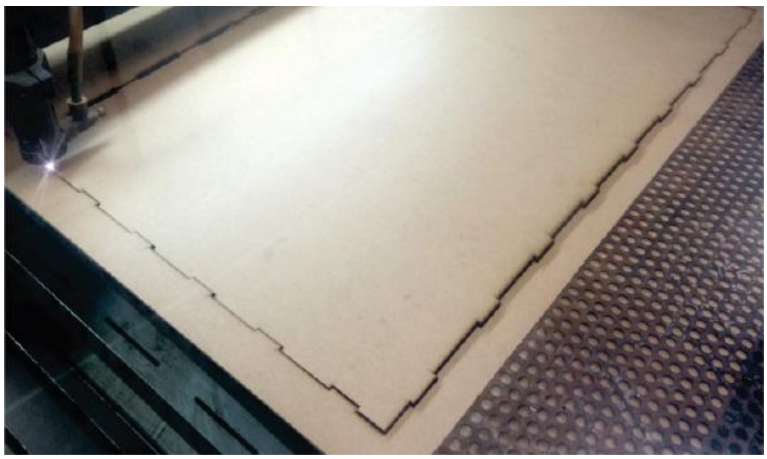
Figura 1 – Processo de produção do compósito GRP



Fonte: Autores, 2016

Com o intuito de eliminar o reflexo das superfícies internas das envoltórias destinadas a abrigar os sensores de coleta de dados, estas foram pintadas na cor de preto fosco, com tinta para piso tipo esmalte sintético, em duas demãos, acrescida de mais uma demão de *spray* preto fosco (figura 3B). A emissividade do ambiente foi definida como 0,98 de acordo com Koenigsberg *et al* (1977).

Figura 2 - Corte de uma das superfícies da envoltória parametrizada



Fonte: Autores, 2016

As dimensões da base (425 x 425 mm) e de altura (700 mm) da envoltória resultaram da compatibilização de dois critérios: permitir o encaixe da esquadria de alumínio (com medidas de 430 x 430 mm) na qual as superfícies de PMMA e do compósito foram fixadas; e viabilizar a acomodação do tripé com o sensor para coleta dos dados.

Figura 3 - Pintura interna das superfícies de preto fosco



Fonte: Autores, 2016

Foram feitas aberturas em faces opostas da envoltória, o tamanho destas, seguiu a determinação dos códigos de obras municipais, que em sua maioria, determinam que a área mínima de ventilação não pode ser inferior à 1/6 da área do piso do ambiente. O modelo ensaiado possui uma área de base de 1806,25 cm² (42,5 x 42,5 cm), portanto, a somatória das aberturas não deve ser inferior à 301,04 cm² (segundo normativas municipais como já exposto). Neste sentido, adotou-se o valor de 320 cm² para facilitar o processo de corte, no qual foram feitas duas aberturas de 10 x 16 cm (160 cm²). As aberturas, foram centralizadas no eixo das faces e possuíam 20 cm de peitoril. Este posicionamento evita o contado da abertura com o aparelho que mede a umidade do sistema (figura 4A e B), impedindo preventivamente a inviabilização dos dados.

Figura 4 – Abertura das envoltórias



Fonte: Autores, 2016

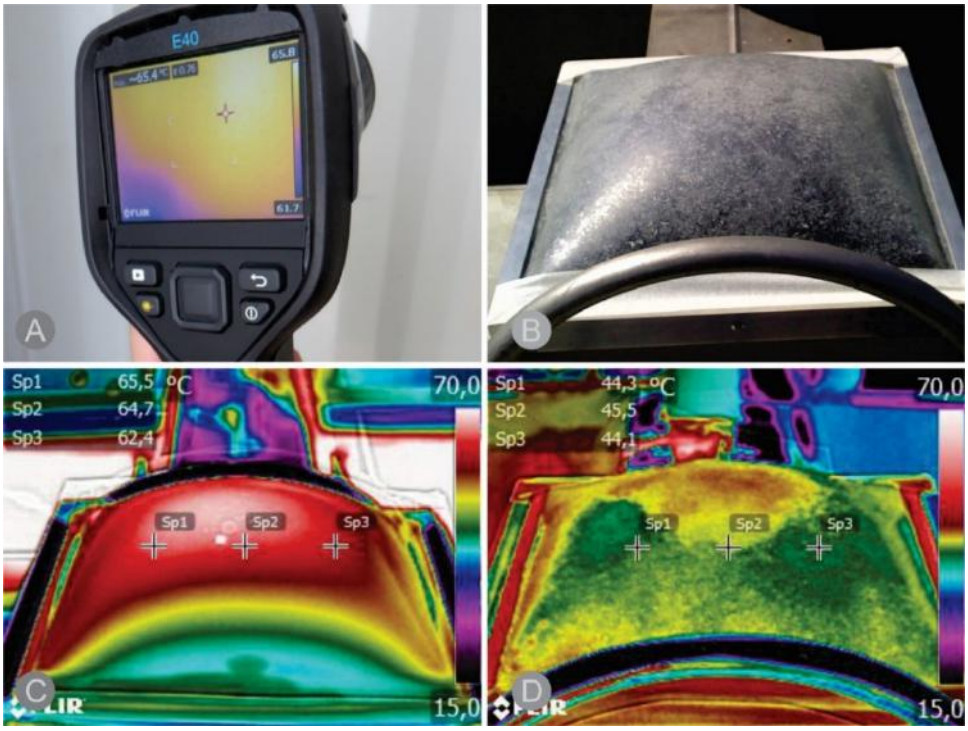
Os dois conjuntos foram instalados em local sem sombreamento, na cobertura do edifício Vilanova Artigas, na Cidade Universitária, em São Paulo. Para orientação das aberturas, avaliou-se a velocidade e a direção do vento que foram retiradas da rosa dos ventos criada pelo programa Sol-Ar para a de São Paulo. Observou-se que a direção com maior frequência de ocorrência dos ventos é na orientação SE possuindo velocidade entre 3 e 4 m/s no outono, que foi a estação na qual foram realizados os ensaios. As aberturas foram orientadas na direção SE e NO em virtude destas serem responsáveis por uma frequência (em conjunto) de aproximadamente 42% das ocorrências de ventos. Estas aberturas permitiram, uma vazão mínima de ar, evitando o superaquecimento do ambiente e garantindo condições adequadas para o funcionamento dos equipamentos de medida.

A temperatura ambiente e de globo, umidade relativa e iluminância foram medidas por meio de sensores instalados no interior das envoltórias, cobertas pelas superfícies ensaiadas. A coleta de dados teve início no dia 05/04/2016 (14 horas) e se estendeu até o dia 13/04/2016 (16 horas).

A medida de temperatura das superfícies foi feita com uma termocâmera da marca *Flir* E40 (figura 5A). Além da temperatura, o equipamento também produz imagem da radiação infravermelha de onda longa emitida pelos objetos analisados. Nos resultados apresentados PMMA representa a superfície de acrílico (figura 5C), e GRP representa, a superfície de compósito de resina poliéster reforçada com fibra de vidro (figura 5B e D).

As medidas das variáveis externas foram obtidas em base de dados coletados pela estação meteorológica do Instituto de Energia e Ambiente IEE nas proximidades do local onde foram expostos os modelos desta pesquisa; a iluminância externa foi obtida a partir do trabalho de Pereira (2006) que realizou medições na Cidade Universidade, no mês de abril, em condições de céu limpo (84.000lux, no dia 12/04, entre 11:00 e 11:15).

Figura 5 - Câmera termovisora e medições



Fonte: Autores, 2015

A emissividade foi medida por ser um parâmetro necessário à medida da temperatura de superfícies com a termocâmara. O parâmetro foi medido por meio de um emissômetro nas superfícies externa e interna dos domos (figura 6).

Figura 6 – Ensaio de emissividade das superfícies da pesquisa



Fonte: Autores, 2016

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se na figura 7 que ambas as amostras, apresentaram resultados de emissividade externa inferiores à interna. A superfície PMMA apresentou emissividades (interna e externa) maiores do que a da superfície GRP. A emissividade das faces internas das envoltórias, como apontado anteriormente é de 0,98.

Em relação à emissividade, é preciso considerar o que Incropera et al. (2008) afirma, quando relata que um corpo negro teórico seria um emissor ideal, visto que, nenhuma outra superfície poderia emitir mais radiação (dada uma mesma temperatura) do que este corpo negro hipotético. Isto posto, o autor define a emissividade radiante da superfície como a razão entre a emissividade emitida pela superfície e a emitida pelo corpo negro teórico em uma mesma temperatura, variando de 0 (corpo totalmente reflexivo) à 1 (totalmente absortivo).

Figura 7 - Comparação entre as emissividades no ensaio



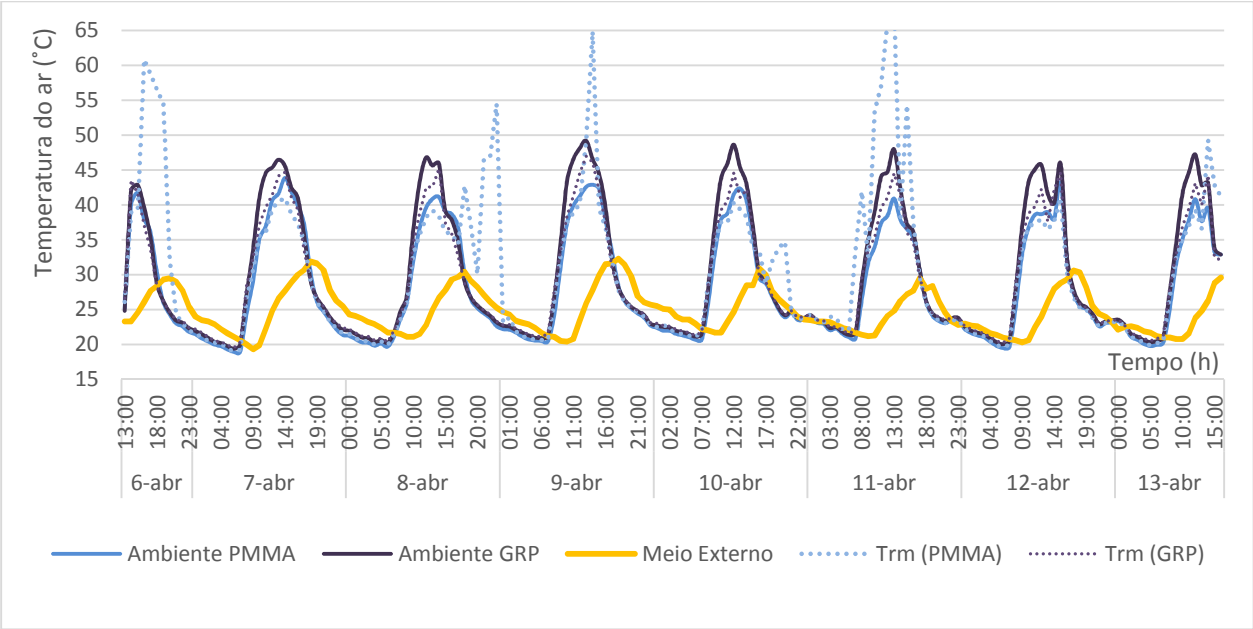
Fonte: Autores, 2016

A figura 8 apresenta as temperaturas ambientes das envoltórias de cada superfície ensaiada, as temperaturas radiantes médias (TRM´s) como dados pontilhados e a temperatura do meio externo durante os ensaios.

As temperaturas radiantes média, apresentaram para o ambiente da superfície PMMA valores maiores que o ambiente da superfície GRP (figura 8); é possível que este resultado esteja diretamente relacionado ao fluxo de calor analisado, que apresentou comportamento semelhante.

Observa-se que ambos ambientes, apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que o ambiente da superfície PMMA apresentou temperaturas abaixo do ambiente da superfície GRP (sempre próximo ao meio dia).

Figura 8 – Temperaturas ambiente e radiante média das envoltórias



Fonte: Autores, 2016

A análise comparativa das iluminâncias medidas nos modelos foi feita com base na determinação do Fator de Luz Diurna (FLD) que é a razão entre o nível de iluminação interior e o exterior (ABNT, 2005). Foram adotadas as medidas feitas no dia 14/04, às 12:30, com céu limpo. O FLD da superfície PMMA foi de 0,36% enquanto o da superfície GRP foi de 34,43%, calculados segundo a equação:

$$FLD = \frac{E_{hi}}{E_{he}} \times 100 \qquad (1)$$

Onde:

E_{hi} é a iluminância em um determinado plano horizontal do ambiente interno (lux) e E_{he} é iluminância produzida pela abóboda celeste sobre um plano horizontal externo, excluindo-se a iluminação direta do sol (lux).

Para compreender o fluxo de energia em uma superfície, é preciso ressaltar que qualquer matéria com temperatura acima de 0 K (-273°C) emite energia na forma de ondas eletromagnéticas, este princípio ocorre, porque segundo Incropera *et al*. (2008) temperaturas maiores estão relacionadas às energias moleculares altas, quando moléculas vizinhas se chocam, acabam transferindo energia das moléculas com elevada energia, para as menos enérgicas. Tem-se a leitura hipotética de zero graus Kelvin quando há ausência de movimento molecular.

Na construção civil, o calor solar absorvido pela cobertura é transferido para o recinto da mesma (sótão) e contribui em grande parte para o aquecimento do ambiente, segundo Noboa (1991) foram desenvolvidos quatro sistemas principais de redução deste fluxo de calor:

- A adição de camadas isolantes à cobertura (contra a condução),
- Ventilação do sótão (contra convecção),

- Sistemas de refrigeração por aspersão de água e
- Barreiras radiantes (contra a radiação).

Ainda, segundo o autor, quando um sistema busca reduzir a transferência de calor por radiação ao ambiente da cobertura, é preciso que este propicie um modo de reduzir o ganho de calor solar através da mesma. A tabela 1 demonstra como a radiação é o maior responsável pela transferência de calor entre os três processos clássicos.

Tabela 1 – Resumo dos processos de transferências de calor

Mecanismo	Equação geral	Unidade do Fluxo de calor (Q)	Propriedade do material
Condução	$Q = -kA \frac{dT}{dx}$	(W)	k (W/m·K)
Convecção	$Q=hA (T_s - T_\infty)$	(W)	h (W/m²·K)
Radiação	$Q=\varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$	(W)	ε (adimensional)

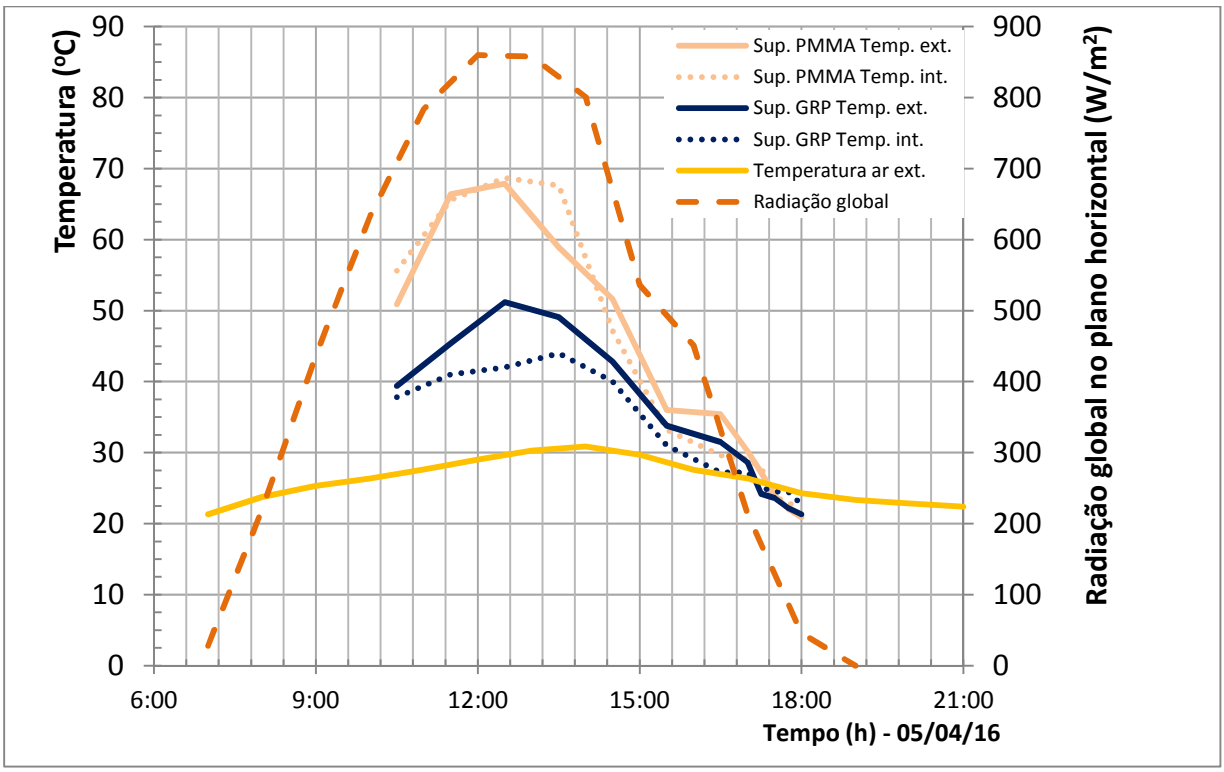
Fonte: Novo *et al.*, 2014

Observa-se que nas equações, a sigla **A** (m²) representa a área da superfície onde ocorre a transferência de calor e no processo de radiação, $\mathbf{T_1}$ é a temperatura da superfície e $\mathbf{T_2}$ a temperatura da superfície ao lado, **ε** (adimensional) é a emissividade e **σ** ($5{,}69 \times 10^{-8}$ W/m^2*K^4) é a constante de Stefan-Boltzman. Neste sentido, o fluxo de calor por radiação térmica entre dois corpos depende sempre da diferença das temperaturas individuais dos mesmos, elevados à quarta potência (cada). O que demonstra o ganho de calor superior por radiação quando comparado aos ganhos por condução e convecção, visto que estes são elevados à primeira potência, Novo *et al*., (2014).

Na análise das temperaturas superficiais (figura 9), os dados pontilhados fazem referência às temperaturas de superfície interna, enquanto os dados de temperatura de superfície externa são apresentados com linha contínua, e os dados de uma mesma superfície estão relacionados por escala monocromática de cor, é apresentado ainda a temperatura do ar externo para balizar os dados.

As superfícies apresentaram (figura 9) comportamentos similares, com oscilações semelhantes de temperatura, entretanto, a superfície PMMA apresentou temperaturas superficiais mais elevadas do a superfície GRP. Neste sentido, aferiu-se às 12:30 h, uma temperatura superficial interna de 69,9ºC para a superfície PMMA e 46,2ºC na superfície GRP, o que representa uma diferença de 46,97%. Já a temperatura superficial interna, no mesmo horário, apresentou valor para a superfície PMMA de 68,7ºC enquanto a superfície GRP apresentou temperatura de superfície interna de 42ºC, representando uma diferença na ordem de 63,57%.

Figura 9 - Comparação entre temperaturas de superfície interna e externa



Fonte: Autores, 2016

Para realizar uma análise de transferência de calor da superfície para o ambiente, montaram as tabelas 2 e 3, nas quais foram escolhidas as temperaturas superfícies internas das coberturas no horário crítico (maior irradiação global horizontal), 12h, com valor de 0,858 kWh/m².

Tabela 2 – Resultados das medições no horário crítico e demais dados considerados para cálculo de transferência de calor

	PMMA	GRP
Espessura Compósito (mm)	2	2
Temp. de face inferior da cobertura (ºC)	68,7	42
Temperatura do ambiente interno (ºC)	33,5	33,4
Emissividade da face inferior da cobertura	0,78	0,73
Emissividade do ambiente interno	0,98	0,98
Fator de forma	1 Fluxo descendente	1 Fluxo descendente

Obs.: Modelo reduzido colocado na cobertura da FAUUSP; medidas feitas em 05/04/16 e temp. de superfície determinada c/ termovisora.

Fonte: Autores, 2016

Com a alimentação dos dados escolhidos, procedeu-se o cálculo de fluxo de calor segundo a equação (2):

$$q''_{rad} = \frac{\sigma * (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{13}} + \frac{1-\varepsilon_{3_S}}{\varepsilon_{3_S}} + \frac{1-\varepsilon_{3_i}}{\varepsilon_{3_i}} + \frac{1}{F_{32}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}} \quad (2)$$

Depois de calcular a transferência de calor considerando as coberturas sem barreiras radiantes, procedeu-se o mesmo cálculo, entretanto, agora considerando uma situação hipotética de domos com dupla superfície.

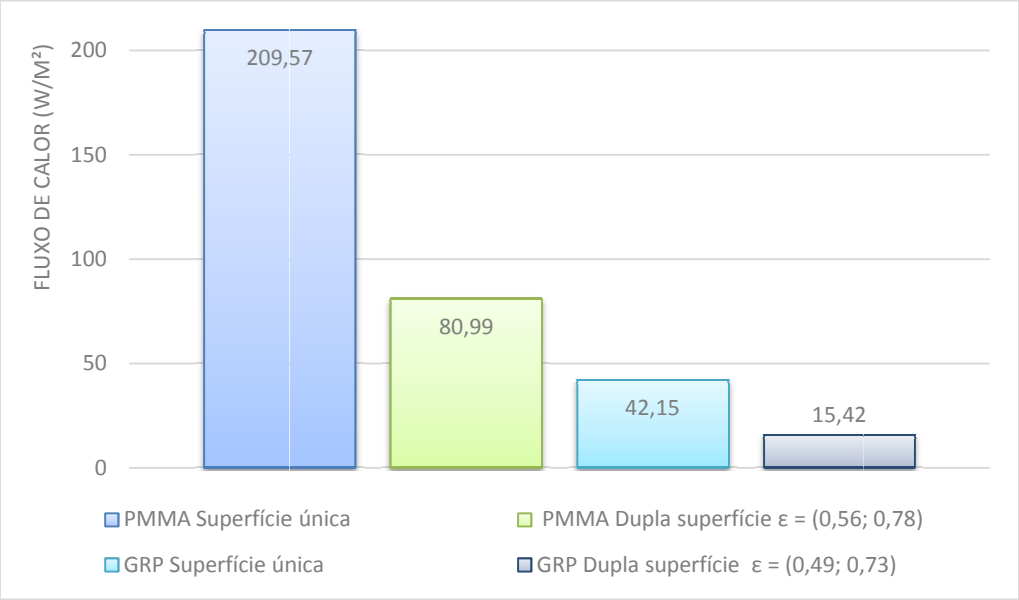
Tabela 3 – Simulações do fluxo de calor irradiado da cobertura para o ambiente considerando superfície única e com dupla superfície

Condição	Emissividade face superior (ε_s)	Emissividade face inferior (ε_i)	Fluxo de calor (W/m²)	Redução do fluxo de calor (%)
Superfície única (PMMA)	-	0,78	**209,57**	-
Dupla superfície (PMMA)	0,56	0,78	80,99	**61**
Superfície única (GRP)	-	0,73	**42,15**	-
Dupla superfície (GRP)	0,49	0,73	15,42	**63**

Fonte: Autores, 2016

Na figura 10 observa-se que a superfície PMMA irradiou, aproximadamente, 400% mais calor para o ambiente do que a superfície GRP. Já na situação teórica de dupla superfície este valor sobe para pouco mais de 425%.

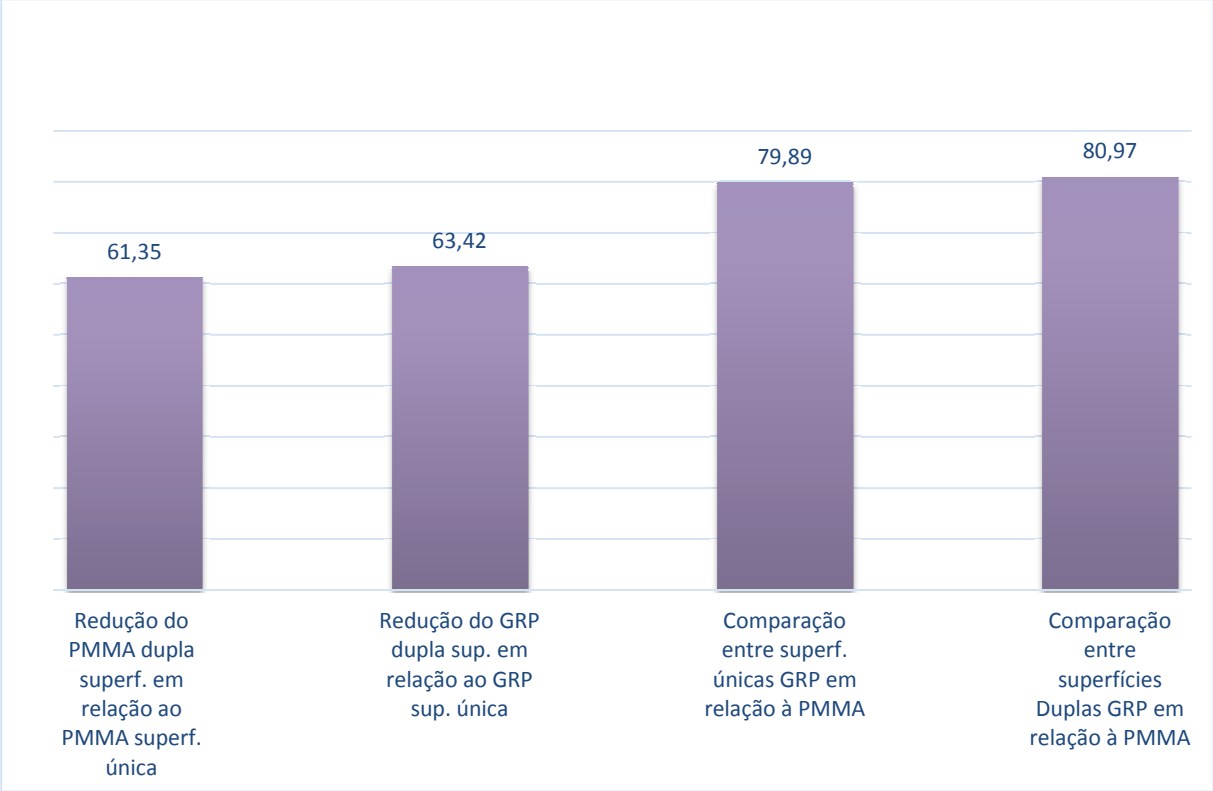
Figura 10 – Comparação entre fluxos de calor das superfícies



Fonte: Autores, 2016

Com o exposto, foi possível avaliar a redução do fluxo de calor em cada caso, nos quais, considera-se a relação entre o fluxo de calor irradiado pela superfície dupla em relação à superfície única de cada material (figura 11). Para efeito de comparação apresenta-se também essa relação entre os casos semelhantes.

Figura 11 – Comparação da redução do fluxo de calor das superfícies A e B



Fonte: Autores, 2016

5 CONCLUSÕES

De acordo com o experimento realizado, verificou-se que a superfície GRP transfere 42,15 W/m² de calor, enquanto a superfície de PMMA transfere 209,57 W/m². Em relação ao fator de luz diurna, observou-se que a superfície GRP apresentou resultados consideravelmente maiores do que a superfície PMMA. Portanto, há indícios, embora ainda preliminares, de que o uso de GRP em superfícies, para o controle na transferência do fluxo de calor para o ambiente, possa ser uma solução projetual a ser considerada quando houver a necessidade de aproveitamento da luz natural para a iluminação em espaços de atividades humanas. Considerando, que esta solução de iluminação zenital, esteja sendo adotada para minimizar o uso de eletricidade necessária ao ambiente.

Embora as emissividades medidas da superfície GRP sejam menores do que as do PMMA e, consequentemente, uma redução do fluxo de calor maior, esta tendência foi observada nas temperaturas radiantes médias, entretanto, não foi observada quanto às temperaturas ambientes, visto que o ambiente da superfície de PMMA, apresentou valores absolutos menores que a superfície de GRP, isto revela uma vertente a ser melhor estudada, para verificar quais foram os fatores que geraram tais resultado.

De modo geral, esta pesquisa encontrou indícios de que a superfície GRP auxilia no controle das trocas de calor (interferência direta nas condições de conforto térmico), garante a transmitância luminosa adequada para

realização de atividades humanas, para economizar luz artificial. Estes indícios demonstram que é possível, desenvolver projetos de domos usando GRP, que podem também atender outro requisito de extrema importância para estes elementos arquitetônicos, que é a resistência ao impacto, visto que por hipótese, materiais reforçados com fibras, possuem maior resistência que materiais sem este tipo de reforço, esta vertente deve ser explorada futuramente pela pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Modelos e Ensaios – LAME da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU da Universidade de São Paulo - USP, que contribuiu de maneira significativa na realização da pesquisa. Ao professor José Gil Oliveira do Laboratório de Fotometria do Instituto de Energia e Ambiente -IEE USP e ao Ranieri Higa do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LABAUT da FAU USP.

REFERÊNCIAS

ABMACO — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. Compósitos I: **Materiais, Processos, Aplicações, Desempenho e Tendências.** São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3**: iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

CLARKE, J. A.; YANESKE, P. P.; PINNEY, A. A. **The harmonisation of yhermal properties of building materials**. Waltord: Building Research Establishment. BRE Publication. BEPAC Research Report. 1990.

ENGEL, H. Sistemas Estruturais. Barcelona, Espanha: Editorial Gustavo Gili, 2014.

ESMAY, M.L. ***Principles of animal environment***. West Port: AVI Publishing, 1979. 325p.

IBARRA SOTO, F. J. Avaliação do desempenho luminoso de duto de luz: **estudo da implantação em ambientes padrões de habitações populares em três latitudes**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2010.

INCROPERA, F. P; DEWITT, D. P; BERGMAN, T. L e LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Tradução de Eduardo M. Queíroz e Fernando L. P. Pessoa. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KOENIGSBERGER, O. et alii. ***Vivienda y edifícios en zonas cálidas tropicalis***. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977.

NOBOA, H. L. ***Influence of dust on the emissivity of radiant barriers.*** *A thesis presented for partial fulfillment of the requirement of the degree of Master of Science*. Quito: Escola Politécnica Nacional, 1991.

NOVO, M. M. M. *et al*. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. **Cerâmica**, São Carlos, SP, v. 60, n. 1, 2014. Disponível em: http:// www.scielo.br/pdf/ce/v60n353/04.pdf. Acesso em: 10 mar. 2016.

PEREIRA, D. C. L. Modelos físicos reduzidos: **uma ferramenta para avaliação da iluminação natural**. 2006. 246 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Área de Concentração Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

SEVEGNANI, K. B.; GHELFI FILHO; H.; DA SILVA, I. J. O. **Comparações de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. In: Sci. Agric. V 51. Jan./Abril, 1994.

VOLPATO, N. (ed.). Prototipagem rápida: **tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WANBERG, J. **Composite Materials Fabrication Handbook #3**. EUA: Wolganfg Publications , 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ISOLANTE TÉRMICA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA[1]

PASSOS, Paulo Martins dos (1); CARASEK, Helena(2)); AMARAL, Gabriel Martins (3)

(1) UFG, e-mail: paulompengc@gmail.com; (2) UFG, e-mail:vhcarasek@gmail.com; (3) UFG, e-mail: fecgabriel@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho enquadra-se em um contexto atual de preocupação com o desenvolvimento sustentável global da construção civil e com o desempenho das edificações. São propostos revestimentos de argamassa que aliam o isolamento térmico e a utilização de resíduos para aplicação em paredes de concreto pré-moldado de habitações de interesse social. Assim, são estudados três traços de argamassa com resíduos de EPS e resíduos de lã de rocha, lã de vidro e vermiculita, em comparação com uma argamassa convencional de referência. A comprovação do desempenho adequado dos sistemas propostos - painel pré-moldado revestido com argamassa isolante - é feita por meio de um programa experimental e de cálculos dos níveis mínimos de desempenho térmico pela norma ABNT NBR 15575:2013. No programa experimental foram realizados ensaios das argamassas (estado fresco, propriedades físicas e mecânicas no estado endurecido e durabilidade) e a avaliação do painel revestido (aderência, permeabilidade à água e fluxo de calor com auxílio de termovisor infravermelho). A partir dos ensaios e análises realizadas conclui-se que as argamassas com resíduos de EPS e resíduos de lã de vidro, lã de rocha e vermiculita, apresentam grande potencial para utilização como revestimentos isolantes térmicos, contribuindo em vários aspectos para a sustentabilidade na construção civil.

Palavras-chave: Argamassa de revestimento. Desempenho térmico. Resíduos. Materiais reciclados.

ABSTRACT

This paper is included in an actual context of concerns about building's sustainable development and controlling performance standards. Are presented rendering mortars featured by thermal insulation and waste incorporation for usage in precast concrete wall to habitation of social interest. Therefore, are studied three mortars proportions with waste of EPS and waste of rock wool, glass wool and vermiculite, in comparison to a conventional mortar proportion. The evaluation of proposed systems' performance (precast concrete wall with insulating mortar render) is made by an experimental program and calculation of minimum levels of thermal performance by ABNT NBR 15575:2013. The experimental program consisted in evaluation of mortars (fresh state, physical and mechanical properties in hardened state and durability) and tests of precast concrete wall plastered with mortar (bond strength, water permeability and thermal flux assisted by infrared thermal imaging). As a result from experiments and analysis, mortars with waste of EPS and waste of rock wool, glass wool and vermiculite have a great potential for usage as rendering thermal insulation, contributing to the sustainability of buildings.

[1] PASSOS, Paulo Martins dos; CARASEK, Helena; AMARAL, Gabriel Martins. Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Rendering mortar. Thermal performance. Waste. Recycled materials.*

1 INTRODUÇÃO

A crise energética vivenciada pelo Brasil em meados dos anos 2000 propiciou a discussão e implementação de políticas públicas sobre a conservação e uso racional de energia. A Lei n° 10.295 e o Decreto Lei n° 4.059 possibilitaram a ampliação das discussões de níveis mínimos de eficiência energética para edificações (BRASIL, 2001).

O conceito de desempenho das edificações também ganhou importância nos últimos anos com a publicação da Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575:2013). A envoltória das edificações, ou seja, o revestimento das vedações externas influencia diretamente a eficiência energética da habitação. Por outro lado, o desempenho térmico do sistema de vedações verticais condiciona a habitabilidade da edificação por se relacionar com o conforto térmico proporcionado aos usuários (APOLÔNIO et al., 2010).

Os materiais e componentes dos sistemas de vedação comportam-se termicamente em função das características térmicas que possuem. A condutividade térmica, que é função da densidade do material, indica a capacidade em conduzir calor, por outro lado a resistência térmica é uma propriedade ligada à resistência à passagem de calor. Estas e outras propriedades fornecem informações a serem utilizadas ao se considerar desempenho térmico das edificações e o conforto térmico de usuários. Estudos indicam que revestimentos de argamassa com espessura em torno de 35% do sistema de vedação podem ser responsáveis por 30% do isolamento térmico (CARASEK, 2010).

Ao se falar de projetos que atendam o desempenho térmico é interessante notar o caso de projetos arquitetônicos padronizados em Habitações de Interesse Social (HIS), que são repetidos em grande escala em todo território nacional. Projetar e construir desconsiderando a diversidade de zonas bioclimáticas e de condições ambientais origina edificações limitadas no atendimento aos requisitos de desempenho térmico (DANTAS; BARBIRATO, 2015).

Não obstante, a sustentabilidade é outro ponto que tem permeado as diretrizes de desenvolvimento. A incorporação de resíduos na construção das edificações ajuda a mitigar parte dos impactos ambientais causados. O reaproveitamento de resíduos maximiza a utilização da energia incorporada na obtenção de um material: extração, manufatura e infraestrutura de transporte.

O poliestireno expandido (EPS), por exemplo, consome 88,6 MJ por quilograma produzido (HAMMOND; JONES 2011), aplicado em embalagens tem sua energia incorporada subutilizada. Suas propriedades isolantes advêm de seu volume celular, composto por 98% de ar e 2% de poliestireno (ABRAPEX, 2006). Outros materiais subutilizados são os resíduos de lã de rocha e de lã de vidro (ambas fibras cerâmicas), além de vermiculita expandida (minério com baixa massa específica), os quais são utilizados como isolantes

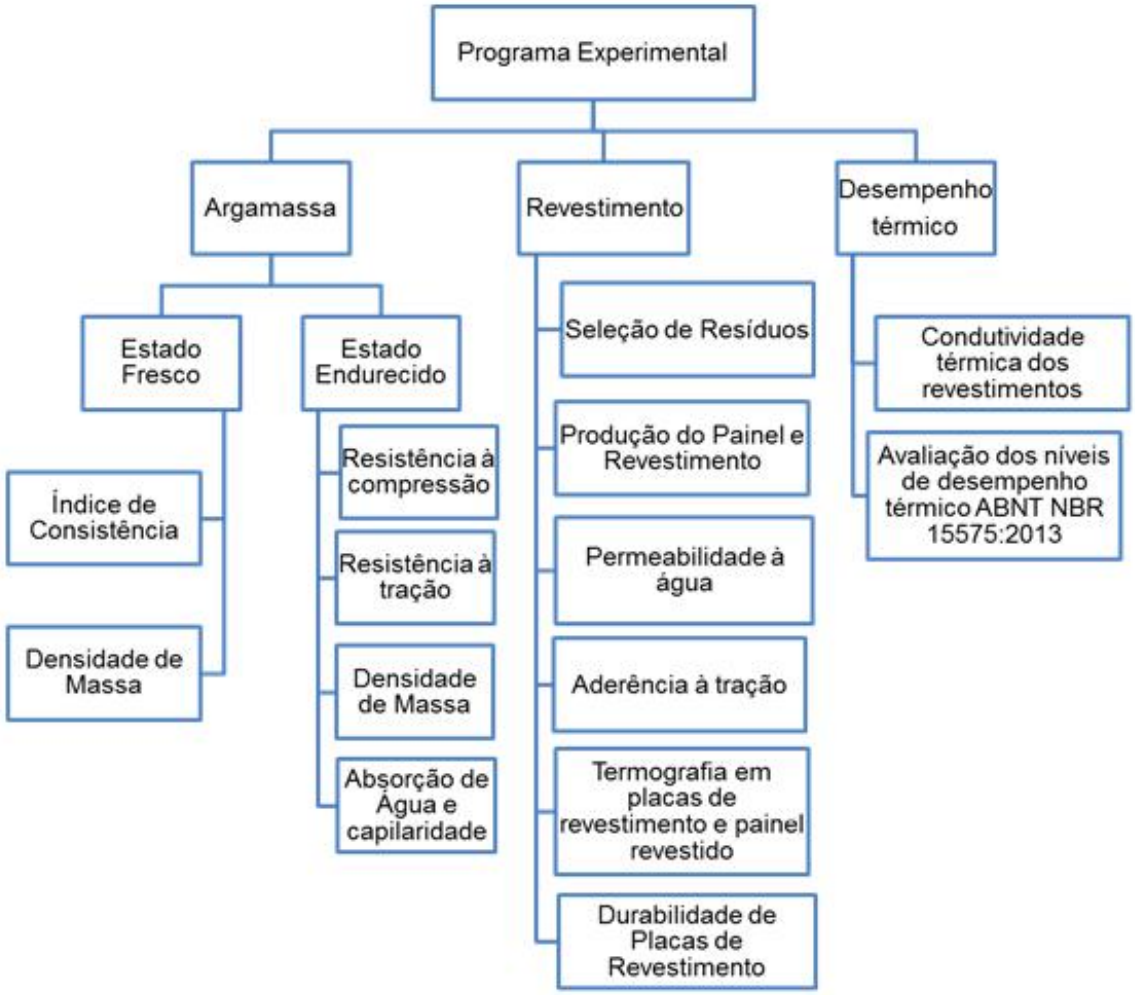
térmicos. Estes resíduos geralmente são destinados à disposição final em aterros ou se acumulam em depósitos de indústrias (MEDEIROS et al., 2014).

Neste contexto de preocupações, o presente trabalho visa estudar as propriedades de revestimentos de argamassa com isolamento térmico significativo, desenvolvido com a incorporação de resíduos de EPS, lã de rocha, lã de vidro e vermiculita expandida. O desenvolvimento dessa argamassa tem como objetivo oferecer uma alternativa de revestimento de sistemas verticais de vedação externa (SVVE) que possibilite a otimização do desempenho térmico de habitações de interesse social que utilizam o sistema executivo de paredes de concreto pré-moldada.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A Figura 1 apresenta um fluxograma que detalha o programa experimental para a avaliação das argamassas e revestimentos.

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Os autores

A avaliação da argamassa com incorporação de resíduos de EPS ou lã de rocha/lã de vidro/vermiculita (LR/LV/V) foi baseada em estudo de quatro

proporcionamentos de argamassas, sendo um de referência e os outros três com diferentes teores de resíduos e aditivo (Tabela 1).

Tabela 1 – Proporcionamento (traço) das argamassas, em volume

Traço	Cimento	Cal	Areia	EPS	LR/LV/V	Aditivo
REF	1	1,0	6,0	-	-	-
E80	1	0,5	1,0	5,0	-	0,13
E90	1	0,5	0,5	5,5	-	0,20
E90L	1	0,5	0,5	5,5	0,50	0,20

Legenda: REF: Traço Referência – argamassa convencional de revestimento externo; E80: Traço com 83,3% de substituição de areia natural por EPS triturado; E90: Traço com 91,7% de substituição de areia natural por EPS; E90L: Traço E90 com adição de Resíduos de lã de rocha/lã de vidro/vermiculita.

Fonte: Os autores

2.1 Materiais

Para o preparo das argamassas foram utilizados os seguintes materiais:
a. Aglomerantes: foram utilizados cimento CP V - ARI e cal hidratada CH-I.

b. Agregado: o agregado miúdo utilizado foi areia média quartzosa, lavada, natural. A caracterização da areia é apresentada na Tabela 2 e na Figura 2.

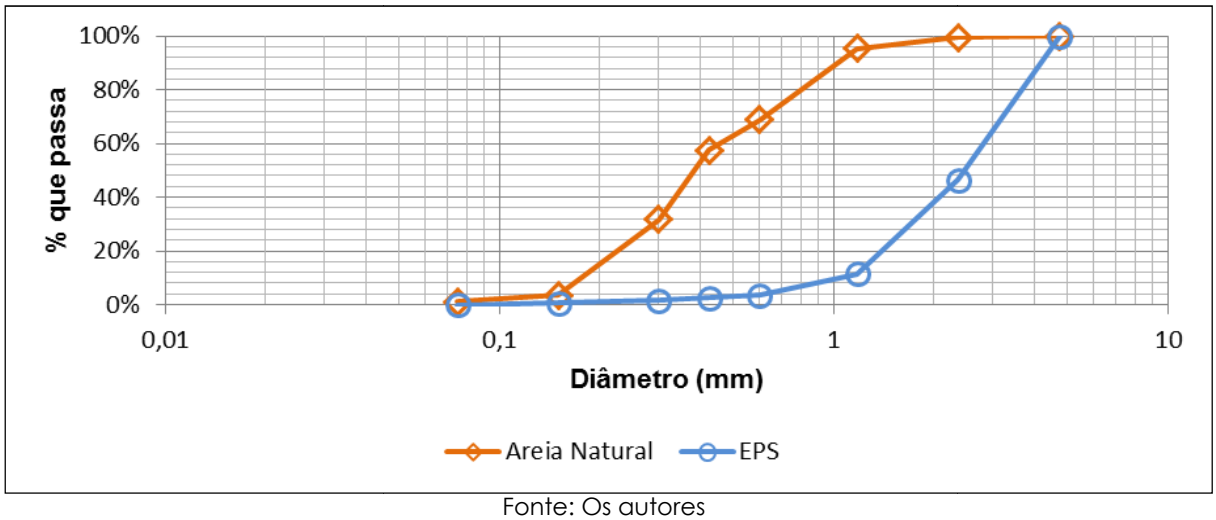
Tabela 2 – Caracterização da areia (ABNT NBR NM 248:2003/ NM 46:2003)

Módulo de finura	Dimensão máxima característica	Massa específica	Teor de materiais pulverulentos
2,01	1,18 mm	2,62 g/cm³	1,0%

Fonte: Os autores

c. Resíduo de EPS: o resíduo de EPS foi obtido de material proveniente de descarte. Foram utilizadas peças de EPS de alta densidade. Os resíduos de EPS passaram por inspeção visual e posterior trituração (Figura 3). O resíduo triturado de EPS apresentou massa específica aparente de 0,41 kg/dm³ (determinado pela ABNT NM 45:2006). A distribuição granulométrica é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – distribuição granulométrica da areia natural e dos resíduos de EPS



Fonte: Os autores

d. <u>Resíduo de lã de rocha, lã de vidro e vermiculita (LR/LV/V):</u> é proveniente do processo de acabamento de materiais compósitos utilizados para isolamento térmico e acústico. Este resíduo é composto por fibras de pequena dimensão (LR e LV) e grãos de vermiculita expandida, como ilustrado na Figura 3, e apresenta massa específica aparente de 0,42 g/cm^3. A caracterização do resíduo pelo método de fluorescência de raio-x (FRX) é apresentado na tabela 3 a seguir. A caracterização por fluorescência foi realizada após moagem da amostra com peneiramento total em abertura 0,074 mm (Espectrômetro de fluorescência de RX Thermo Fischer Scientific, modelo ARL PERFORM'X 4200).

Figura 3 – areia natural, EPS triturado e resíduos de lã de rocha/lã de vidro/vermiculita



Fonte: Os autores

Tabela 3 – Composição química – caracterização por FRX

Compostos	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	SO_3	P.F.	Álcalis Totais		
								Na_2O	K_2O	Equiv. Alcalino
Quantidade (% massa)	43,15	16,07	10,04	7,23	6,65	-	10,71	3,38	1,70	4,50

Fonte: Os autores

e. Água: foi empregada água da rede pública de abastecimento. A proporção de água utilizada foi definida com base na trabalhabilidade da argamassa.

f. Aditivo: foi utilizada uma emulsão polímerica comercial de base acrílica solúvel em água contendo fibras de polipropileno. Este aditivo de propriedades impermeabilizantes por hidrofugação e de melhoria da trabalhabilidade por incorporação de ar, apresenta densidade de 0,85 g/cm^3, pH de 8,5 e teor de sólidos de 14%.

2.2 Métodos

a) Avaliação das argamassas - laboratório

As argamassas de laboratório foram produzidas utilizando-se um agitador mecânico com controle de rotação da marca IKA, modelo EUROSTAR 60 Control, provido de haste de hélice com 4 pás, com mistura por 6 minutos. A quantidade de água em cada traço foi definida com base na avaliação visual da trabalhabilidade por um profissional pedreiro.

No estado fresco foram realizados os ensaios do índice de consistência – flow table (ABNT NBR 13276:2002) e de densidade de massa (ABNT NBR 13278:2005). No estado endurecido, as argamassas foram caracterizadas, aos 28 dias, quanto à absorção de água por capilaridade e índice de capilaridade (ABNT 15259:2005), resistência à compressão e à tração na flexão (ABNT NBR 13279:2005) e densidade de massa aparente (ABNT NBR 13280:2005).

b) Avaliação da produção e do desempenho dos revestimentos

No processo de avaliação da viabilidade de produção fabril, realizou-se a seleção e trituração dos resíduos de EPS e seleção dos demais resíduos. Verificou-se ainda a capacidade de homogeneização dos resíduos quando do preparo em betoneira (capacidade de 200L), bem como a aplicação do revestimento sobre paredes de concreto com este ainda fresco.

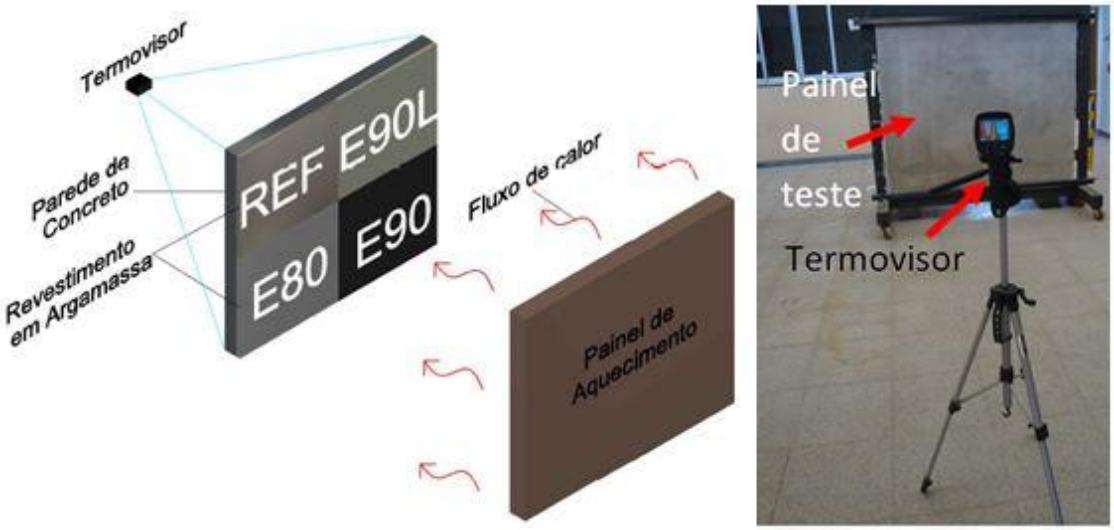
Além das paredes de concreto revestidas, foram moldadas também placas de revestimento de argamassa (28 cm x 17 cm x 2 cm) para realização de ensaios preliminares de durabilidade, e placas para ensaio de condutividade térmica (28 cm x 28 cm x 3,2 cm). O ensaio de durabilidade foi realizado em 10 ciclos de molhagem (1 dia) e secagem a 60°C em estufa com ventilação forçada (durante 6 dias).

O programa de ensaios das paredes contemplou a determinação da resistência de aderência à tração (ABNT NBR 13528:2010), a permeabilidade à água – método do cachimbo (NIT 224 - CSTC, 2002) e a avaliação do fluxo de calor através do painel de concreto revestido (termovisor). Para tal verificação foi necessária a utilização de uma parede de concreto (dimensão 1,70 m x 1,50 m) revestida com os quatro traços de argamassa em estudo. Cada traço ocupou um quadrante da parede de concreto com superfície de 85 cm x 75 cm. Este painel constituído da parede de concreto (10 cm de espessura) e revestido com as quatro argamassas estudadas (3

cm de espessura) foi submetido a aquecimento na face revestida, sendo avaliadas as diferenças de fluxo de calor e de temperatura na outra face da parede de concreto com auxílio de um termovisor infravermelho, marca FLIR modelo E40 (Figura 4).

O aquecimento da parede de concreto foi realizado utilizando aparato análogo ao proposto no Anexo E da norma ABNT NBR 15575-4:2013. O aparato possui 12 lâmpadas de aquecimento de 250 W dispostas em 3 fileiras e 4 colunas, com potência controlada por dimmers. O painel de aquecimento foi disposto a uma distância de 10 cm da parede revestida e a temperatura foi mantida a 80°C na superfície exposta ao aquecimento. A exposição da parede ao aquecimento durou 5 horas.

Figura 4 – esquema de aquecimento e avaliação da condutividade da parede de concreto por meio de termovisor



Fonte: Os autores

Procedimento de aquecimento similar foi utilizado em um painel montado com as placas de argamassa, de 3 cm de espessura, posicionadas em um suporte. As placas com dimensões de 30 cm x 30 cm foram expostas ao aquecimento durante uma hora, com a utilização de apenas 4 lâmpadas dispostas em duas linhas e duas colunas.

c) Verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico

A verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico dos painéis pré-moldados revestidos foi efetuada segundo o procedimento das normas ABNT NBR 15575:2013 e ABNT NBR 15220-2:2005. O Procedimento 1 - simplificado - da norma de desempenho estabelece os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas e os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas. Os cálculos são efetuados conforme a NBR 15220-2 (equações 1 a 4). Para tanto, os valores de condutividade térmica dos materiais (argamassas e concreto) foram obtidos nas tabelas dessa norma para materiais similares aos desenvolvidos na presente pesquisa.

Resistência Térmica da Parede: $R_t=(e_{concreto}/\lambda_{concreto})+(e_{argamassa}/\lambda_{argamassa})$ (1)

Resistência térmica Total: $RT=R_{se}+R_t+R_{si}$ (2)

Transmitância Térmica: $U= 1/RT$ (3)

Capacidade Térmica: $C_t=(e.c.\rho)_{concreto}+(e.c.\rho)_{argamassa}$ (4)

Em que:

e: espessura do material;

λ: condutividade térmica do material;

R_{se}: resistência superficial externa;

R_{si}: resistência superficial interna;

c: calor específico do material;

ρ: densidade de massa aparente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para as argamassas no estado fresco estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – resultados médios da caracterização das argamassas – estado fresco

Argamassa	REF	E80	E90	E90L
Consistência (mm)	255	167	153	140
Relação água/materiais secos	0,18	0,39	0,55	0,48
Relação água/aglomerantes	1,12	0,85	0,97	0,87
Densidade de massa (g/cm³)	1,868	0,770	0,628	0,729

Fonte: Os autores

É possível inferir o decréscimo do índice de consistência com a adição de EPS. O EPS influencia reduzindo a fluidez dessas argamassas, mas não afeta a aplicação no sistema fabril que é um processo realizado com a placa na horizontal pós-concretagem das paredes. Os valores de densidade de massa no estado fresco indicam resultado satisfatório da inserção de resíduos leves na composição das argamassas.

O aspecto de acabamento das argamassas de revestimento produzidas é apresentado na Figura 5.

Os resultados obtidos para as argamassas no estado endurecido são apresentados na Tabela 5.

Figura 5 – aspecto do acabamento das argamassas



Fonte: Os autores

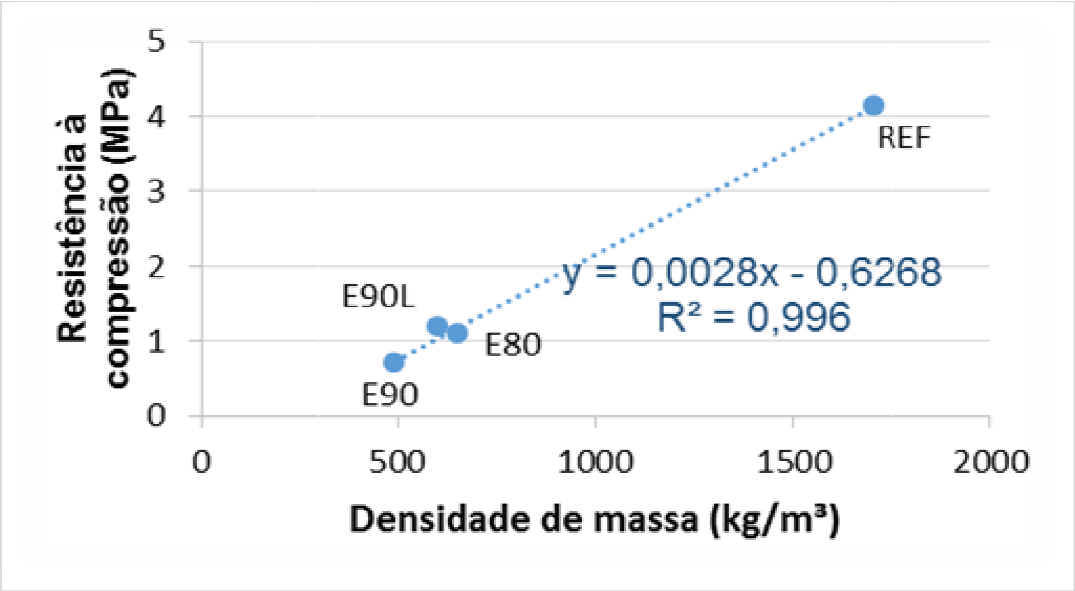
Tabela 5 – resultados médios da caracterização das argamassas – estado endurecido

	REF	E80	E90	E90L
Resistência à compressão (MPa)	4,13	1,10	0,70	1,19
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,78	0,88	0,71	1,16
Relação entre RT/RC	0,4	0,8	1,0	1,0
Coeficiente médio de Capilaridade(g/dm².min$^{1/2}$)	13,08	1,17	2,73	0,73
Densidade aparente (kg/m³)	1707	654	490	604

Fonte: Os autores

A resistência à compressão é afetada pela incorporação de resíduos leves e menos resistentes que formam uma estrutura menos compacta. No entanto, isto não é um problema, pois os revestimentos de argamassa não são solicitados durante sua vida útil em primazia por esforços de compressão. Quando comparadas as argamassas E90 e E90L, observa-se que a incorporação do resíduo LR/LV/V levou a um aumento significativo (70%) da resistência à compressão dessa argamassa. Isto se deve, provavelmente, por um efeito fíler de parte desse resíduo, melhorando o empacotamento da argamassa. Na Figura 6 tem-se a correlação obtida entre a resistência à compressão e a densidade aparente das argamassas. Nota-se que a densidade explica muito bem (R^2 = 0,99) o comportamento mecânico das argamassas estudadas.

Figura 6 – correlação resistência à compressão e densidade de massa



Fonte: Os autores

Os resultados do ensaio de capilaridade e absorção de água (Tabela 5) demonstraram a vantagem da utilização das argamassas elaboradas com os resíduos e polímero.

A resistência à tração na flexão também é reduzida para as argamassas com EPS. Infere-se também que o traço E90L com adição de resíduos fibrosos suporta maior carregamento quando submetido aos esforços de tração, uma vantagem dessa argamassa se comparada às demais apenas com EPS. Os resíduos de fibras cerâmicas reforçaram o compósito explicando o aumento de 60% na resistência à tração (tabela 5).

Na etapa de teste de viabilidade executiva das argamassas a avaliação foi qualitativa. Os procedimentos adotados na seleção e trituração de resíduos não demonstraram dificuldades executivas. Também a mistura em betoneira mostrou-se adequada, garantindo a homogeneização dos materiais. Por fim, a aplicação da argamassa como revestimento, com as placas pré-moldadas na horizontal, não apresentou dificuldade significativa.

A aderência dos revestimentos foi outro quesito avaliado nas paredes executadas em condições fabris (Tabela 6).

Tabela 6 – resultados de resistência de aderência

	REF	**E80**	**E90**	**E90L**
Média (MPa)	≥0,38	≥0,19	≥0,07	≥0,13
Desvio Padrão (MPa)	0,21	0,05	0,03	0,06
Tipo de ruptura	17% i-83% a	17% i-83% a	100% a	100% a

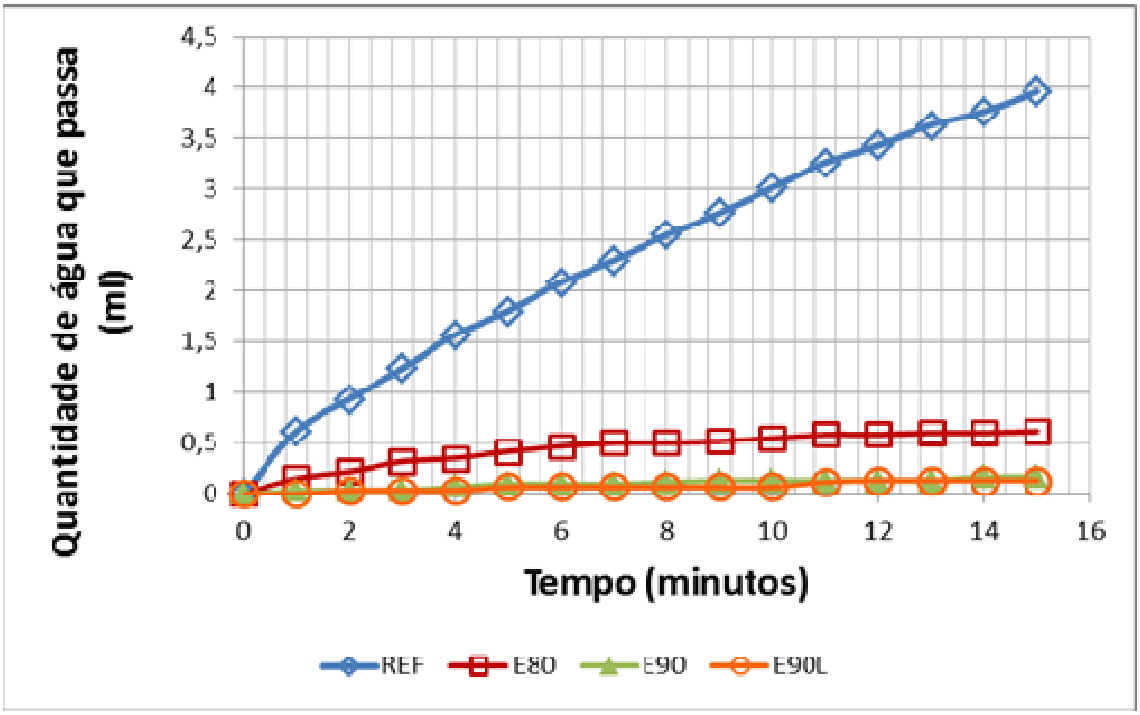
i = ruptura na interface argamassa/concreto; a = ruptura no interior da argamassa

Fonte: Os autores

Em uma primeira análise, a aderência dos revestimentos foi mais baixa com as argamassas contendo EPS. No entanto, a avaliação quanto à forma de ruptura ressalta uma predominância de rupturas no interior da camada de argamassa (tipo coesiva). Quando isso ocorre, o valor obtido não é, a rigor, um valor de aderência; a aderência (que é um fenômeno da interface) certamente é maior. Ou seja, a ruptura sendo predominantemente no interior da argamassa de revestimento, caracteriza falha inicial deste material (explicado pela baixa resistência à tração da argamassa), sem que se tenha uma exata resposta do valor da resistência de aderência na interface. Quando ocorrem rupturas coesivas, os valores mais baixos são menos preocupantes, pois as rupturas perigosas são as que ocorrem na interface argamassa/substrato, uma vez que existe um maior potencial para a patologia de descolamento. Ademais, as argamassas com resíduos são muito leves, não solicitando por meio do seu peso próprio a interface ao longo de sua vida útil. Nos resultados se nota que a incorporação de resíduos LR/LV/V (E90L) implica em acréscimo considerável nesta propriedade quando comparado com o traço semelhante (E90), praticamente dobrando de valor.

A avaliação do material argamassa indicou bons resultados quanto à capilaridade, mas é necessária a avaliação do sistema (revestimento aplicado às placas pré-moldadas) que foi produzido em condições fabris, tendo-se, dessa forma uma informação quanto ao desempenho (estanqueidade). Para a avaliação da permeabilidade e absorção de água do sistema de revestimento utilizou-se o método do cachimbo. Os resultados do experimento são apresentados na Figura 7. Ficou confirmado o excelente desempenho dos revestimentos elaborados com os resíduos e o aditivo frente à argamassa de referência, destacando-se os revestimentos com mais de 90% de EPS e com os resíduos de lã de vidro e de rocha e vermiculita.

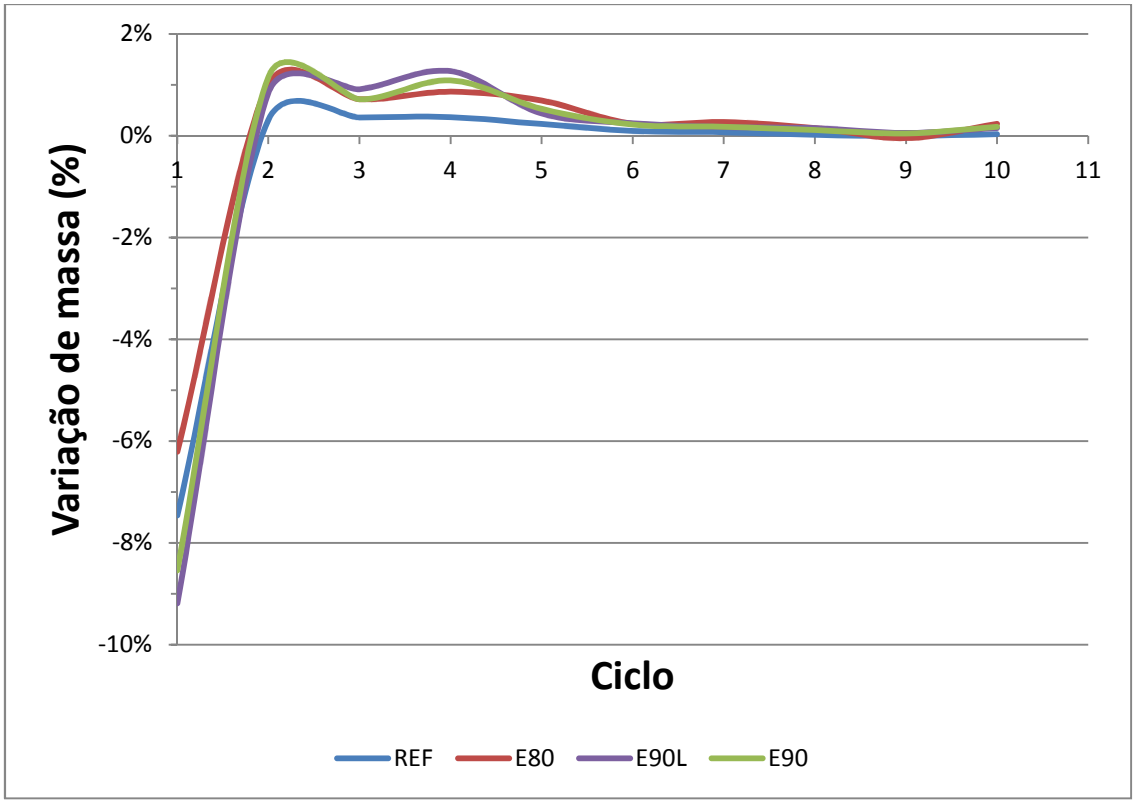
Figura 7– Resultados do ensaio do revestimento pelo método do cachimbo



Fonte: Os autores

Relativo à avaliação preliminar da durabilidade, as argamassas com os resíduos apresentaram comportamento similar ao da argamassa de referência, indicando potencial para sua utilização em revestimentos externos. Os ciclos de molhagem e secagem ao longo do tempo indicam que a argamassa manteve sua integridade próxima aos valores de referência, de modo que pode se inferir que esse material possivelmente apresentará durabilidade em condições de serviço ao longo da vida útil. A Figura 8 apresenta a variação de massa das amostras avaliadas a cada ciclo de exposição.

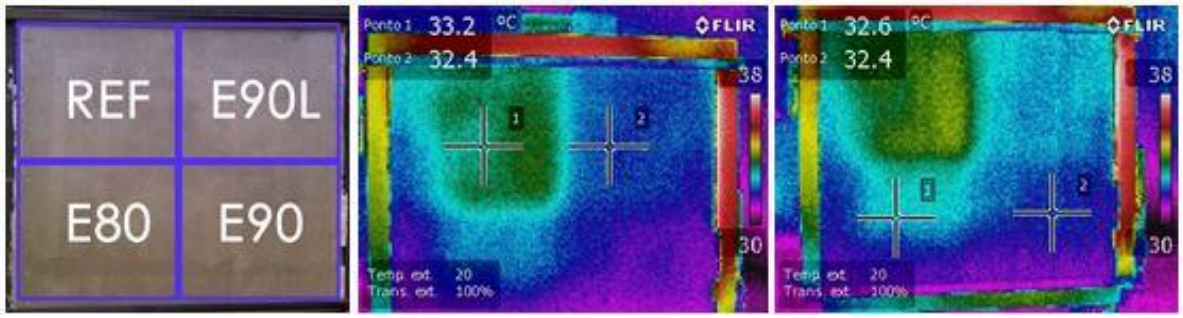
Figura 8 – gráfico de variação de massa de amostras de argamassa expostas a ciclos de durabilidade



Fonte: Os autores

O ensaio de aquecimento para verificar as diferenças de fluxo de calor permitiu inferir, com o auxílio de imagens térmicas, que há nítida diferença entre a argamassa de referência e as argamassas com incorporação de resíduos (Figura 9).

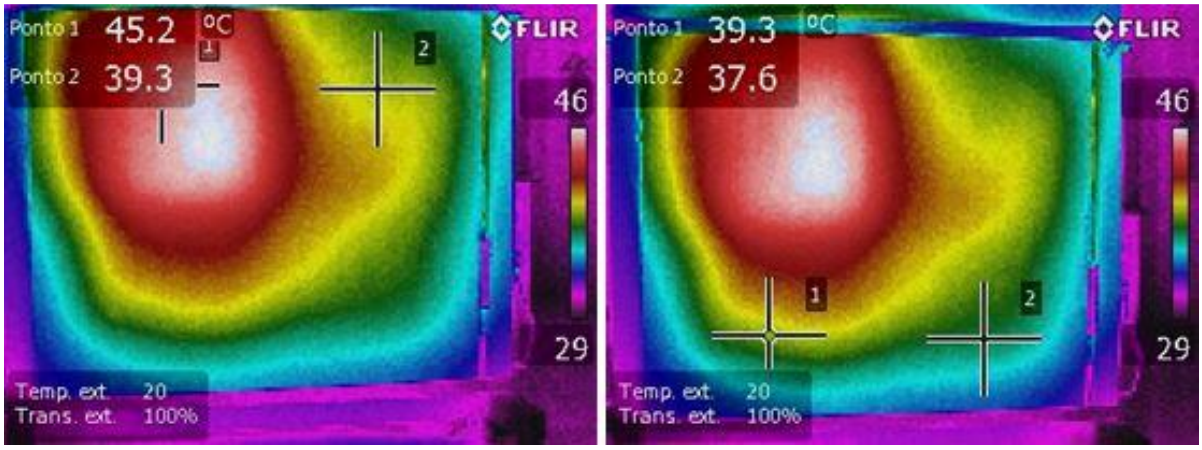
Figura 9 – Quadrantes atrás da parede de concreto; temperaturas REF(33,2°C), E90L (32,4°C), E80(32,6°C), E90(32,4°C) após uma hora de aquecimento



Fonte: Os autores

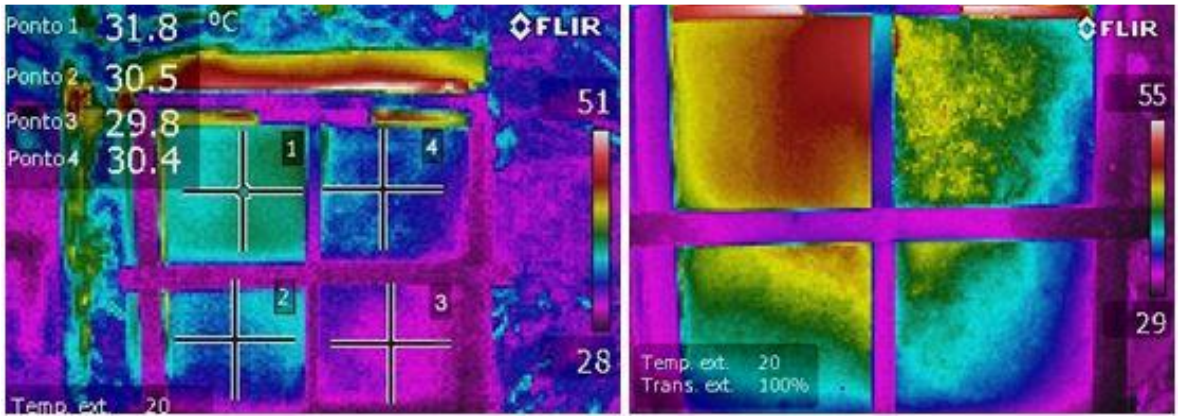
A Figura 10 apresenta os resultados obtidos pelo aquecimento contínuo por 5 horas da parede de concreto revestida. A Figura 11 apresenta os resultados do aquecimento das placas de argamassa de revestimento.

Figura 10 – temperaturas REF(45,2°C), E90L(39,3°C), E80(39,3°C), E90(37,6°C) após cinco horas de aquecimento



Fonte: Os autores

Figura 11 – temperaturas REF(31,8°C), E90L (30,4°C), E80(30,5°C), E90(29,8°C) após 25 minutos de aquecimento; gradiente de temperatura nas placas de revestimento após uma hora de aquecimento



Fonte: Os autores

É possível inferir que os revestimentos com resíduos, propostos para serem isolantes térmicos, atrasam o ganho de temperatura e impedem o fluxo rápido de calor através da parede de concreto. O aquecimento das placas indica a influência individualizada da argamassa de revestimento que dificulta o fluxo de calor devido à estrutura mais leve. A diminuição da massa específica está diretamente ligada à condutividade térmica. Os resíduos LR/LV/V propiciam a redução da absorção e transferência de calor.

Prosseguiu-se a pesquisa com o cálculo simplificado para a verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas. A tabela B.3 da ABNT NBR 15220-2:2005 no seu anexo A apresenta valores indicativos de condutividade térmica para alguns materiais em função de sua composição e densidade de massa aparente. Os valores de condutividade de concreto e argamassa convencionais constam na tabela da norma. A estimativa da argamassa E80 foi aproximada ao valor de uma argamassa celular, faixa de densidade entre 600 a 1000 kg/m³. De modo análogo, as condutividades térmicas das argamassas E90L e E90, foram

estimadas com valores de concreto com argila expandida com dosagem de cimento menor que 250kg/m³ de densidade entre 600-800 kg/m³ e <600 kg/m³. A Tabela 7 apresenta os valores arbitrados de condutividade que foram adotados para os cálculos, utilizando as equações 1 a 4, apresentadas anteriormente.

Tabela 7 – condutividade térmica adotada com base na ABNT NBR 15220:2005

	Concreto	REF	E80	E90	E90L
Condutividade Térmica (W/m.K)	1,75	1,15	0,40	0,20	0,25

Fonte: Os autores

Quando se emprega as equações 1 a 4 para a parede de concreto (10 cm) revestidas com argamassa (3 cm) e utilizando as estimativas de condutividade térmica, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 8. Estes parâmetros permitem uma caracterização prévia dessas propostas de SVVE em avaliação.

Tabela 8 – parâmetros de caracterização térmica calculados

	REF	E80	E90	E90L
Resistência Térmica da Parede (m².K)/W	0,08	0,13	0,21	0,18
Resistência Térmica Total (m².K)/W	0,25	0,30	0,38	0,35
Transmitância Térmica W/(m².K)	3,95	3,31	2,65	2,88
Capacidade Térmica KJ/(m².K)	281,21	249,62	244,70	248,12

Fonte: Os autores

Considerando os resultados apresentados em avaliação ao que é exigido pela Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575:2013), todas as propostas de avaliação se enquadram como adequadas ao se tratar da capacidade térmica de paredes externas, que devem apresentar valores superiores a 130 KJ/m².K.

Entretanto, ao se utilizar o parâmetro de transmitância térmica de paredes externas, o sistema de revestimento com argamassa referência não atende o critério para nenhuma zona bioclimática brasileira. Este critério é apresentado na tabela 13 da norma ABNT NBR 15575-4:2013. Os sistemas de revestimento com utilização de EPS e demais resíduos se qualificam dentro do espectro de sistemas que atendem às zonas bioclimáticas 3 a 8, desde que recebam pintura com cores claras. Estes sistemas possuem valor de transmitância térmica inferior a 3,7 W/m².K e assim atendem a maior parte do território nacional em conformidade com a norma de desempenho (Figura 12). As zonas 1 e 2 que não são atendidas estão concentradas na região sul

e em pequenas partes da região sudeste do país.

Figura 12 – zonas bioclimáticas e adequação das paredes de concreto revestidas com as argamassas contendo resíduos



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220:2005

Confirmados os resultados através de ensaios de condutividade térmica, as argamassas com resíduos aplicados no sistema de vedação delimitado no estudo podem ser consideradas superiores à argamassa de referência. O sistema de revestimento com argamassa leve oriunda da incorporação de resíduos possui potencial sustentável, de durabilidade, e de otimização de desempenho térmico. Entretanto, estudos complementares devem ser realizados para aplicação do material.

4 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios e análises realizadas conclui-se que as argamassas contendo os resíduos estudados apresentam grande potencial para utilização como revestimentos isolantes térmicos de placas de concreto pré-moldado.

O revestimento elaborado com a argamassa contendo 91,7% de substituição de areia por EPS reciclado e resíduos de lã de rocha, lã de vidro e vermiculita (E90L) foi considerado o mais adequado para o sistema de vedação. Isto porque, além desse sistema atender aos parâmetros de capacidade térmica e de transmitância térmica prescritos pela norma ABNT NBR 15575:2013 para as zonas bioclimáticas 3 a 8, atendendo a maior parte do território nacional, ficou comprovado nos experimentos com termografia

infravermelha que este revestimento atrasa o ganho de temperatura e impede o fluxo rápido de calor através da parede de concreto. Ademais, o revestimento com essa argamassa apresentou preliminarmente comportamento adequado quanto a outros parâmetros de desempenho (estanqueidade, aderência e durabilidade) indicando o potencial para utilização em sistemas de vedação externa.

REFERÊNCIAS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Manual de Utilização – EPS na construção civil. São Paulo: Pini, 2006.

APOLÔNIO, R. M.; OMAR, L. G.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; CARVALHO, B. C. Avaliação do desempenho térmico da envoltória de edificação comercial na cidade de Cuiabá. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13., 2010, Canela.

BRASIL. Lei n° 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm> Acesso em: 23 de setembro de 2015.

BRASIL. Decreto Lei n° 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001 e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm> Acesso em: 23 de setembro de 2015.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo C. (Org.). Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2010, v.2. P. 893.

DANTAS, C.; BARBIRATO, G. Avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários em empreendimentos residências horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió - AL. In: ERGODESIGN - Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia, 15., 2015, Recife.

HAMMOND G.; JONES C. Inventory of Carbon & Energy. University of Bath: United Kingdown, 2011.

MEDEIROS, M. G.; CASTILHO, A. B.; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, K. A. Caracterização e classificação do resíduo de lã de rocha para utilização em indústria cimenteira. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 5., 2014, São Leopoldo.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ARGAMASSAS CONTENDO RESÍDUOS A BASE DE EVA E POLIÉSTER COMO AGREGADO LEVE[1]

COSTA, Marienne do Rocio de Mello Maron da (1); PINTO, Maria Clara Cavalini (2); PESSANHA, Matheus Daniel (3); TREVISAN, Daniel Bonet (4); HERZER, Pedro Henrique (5)

(1) UFPR, e-mail: mariennemaron@gmail.com; (2) UFPR, e-mail: mclaracavalini@gmail.com; (3) UFPR, e-mail: pessanha.matheus@gmail.com; (4) UFPR, e-mail: daniel12tre@gmail.com; (5) UFPR, e-mail: pedrohherzer@gmail.com

RESUMO

A expressiva quantidade de resíduos sólidos gerados pelas indústrias calçadistas tem se apresentado como um problema para o meio ambiente, uma vez que são de difícil destinação e podem contaminar o solo e o lençol freático. Soluções estão sendo buscadas para uma destinação apropriada e vantajosa para a indústria geradora do rejeito e para a construção civil, fomentando estudos sobre o assunto. Neste sentido, estudou-se argamassas com substituições em volume de 0%, 10%, 20% e 30% do agregado por resíduos à base de EVA e poliéster, gerados pela indústria calçadista. Foram realizados testes tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, visando avaliar as propriedades reológicas e mecânicas dos produtos obtidos. A substituição do agregado pelo resíduo não influenciou o comportamento reológico, de maneira que as argamassas estudadas se apresentaram como trabalháveis. Em relação ao comportamento mecânico, a substituição afetou a resistência à compressão, à tração na flexão e o módulo de elasticidade. Contudo, mesmo com a redução das resistências mecânicas, as argamassas com substituição apresentaram-se viáveis para aplicação na construção.

Palavras-chave: Argamassa. Resíduos. EVA. Poliéster.

ABSTRACT

The large amount of solid waste generated by the footwear industry has emerged as a problem for the environment, since they are difficult to destination and can contaminate soil and groundwater. Solutions are being sought for an appropriate and advantageous allocation for the manufacturing and civil construction industry, promoting studies on the subject. In this sense, we studied mortars substituting 0%, 10%, 20% and 30% of aggregate by EVA and polyester-based waste generated by the footwear industry. Tests were performed both in fresh and hardened state, to evaluate the rheological and mechanical properties of the products obtained. The replacement of aggregate by waste did not affect the rheological behavior, so that the mortar studied presented as workable. Regarding the mechanical behavior, replacing damaged the compressive strength, tensile strength in bending and resilient modulus. However, even with the reduction of mechanical strength, mortar with replacement had to be viable for application in the construction.

***Keywords**: Mortar. Waste. EVA. Polyester.*

[1] COSTA, Marienne do Rocio de Mello Maron da; PINTO, Maria Clara Cavalini; PESSANHA, Matheus Daniel; TREVISAN, Daniel Bonet; HERZER, Pedro Henrique. Argamassas contendo resíduos a base de EVA e poliéster como agregado leve. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento industrial, a mecanização dos processos produtivos e a utilização de recursos em larga escala têm contribuído para o acúmulo de grandes quantidades de resíduos sólidos sem destinação bem definida, sendo que esse fato se intensificou após a revolução industrial (TOMMASI, 1994). Na maioria dos casos, esse acúmulo pode gerar impactos ambientais devido a condições inapropriadas de descarte, pela presença de substâncias químicas nocivas ao solo ou água, gerando uma urgente necessidade de destinar os resíduos sólidos (GUNTHER, 2000). Devido a esse problema e à crescente tendência das indústrias em assumirem uma postura sustentável, são procuradas aplicações para o grande volume de resíduos, de maneira vantajosa tanto em termos ambientais quanto em termos econômicos para a empresa que produz e que irá utilizar o rejeito (GONÇALVES, 2006).

Em meio à gama de empresas que produz toneladas de resíduos por mês, estão as industrias do ramo calçadista, existentes em abundância no Brasil e que buscam uma solução para os refugos de seu processo produtivo. Um dos materiais gerados na produção de calçados é o resíduo à base de EVA (Etileno Acetato de Vinila) e poliéster que, até então, não havia sido investigada finalidade para esse rejeito.

> A reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes para a construção civil tem sido uma alternativa bem sucedida em diversos casos, gerando à sociedade uma série de benefícios, como a redução do volume de matérias-primas extraídas da natureza, a redução do consumo de energia na produção de materiais e a diminuição da emissão de poluentes .(KAZMIERCZAK, 1998)

Estudou-se o tema de aplicação de resíduos contendo EVA da indústria calçadista na construção civil, baseando-se em trabalhos de autores como Santiago (2008), Idelfonso (2007) e Polari Filho (2003). Esses autores obtiveram bons resultados na aplicação de EVA em concreto leve e em painéis para vedação na construção civil.

Os resíduos incorporados às argamassas nesse trabalho são provenientes do corte industrial de palmilhas de sapatos. Nesse processo, uma placa de EVA passa por uma dublagem junto ao poliéster, que é um processo de colagem dos materiais que ocorre através do aquecimento de um filme entre as placas dos dois materiais, ocasionando a adesão entre os mesmos. Após a placa de material dublado passar através da máquina de corte de palmilhas, grande parte do material é inutilizado, sendo estocado sem finalidade definida.

Outro ponto que vale ser ressaltado é de que há uma necessidade crescente de reduzir a prática de extração de agregados como a areia, tendo em vista que essa atividade provoca impactos ambientais tais como a alteração na dinâmica de leitos fluviais e a contaminação dos mesmos, assunto que é discutido no artigo de Lelles (2004).

Levando em conta essas considerações, o objetivo geral desse projeto foi propor uma destinação adequada para o material estudado, avaliando seu emprego em argamassas em substituição parcial ao agregado miúdo, reduzindo dessa forma a extração de agregados do meio ambiente. Nesse caso, tanto o consumo de areia como o acumulo de resíduo são reduzidos, amenizando impactos antrópicos negativos no meio ambiente.

Com esse objetivo definido, estudou-se argamassas com substituições de 0%, 10%, 20% e 30% do volume da areia pelo resíduo proveniente do corte de palmilhas, com a finalidade de avaliar o comportamento da argamassa após a substituição do agregado por rejeito.

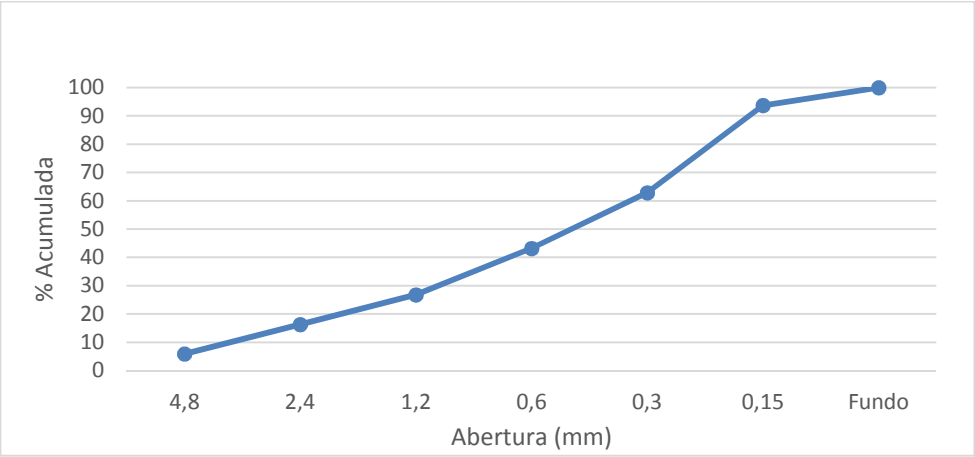
A aplicação dos resíduos em argamassa foi escolhida por apresentar um produto final de alta demanda, grande faixa de aplicação e eliminação considerável de material para uma produção em escala. Além disso, o produto final apresenta peso reduzido em relação à uma argamassa convencional e contribui para a sustentabilidade do meio ambiente, oferecendo uma destinação apropriada aos refugos do processo produtivo, sendo caracterizado como um produto de construção sustentável (SAVASTANO Jr, 2000).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para produzir as argamassas estudadas nesta pesquisa, foram utilizados diversos materiais, sendo eles apresentados a seguir. Optou-se por estudar uma argamassa mista, contendo cimento e cal. O cimento adotado para a pesquisa foi o CPII-Z, adquirido na região metropolitana de Curitiba, cuja massa específica é de 2960 kg/m³, fornecida pelo fabricante. A cal hidratada utilizada foi tipo CH III adquirida na região metropolitana de Curitiba, cuja massa específica calculada em laboratório foi de 1012 kg/m³.

Além dos aglomerantes, também foi utilizado um aditivo superplastificante. Este aditivo foi utilizado a fim de que a massa não perdesse consistência devido à alta absorção de água ocasionada pela presença deste resíduo.

Figura 1: Granulometria da areia fina- Porcentagem média acumulada x Abertura da malha



Fonte: Os autores

Inicialmente, os agregados utilizados foram caracterizados em relação a massa especifica e granulometria e a partir disso foi definido um traço em volume, no qual esperava-se aliar boas propriedades mecânicas e eliminação de resíduo. A areia fina foi adquirida na região metropolitana de Curitiba, sua curva granulométrica está na Figura 1. A massa específica calculada foi de 1605 kg/m³.

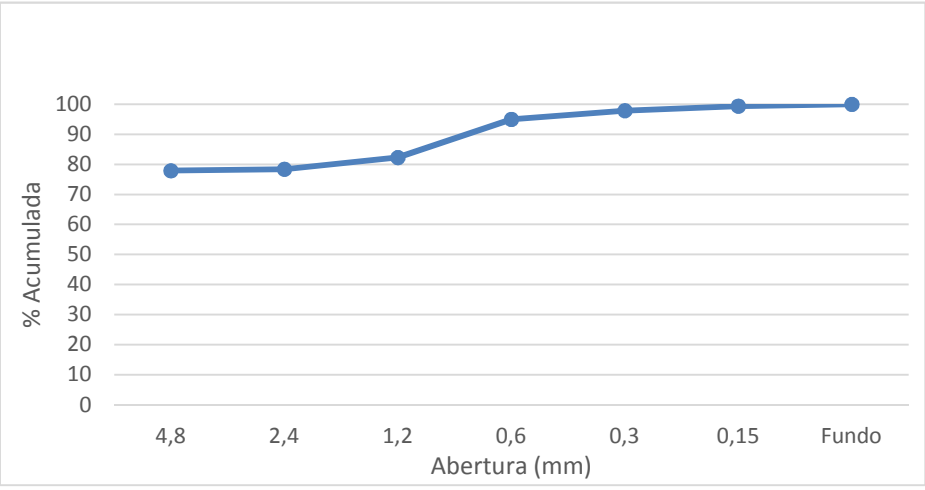
Figura 2: Resíduos a Base de EVA e Poliéster



Fonte: Os autores

Os resíduos a base de EVA e poliéster podem ser vistos na Figura 2. Por meio de peneiramento automatizado em malhas de 4,8mm até 0,15mm, foi obtida a granulometria aproximada do resíduo. A curva granulométrica está presente na Figura 3. As imprecisões na aproximação da curva são consequência da inevitável aglomeração dos grãos que a fibra de poliéster causa no resíduo, tornando inviável uma avaliação mais precisa da granulometria. Além disso, os valores da curva dependem da qualidade da trituração do lote de resíduo escolhido para a avaliação, assim como também a massa específica. Para o lote utilizado nessa pesquisa, a massa específica calculada foi de 52 kg/m³.

Figura 3: Curva granulométrica do resíduo- Porcentagem média acumulada x Abertura da malha



Fonte: Os autores

Os testes realizados no estado fresco foram o "Flow Table" e o Squeeze Flow, a partir deles pode-se concluir que a argamassa produzida possui boas características reológicas, cuja definição pode ser encontrada em Glatthor e Schweizer (1994). Após confecção dos corpos de prova e o tempo de cura, foram realizados os testes no estado endurecido: resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

A determinação do índice de consistência das misturas foi feita por meio do ensaio Flow Table (ABNT NBR 13276:2002), que permite avaliar o espalhamento da argamassa em estado fluido em uma superfície após uma série de impactos verticais na mesa de fluidez. Após a determinação de um traço padrão com consistência aceitável - 1:2:9 (cimento/cal/agregado) em volume, com a areia seca e com a relação água/cimento (massa/massa) de 1,05 - foi preservada a quantidade de água em todas as misturas, alterando-se apenas a quantidade de aditivo superplastificante e a porcentagem de agregado substituído por resíduo em cada uma delas.

Foram testadas argamassas com 0%, 10%, 20% e 30% de seu agregado substituído pelo resíduo de EVA e poliéster. Para garantir a consistência necessária (prevista em norma), teores maiores de aditivo foram utilizados nas misturas com maior teor de substituição de agregado (0,5% da massa do cimento na A-20 e 1% da massa do cimento na A-30), pois ao tirar parte do agregado convencional (areia), perde-se consistência da mistura devido à maior capacidade de absorção de água do rejeito. A tabela 1 mostra os valores estabelecidos para cada argamassa junto às nomenclaturas que serão usadas ao longo deste artigo:

Tabela 1: Traços das Argamassas

Argamassa (Nomenclatua)	Substituição	Traço (Cimento:Cal:Agregado) em volume	Água/Cimento (Massa/Massa)	Areia/Agregado (Volume/Volume)	Resíduo/Agregado (Volume/Volume)	Plastificante/Cimento (Massa/Massa)
A-0	0%	1:2:9	1,05	100%	-	-
A-10	10%	1:2:9	1,05	90%	10%	-
A-20	20%	1:2:9	1,05	80%	20%	0,5%
A-30	30%	1:2:9	1,05	70%	30%	1%

Fonte: Os autores

Os corpos de prova desenvolvidos na pesquisa foram preparados segundo a norma ABNT NBR 13279, utilizando-se moldes prismáticos de 4x4x16cm. Sua cura foi feita em ambiente do laboratório. Para cada ensaio, foram produzidos três corpos de prova. Os resultados apresentados nos gráficos de cada ensaio representam a média dos valores obtidos por essas três amostras de cada tipo argamassa. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizados testes nos estados fresco e endurecido, todos de acordo com as respectivas normas. No estado fresco, as argamassas foram submetidas ao teste de *Squeeze Flow* (ABNT NBR 15839:2010), que consiste na aplicação de uma força em uma determinada velocidade sobre um corpo

de prova cilíndrico de argamassa fresca, avaliando o deslocamento sofrido em função dessa força. Nesse teste, a taxa de cisalhamento adotada para análise de comportamento da argamassa foi de 0,1mm/s. No estado endurecido, foram realizados testes de densidade (ABNT NBR 13280:1995), de resistência à compressão (ABNT NBR 13279:2005), de resistência à tração na flexão (ABNT NBR 13279:2005) e de módulo de elasticidade (ABNT NBR 15630:2008). Os resultados foram avaliados com base nos limites mínimos de desempenho para argamassas de assentamento e revestimento previstos pela norma ABNT NBR 13749:2013. Foi realizada a análise de variância com os resultados das argamassas no estado endurecido a fim de verificar se existe diferença significativa entre os resultados obtidos nos ensaios. Para tanto, foi utilizado um nível de significância de 0,01.

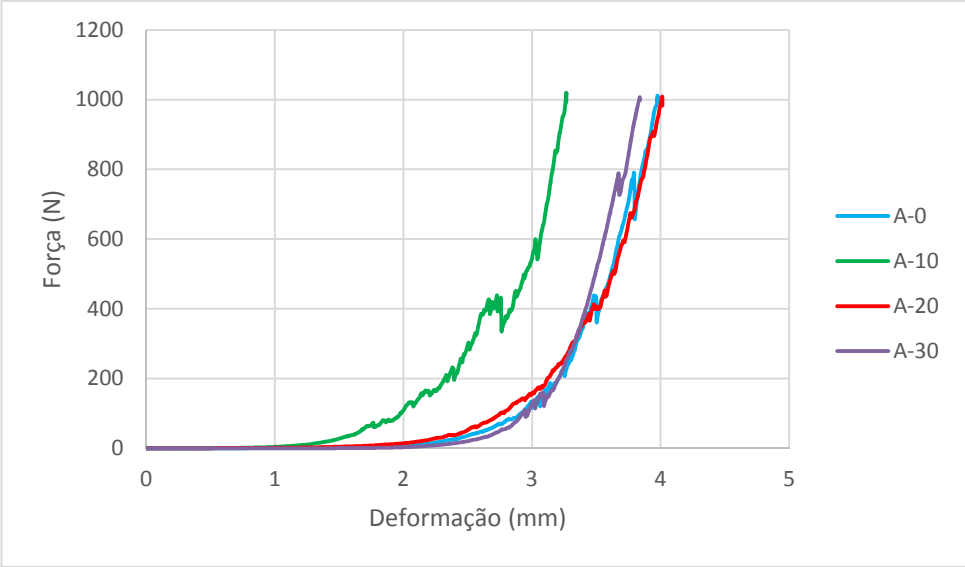
3 RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos na pesquisa. Cada teste pede a confecção de três corpos de prova por traço. Os dados e gráficos aqui apresentados mostram o resultado da média simples entre os valores de cada corpo de prova, para cada traço.

3.1 Squeeze Flow

A Figura 4 consiste em um gráfico comparativo das curvas médias obtidas para cada traço no teste de *Squeeze Flow*. Cada curva representa o valor médio aproximado de três repetições.

Figura 4: Gráfico comparativo *Squeeze Flow*



Fonte: Os autores

Analisando as curvas, é possível verificar que a substituição do agregado por resíduo influenciou o comportamento reológico da argamassa. A argamassa contendo a substituição de 10% do volume apresentou maior resistência à

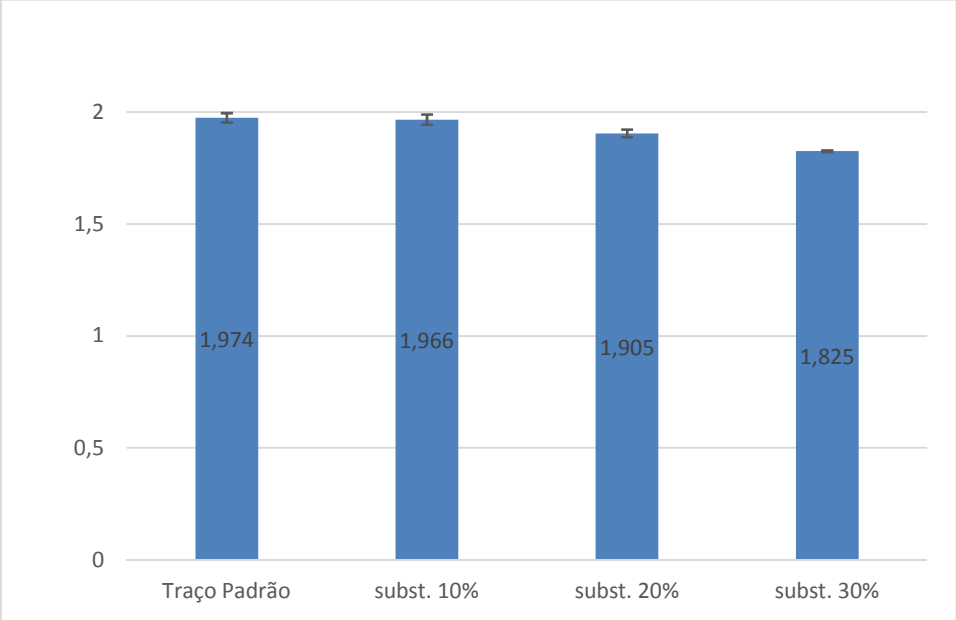
deformação, indicando uma trabalhabilidade inferior. Já as argamassas A-20 e A-30 mantiveram o padrão de trabalhabilidade da mistura padrão A-0. Pode-se atribuir esse resultado a presença do aditivo plastificante nas argamassas A-20 (0,5% da massa de cimento utilizada) e A-30 (1% da massa de cimento utilizada), pois este garantiu maior fluidez nas misturas que tenderiam a ser menos trabalháveis devido a absorção de água pelo resíduo empregado.

Sendo assim, observa-se que é possível compensar a perda de fluidez das misturas – devido a presença do resíduo – por meio da adição de plastificante, garantindo aspectos de trabalhabilidade similares aos da argamassa padrão A-0.

3.2 Densidade no estado endurecido

A Figura 5 apresenta os resultados de densidade no estado endurecido das argamassas estudadas.

Figura 5: Densidade Média por Traço no estado endurecido (g/cm³)



Fonte: Os autores

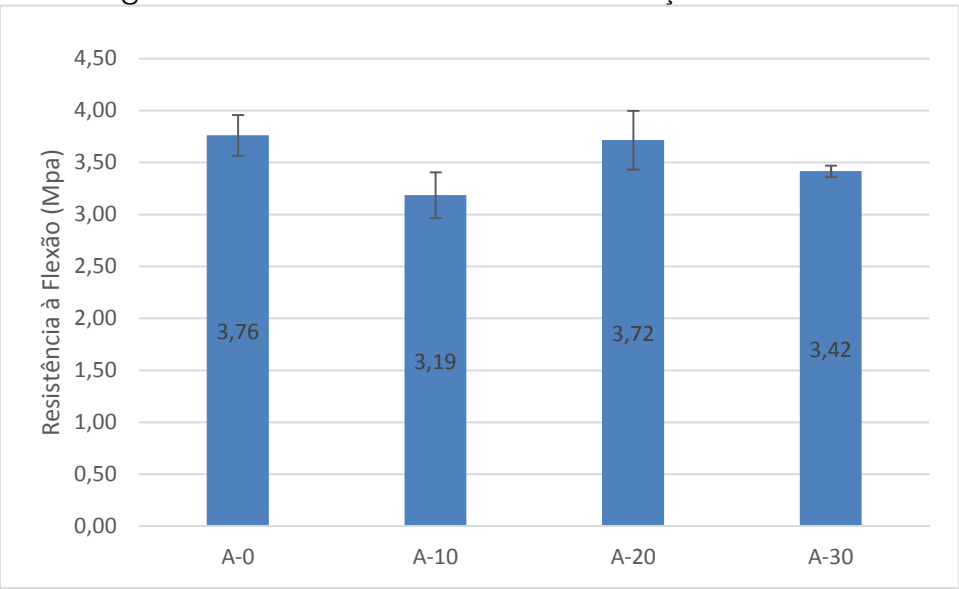
Ao se analisar os resultados apresentados no gráfico 3 é possível verificar que a substituição do agregado por resíduo de EVA e poliéster provocou redução na densidade das argamassas estudadas. As argamassas A-10 não apresentaram diferenças de densidade significativas comparadas às das argamassas A-0. As argamassas A-20 e A-30 apresentaram redução, sendo que a A-30 reduziu aproximadamente 8% da densidade quando comparada com a argamassa de referência A-0. Os resultados apresentados estão condizentes com os apresentados por Santiago (2008), onde em sua pesquisa a adição de EVA fez com que o concreto apresentasse menor massa específica no estado endurecido. De acordo com a análise de ANOVA, os resultados de densidade de todas as amostras são

estatisticamente diferentes entre si, comprovando que o resíduo interferiu na densidade das argamassas.

3.3 Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos para o teste de resistência à tração da flexão estão presentes na Figura 6.

Figura 6: Resultados de resistência à tração na flexão



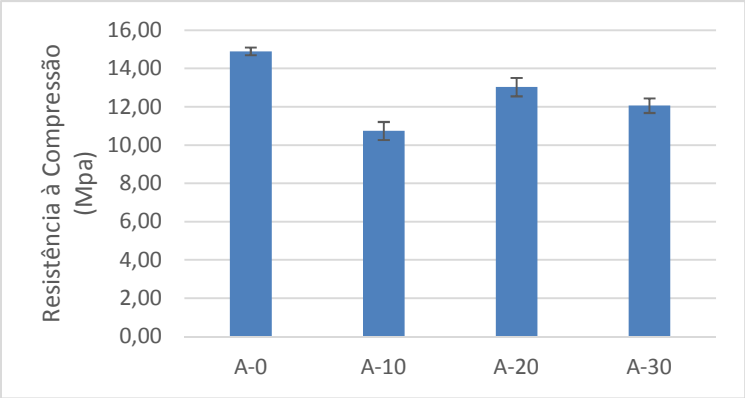
Fonte: Os autores

Comparando-se a argamassa de referência A-0 com as demais argamassas foi possível observar que a substituição do agregado por resíduo prejudicou a resistência à tração na flexão das argamassas. Mesmo contendo o menor teor de resíduo, argamassa A-10 foi a que apresentou menor resistência entre as amostras estudadas. A argamassa A-10 manteve a mesma relação a/c que as demais, contudo a ausência de aditivo pode ter prejudicado a mistura e, com isso, ter produzido uma argamassa pouco homogênea e com menor resistência. A amostra A-20, apresentou pequena redução da resistência quando comparada às argamassas A-0. Ao se aumentar ainda mais o teor de rejeito, a resistência à tração na flexão da amostra A-30 volta a cair para um valor intermediário entre a A-10 e A-20. O gráfico apresentado indica que existe um teor ótimo de adição do resíduo, no qual a resistência à tração na flexão se mantenha quase igual ao da argamassa A-0, e que ao se afastar do valor ótimo o resíduo prejudica a resistência da argamassa. Bem como no ensaio de densidade, a análise de variância demonstrou que os resultados das argamassas, para o ensaio de resistência à tração na flexão, são estatisticamente diferentes entre si, sendo assim, a análise estatística comprovou a influência do EVA sobre as argamassas para ensaio de tração na flexão.

3.4 Resistência à compressão

Os resultados do teste de resistência à compressão estão presentes na Figura 7.

Figura 7: Resultados do teste de compressão



Fonte: Os autores

Assim como o apresentado no ensaio de resistência à tração na flexão, a adição do resíduo fez com que a argamassas apresentasse o mesmo comportamento no ensaio de resistência à compressão. A substituição 10% do agregado por rejeito provocou um decréscimo da resistência à compressão maior que a substituição de 30%. É possível que a redução da resistência à compressão da A-10 seja em função da ausência do aditivo, assim como no caso da resistência à tração na flexão. A argamassa A-20 apresentou maior resistência mecânica provavelmente pelo teor ser o mais próximo do teor ótimo de substituição. Mesmo com a redução da resistência à compressão, todas as amostras contendo resíduo ainda apresentaram resistência à compressão adequada para aplicação. Em sua pesquisa, Santiago (2008) substituiu 50% do agregado natural por EVA e o concreto contendo EVA apresentou redução da resistência à compressão em até 74%. Neste caso, a amostra com menor resistência, A-10, apresentou redução de 28%. Estatisticamente, a argamassa A-20 apresentou valor igual aos das argamassas A-0 e A-30. Com isso, a análise de ANOVA demonstrou que a utilização do teor de 30% de substituição gerou também boa resistência mecânica.

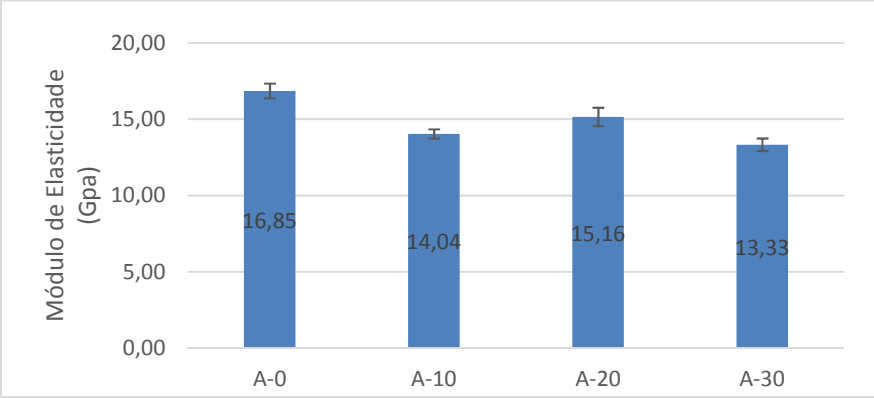
3.5 Módulo de elasticidade

Os resultados do teste de módulo de elasticidade estão na Figura 8.

Analisando-se os resultados apresentados da Figura 8, é possível verificar que a adição do resíduo de EVA e poliéster reduziu o módulo de elasticidade das argamassas estudadas, assim como no trabalho de Santiago (2008). As argamassas A-10 e A-20 apresentaram baixo módulo de elasticidade, contudo a que apresentou menor resultado foi a A-30. Para certas aplicações, não é desejável que a argamassa apresente elevado módulo de elasticidade, a fim de se evitar a rigidez excessiva da peça. Portanto, a redução do módulo de elasticidade das argamassas promove argamassas

mais trabalháveis e menos susceptíveis à fissuração.

Figura 8: Resultado módulo de elasticidade



Fonte: Os autores

Sendo assim, a argamassa A-30 além de apresentar o maior consumo de rejeito também obteve o menor módulo de elasticidade, mostrando-se uma argamassa passível de aplicação. Em relação à análise de variância, todas as amostras apresentam resultados estatisticamente equivalentes, com exceção da comparação entre as amostras A-0 e A-30. Estas amostras apresentaram resultados diferentes entre si, demonstrando que para substituição de 30% o EVA alterou o comportamento da argamassa. Para os outros casos, a substituição do agregado por resíduo não determinou alteração do módulo de forma significativa.

A Tabela 2 mostra os valores de resistência a tração e compressão e o módulo de elasticidade previstos na norma NBR 13479, comparados aos valores obtidos em cada mistura.

Tabela 2: Tabela Valores de Resistência a Tração e Compressão e Módulo de Elasticidade – Classificação segundo a Norma NBR 13479.

		Resistência a Tração na Flexão (MPa)	Resistência a Compressão (MPa)	Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa)
NBR 13749	Classe Mínima Prevista	R5	P5	E5
	Valor Mínimo Previsto	**2,7 a 4,5**	**5,5 a 9,0**	**12 a 20**
A-0	Classe Obtida	R6	P6	E6
	Valor Obtido	**3,76**	**14,9**	**16,85**
A-10	Classe Obtida	R5	P6	E5
	Valor Obtido	**3,19**	**10,74**	**14,04**
A-20	Classe Obtida	R6	P6	E5
	Valor Obtido	**3,72**	**13,22**	**15,16**
A-30	Classe Obtida	R6	P6	E5
	Valor Obtido	**3,42**	**12,06**	**13,33**

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Após analisar os resultados, pode-se perceber que o objetivo da pesquisa foi cumprido, ou seja, propor uma destinação adequada para os resíduos de EVA e poliéster, provenientes da indústria calçadista na construção civil, avaliando seu emprego em argamassas em substituição parcial ao agregado miúdo.

Com os resultados apresentados nessa pesquisa é possível afirmar que ambos os mercados, da construção civil e calçadista, são beneficiados. Na construção civil, cria-se a possibilidade da utilização de um produto diferente, reduzindo a necessidade de emprego da areia e promovendo a redução da exploração de materiais naturais. Para o setor calçadista, é interessante que o rejeito não tenha apenas destino adequado como que seja útil em outras aplicações.

Apesar dos corpos de prova de substituição 20% serem os que apresentaram os resultados mais próximos ao padrão, os corpos de prova com substituição 30% são os que apresentam melhor resultado em relação ao objetivo da pesquisa, que é reduzir o consumo de agregado natural e utilizar o maior teor possível de rejeito. Mesmo que a argamassa A-30 apresente certa deficiência em relação à A-20, o défice não é suficiente para torná-la inaplicável. Sendo assim, essa pesquisa demonstra que não só o rejeito de EVA e poliéster podem ser aplicados em argamassas, como a substituição do agregado natural pode ser feita em teores elevados. E além de apresentar resultados próximos da argamassa padrão, as argamassas A-20 e A-30 também apresentaram resultados satisfatórios em relação aos limites de utilização previstos na norma NBR 13479, mostrando viabilidade e segurança na utilização de tais resíduos na confecção de argamassas para assentamento e revestimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao investimento da empresa Calmart na pesquisa e desenvolvimento dessa solução, que nos trouxe o problema para ser resolvido e financiou os materiais para teste. Agradecemos também o aluno Lucas Catarin, que nos apresentou à Calmart, sendo um dos intermediadores do projeto. Gostaríamos também de agradecer ao LATECA – Laboratório de Tecnologia de Argamassas do Departamento de Construção Civil da UFPR, pela infraestrutura cedida e suporte fornecido com relação a testes e análises.

Agradecemos a Coem Jr, consultoria de engenharia mecânica da UFPR, que através do projeto junto à Calmart propiciou a escrita deste artigo.

Agradecemos a todos que trabalharam tanto na parte prática quanto na teórica desse projeto, através de horas de pesquisa e testes, sendo estes Gianfranco Daroit Cavassin, Leticia Tiemi Kubo, Leonel Bueno Neto, Matheus Akihiro Goya e Rodrigo Lunardon Tokars.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 7217:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995

_____. **NBR 13279:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13479:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15630:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15839:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze flow*. Rio de Janeiro, 2010.

GLATTHOR, A.; SCHWEIZER, D. **Rheological Lab Testing of Building Formulations**. (Hercules GmbH, Düsseldorf), ConChem Conference 1994

GONÇALVES, J.C.S. **Arquitetura sustentável**: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.6, p.51-81. Out./dez.2006.

GUNTHER, W.M.R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000. **Anais**... Curitiba, 2000.

ILDEFONSO, J.S. **Análise de viabilidade técnica da utilização do copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas (processo seco**). 2007. 335f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desenvolvimento de Componentes para a construção civil a partir de resíduos da indústria calçadista** - metodologia. Reciclagem e Reutilização de resíduos como materiais de construção civil. São Paulo, 25- 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

LELLES, L.C. et al. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água**, 2004. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa- Viçosa, 2004.

POLARI FILHO et al. A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho. In: II Encontro Temático Meio Ambiente e Educação Ambiental, 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2003.

SANTIAGO, E.Q.R. **Utilização de agregados de EVA e RCD para a obtenção de concretos leves**. 2008. 185f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SAVASTANO, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibras vegetais**: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 2000. 152 f. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

TOMMASI, L.R. 1994. **Estudo de Impacto Ambiental.** Ed. CETESB: Terragraph Artes e Informática, 354p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO GESSO DE FUNDIÇÃO ADITIVADO COM HIDROFUGANTE[1]

PINTO DA SILVA, Daniel Bruno (1); SOUSA, José Getúlio Gomes (2); ANDRADE, Ananda Criado (3); FERREIRA, Davison Caique Evangelista (4)

(1) Univasf, e-mail: danielbruno.silva@hotmail.com; (2) Univasf, e-mail: getulio.univasf@gmail.com; (3) Univasf, e-mail: ananda.criado1@gmail.com; (4) Univasf, e-mail: davison.caique@hotmail.com

RESUMO

O gesso é um aglomerante aéreo, logo não resiste satisfatoriamente em presença de umidade após seu endurecimento por hidratação. Assim, são utilizados aditivos hidrofugantes que visam minimizar os efeitos da ação da água. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do aditivo hidrófugo nas características do gesso hemidrato no estado fresco e endurecido. Foram avaliadas as propriedades de tempo de pega, dureza, resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e por imersão total. Os ensaios foram realizados em pastas de gesso com 0,2%, 0,4% e 0,6% de aditivo hidrofugante, em relação à massa de gesso, e a relação água/gesso foi fixada em 0,7. O tempo de início de pega foi retardado em 54,79% e o fim de pega foi retardado em 56,78%. Já na resistência à compressão houve uma diminuição desta propriedade em 23,02%, em relação à pasta de referência. A dureza superficial teve uma redução de 12,77%. A absorção de água por imersão total foi reduzida em 61,94%. Já a absorção de água por capilaridade foi reduzida em 86,94%. Foi observado que o aditivo hidrófugo atuou diminuindo a absorção de água. Porém, sua utilização ocasionou a diminuição das propriedades físicas das pastas de gesso.

Palavras-chave: Gipsita. Gesso de fundição. Aditivo hidrófugo.

ABSTRACT

Gypsum is an air binder and therefore not satisfactorily resists presence of moisture after its hardening by hydration. Thus, hydrophobic additives are used to aim at minimizing the effects of the action of water. The objective of this study was to evaluate the influence of water-repellent additive in hemihydrate gypsum characteristics in fresh and hardened state. the setting time were evaluated properties, hardness, compression resistance, water absorption by capillarity and total immersion. Assays were performed in gypsum binders with 0.2%, 0.4% and 0.6% of hydrophobic additive in relation to the mass of gypsum and the water / plaster was set at 0.7. The handle start time was delayed by 54.79%, and the end handle was delayed by 56.78%. In the compressive strength was a decrease in this property 23.02% compared to reference pulp. The surface hardness was reduced this to 12.77%. The water absorption by total immersion was reduced by 61.94%. Already the capillary water absorption was reduced by 86.94%. It was observed that the water-repellent additive acted reducing the water absorption. However, its use resulted in the reduction of physical and mechanical properties of gypsum binders.

[1] PINTO DA SILVA, Daniel Bruno; SOUSA, José Getúlio Gomes; ANDRADE, Ananda Criado; FERREIRA, Davison Caique Evangelista. Avaliação das propriedades do gesso de fundição aditivado com hidrofugante. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Gypsum. Plaster casting. Additive water repellent.*

1 INTRODUÇÃO

A exploração da gipsita no Brasil localiza-se, predominantemente, na Região Nordeste. Atualmente, a localidade de maior produção é a microrregião de Araripina, em Pernambuco, que participa com mais de 90% da produção nacional, sendo formada pelos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Ouricuri, Bodocó, Morais e Exu (PERES, 2008).

O gesso é um aglomerante simples, basicamente constituído de sulfatos, mais ou menos hidratados e por anidros de cálcio (BAUER, 2001). Este material é um aglomerante aéreo e sua pasta apresenta a propriedade de endurecer por reação de hidratação com a água. Após seu endurecimento o gesso não resiste satisfatoriamente quando submetida à ação da água (NBR 11.172:1990).

O gesso poderá ser utilizado na produção de revestimentos, artefatos de decoração, forros, gesso acartonado (Dry Wall) e na fabricação de pré-moldados. No mercado brasileiro o gesso para a construção poderá ser encontrado em três tipos: o gesso para fundição, para revestimento e gessos especiais. Apenas os gessos de fundição e revestimento são normalizados (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001).

O uso de aditivos na produção de gessos especiais tem como objetivo a modificação de propriedades específicas dos materiais. Dependendo das características que são modificadas os aditivos classificam-se em: modificadores do tempo de pega, retentores de água, incorporadores de ar, umidificantes, reforçadores de aderência, fluidificantes, aerantes e hidrofugantes (PERES, Luciano, 2008).

O uso dos aditivos hidrofugantes se justifica pela capacidade do material de funcionar como impermeabilizante impedindo o contato do gesso com a água evitando, desta forma, a sua dissolução. Estes aditivos com ação hidrófuga são, geralmente, à base de silanos ou siloxanos derivados do silicone.

Apesar das vantagens associadas ao uso dos aditivos hidrofugantes e que são difundidas no mercado de produção, principalmente de blocos de gesso para alvenaria, pouco se sabe sobre os efeitos provocados por esses aditivos em propriedades como tempo de pega, resistência à compressão, dureza, capacidade de absorção de água e na durabilidade dessas pastas com o tempo.

Diante do exposto, o presente trabalho avaliou os efeitos provocados nas propriedades das pastas de gesso de fundição aditivadas com hidrofugante, no estado fresco e endurecido. Foram estudadas as características de tempo de pega, resistência à compressão, dureza superficial, absorção de água por imersão total e por capilaridade.

2 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram obtidos na Região do Araripe, em Pernambuco, e no comércio local de Juazeiro, na Bahia.

2.1 Água

Na preparação das pastas de gesso foi utilizada água destilada, conforme prescrição normativa. Para os ensaios de absorção de água por imersão total e por capilaridade foi utilizada a água fornecida pelo sistema de abastecimento público de Juazeiro, BA.

2.2 Gesso hemidrato

O gesso de fundição foi obtido no Polo Gesseiro do Araripe. Este material é utilizado comercialmente na fabricação de blocos para a execução de alvenarias. Na Tabela 1 são apresentadas as características do gesso utilizado:

Tabela 1 – Características do gesso

Consistência Normal	0,56	*NBR 12.128 (1991)*
Dureza	45,48 N/mm²	*NBR 12.129 (1991)* Maior que 30 N/mm²
Massa Unitária	631,10 kg/m³	*NBR 12.127 (1991)*
Massa Específica	2,58 kg/m³	NM 23 (2000)
Resistência à Compressão	11,75 MPa	*NBR 12.129 (1991)* Maior que 8,4 MPa
Tempo de Pega	Início de pega: 9,75 min.	*NBR 12.128 (1991) / NBR 13.207 (1994)* Início: 4 a 10 min.
	Fim de Pega: 11,67 min.	Fim: 20 a 45 min.

Fonte: Os autores

2.3 Aditivo

O aditivo hidrófugo empregado neste estudo é utilizado no Pólo Gesseiro do Araripe. O nome comercial é YESO e sua comercialização é feita pela empresa GESSO COLA®. Esse aditivo possui uma consistência semelhante a de um óleo, translúcido e de cheiro forte. Comumente, é utilizado na fabricação de blocos de gesso para alvenaria.

3 PROCEDIMENTOS

A metodologia empregada nesta pesquisa consistiu na avaliação das propriedades físicas das pastas de gesso de fundição utilizando a relação água/gesso (a/g) de 0,7. Esta relação a/g é usada na fabricação de blocos de gesso no Polo Gesseiro do Araripe e foi utilizada nesta pesquisa a fim de

obter as mesmas características da produção comercial dos blocos.

Foram utilizadas quatro misturas em proporções diferenciadas de aditivo hidrofugante, proporcionais à massa do hemidrato, sendo 0% (pasta de referência), 0,2%, 0,4% e 0,6%.

As proporções do aditivo hidrófugo foram adotadas como base na recomendação do fabricante: 0,2% a 0,3%, em relação à massa de gesso.

3.1 Preparo das pastas

As pastas de gesso foram preparadas conforme determina a NBR 12.128 (1991). Após o polvilhamento do gesso durante 1 min, as pastas foram homogeneizadas manualmente durante 2,0 minutos e transferidas para os moldes.

Na Tabela 2 é apresentada a matriz experimental utilizada nesta pesquisa.

Tabela 2 – Matriz experimental

Pasta	Gesso	Aditivo Hidrofugante	Relação água/gesso
Referência	100%	0,0%	0,7
H1 - 0,2	100%	0,2%	0,7
H2 - 0,4	100%	0,4%	0,7
H3 - 0,6	100%	0,6%	0,7

Fonte: Os Autores

3.2 Ensaios no estado fresco

No estado fresco foram avaliados os tempos de início e fim de pega das pastas de gesso. No estudo foi utilizado o método especificado na NBR 12.128 (1991), que recomenda o uso do aparelho de Vicat .

3.3 Ensaios no estado endurecido

No estado endurecido foram realizados os ensaios de dureza superficial, resistência à compressão, absorção de água por imersão total e por capilaridade.

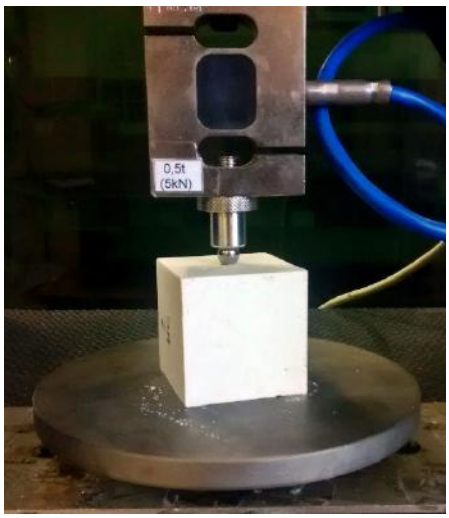
Após a preparação, conforme o item 3.1, as pastas foram transferidas para moldes metálicos cúbicos, impermeáveis e não reativos, com 50 mm de aresta, conforme recomenda a NBR 12.129 (1991). Para cada pasta de gesso foi moldada uma série contendo três corpos de prova, simultaneamente.

3.3.1 Dureza Superficial

O ensaio de dureza superficial foi realizado conforme a NBR 12.129 (1991). Após a preparação e moldagem das pastas conforme os itens 3.1 e 3.3, os corpos de prova ficaram em estufa à 40° C, para estabilização da massa, durante 4 dias.

Logo após, foram submetidos ao ensaio de dureza superficial na prensa hidráulica com capacidade de 0,5t, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Ensaio de dureza superficial



Fonte: Os autores (2015)

3.3.2 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a metodologia indicada na NBR 12.129 (1991). Após a estabilização da massa dos corpos de prova durante 4 dias em estufa à 40° C, foi realizado o ensaio de resistência à compressão na prensa hidráulica com capacidade de 10T, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Os autores (2015)

3.3.3 Absorção de água por imersão total

Para a avaliação da absorção de água por imersão total, conforme a Figura

3, foram moldados, simultaneamente, três corpos de prova cúbicos com 50 mm de aresta, como recomenda a NBR 12.129 (1991). Após serem desmoldados, as amostras foram transferidas para a estufa à 40ºC onde permaneceram durante 5 dias para estabilização da massa.

Logo após a determinação da massa seca as amostras foram submetidas à imersão total, em água, durante de 24 horas a fim de determinar a massa úmida. De acordo com a equação abaixo foi calculada a absorção de água, em porcentagem.

$$AA\% = \frac{Mu - Ms}{Ms} \quad (1)$$

Onde:
Mu = massa do gesso úmido;
Ms = massa do gesso seco

Este procedimento foi utilizado devido não existir norma brasileira que regulamente o ensaio de absorção de água por imersão total em pastas gesso.

Figura 3 – Corpos de prova cúbicos de 5 x 5 x 5 cm, durante ensaio de absorção de água por imersão total



Fonte: Os autores (2015)

3.3.4 Absorção de água por capilaridade

Este estudo contemplou a avaliação da absorção de água por capilaridade, conforme ilustrado na Figura 4. Foram moldados corpos de prova prismáticos com 40 x 160 x160 mm conforme as especificações da NBR 12.129 (1991). Após serem desmoldadas as amostras foram submetidas à secagem em estufa à 40ºC durante 5 dias.

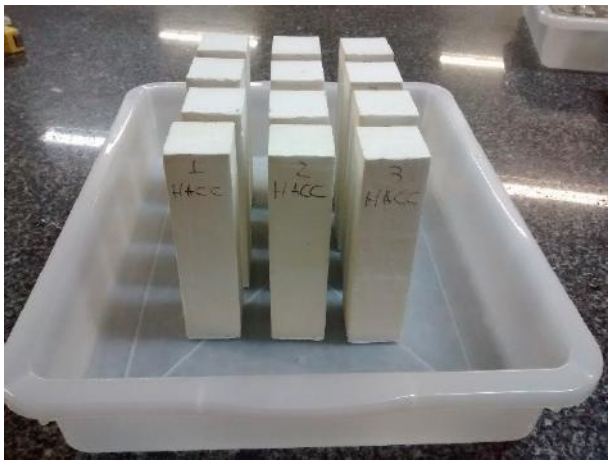
Logo após a determinação da massa seca os corpos de prova foram expostos à uma lâmina de água de (5 ± 1) mm.

A determinação da massa úmida das amostras foi realizada com 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 60 min e 24 horas de exposição, contadas a partir do contato dos corpos de prova com a água. Estes foram previamente enxugados com pano úmido para a determinação da massa úmida.

A porcentagem de absorção de água foi determinada conforme a equação 1.

Este procedimento foi utilizado devido não existir norma brasileira que regulamente o ensaio de absorção de água por capilaridade em pastas gesso.

Figura 4 – Corpos de prova prismáticos de 4 x4 x16 cm, durante ensaio de absorção de água por capilaridade



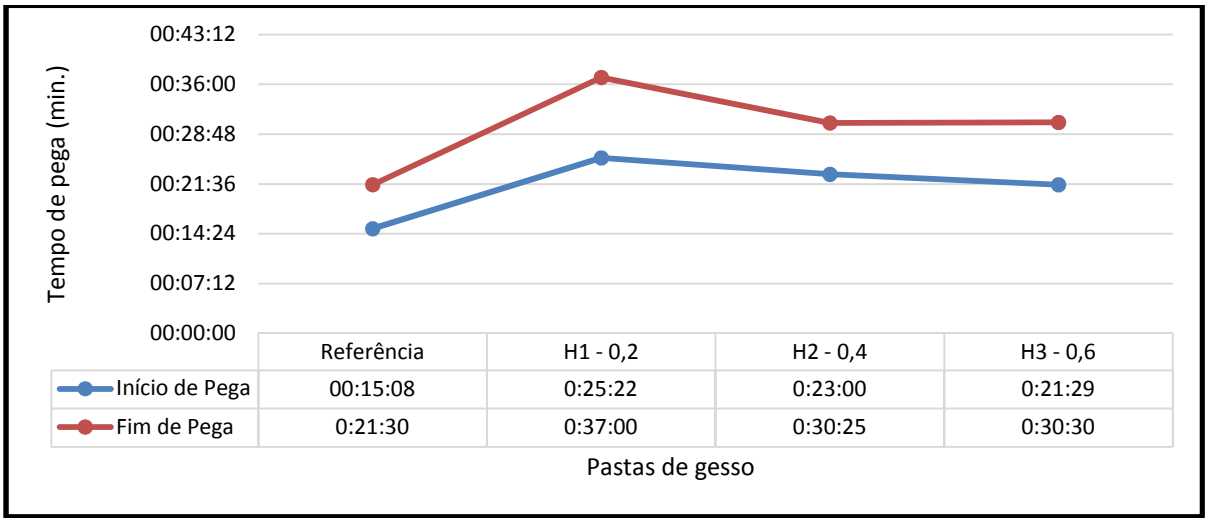
Fonte: Os autores (2015)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados no estado fresco

O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos no ensaio de tempo de pega para as pastas de gesso hemidrato aditivado com o hidrófugo.

Gráfico 1 – Tempo de pega das pastas de gesso



	Referência	H1 - 0,2	H2 - 0,4	H3 - 0,6
Início de Pega	00:15:08	0:25:22	0:23:00	0:21:29
Fim de Pega	0:21:30	0:37:00	0:30:25	0:30:30

Fonte: Os autores (2016)

Os tempos de início de pega das pastas de gesso estão entre 15,13 min e 21,48 min, apresentando valores superiores aos estabelecidos em norma (entre 4 a 10 min). Já os tempos de fim de pega estão entre 21,5 min e 30,5 min, apresentando conformidade com os limites normatizados (entre 20 e 45 min).

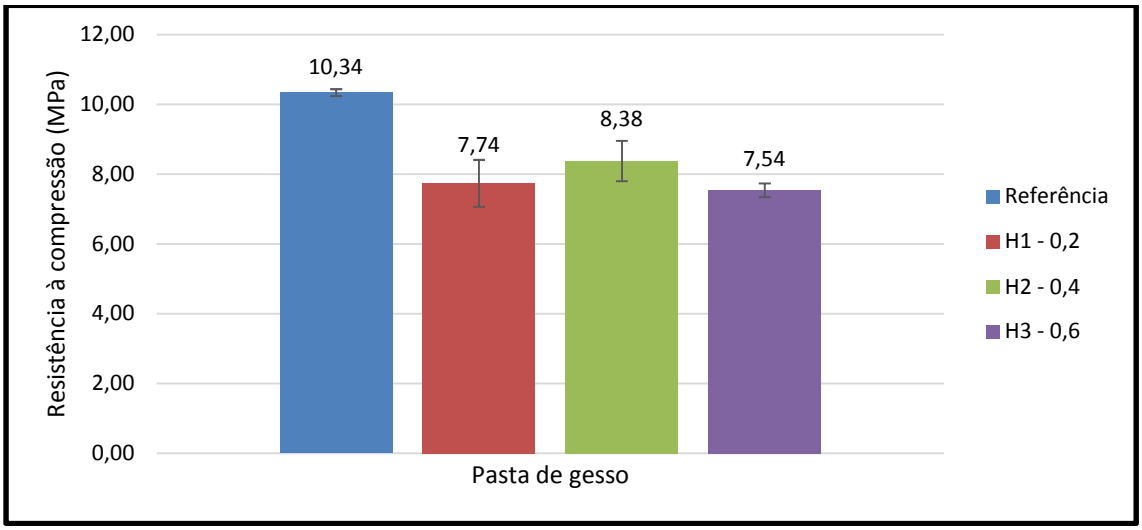
Um aspecto a ser destacado nos resultados (Figura 1), é que a utilização do aditivo hidrofugante nas pastas de gesso de fundição influenciou retardando o tempo de pega. No tempo de início de pega o aumento médio foi de 8,29 min (entre 6,35 min e 10,23 min), apresentando variação entre +41,96% e +67,62% (média de +54,79%), em relação à pasta de referência. Já o tempo de fim de pega foi retardado em média em 12,25 min (entre 9 min e 15,5 min), apresentando variação entre +41,47% e +72,09% (média de 56,78%).

Observa-se ainda que a maior variação do tempo de pega ocorreu na pasta de gesso com a proporção de aditivo hidrófugo indicada pelo fabricante, 0,2%, com pega igual a 11,63 min. Já com 0,4% de adição a pega foi de 7,42 min e para 0,6% de adição a pega foi de 9,02 min.

4.2 Resultados no estado endurecido

O Gráfico 2 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão para as amostras de gesso.

Gráfico 2 – Resistência à compressão média das pastas de gesso



Fonte: Os autores (2016)

Tabela 3 – Resistência à compressão das pastas de gesso

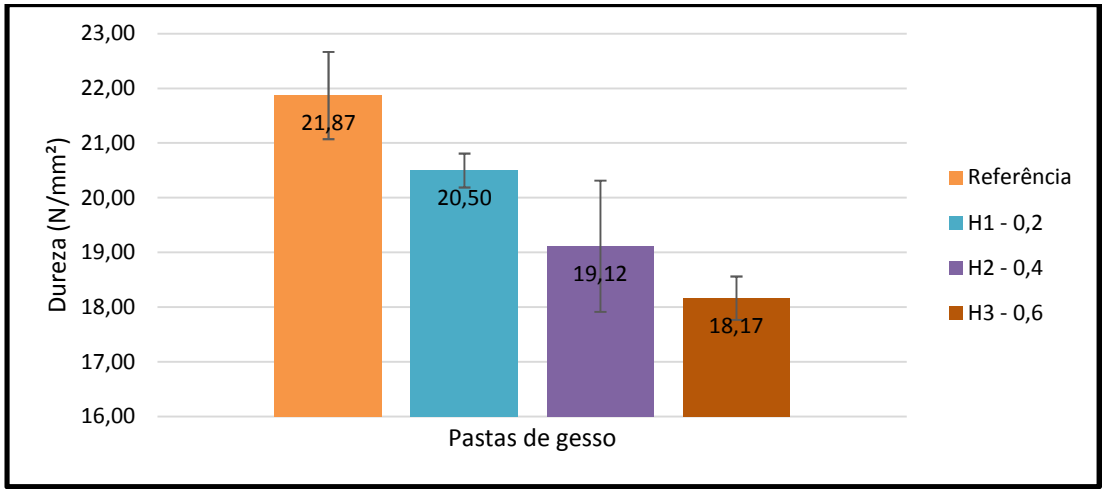
PASTA	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Referência	10,45	10,27	10,29	10,34	0,10
H1 - 0,2	6,99	8,28	7,95	7,74	0,67
H2 - 0,4	9,02	8,2	7,91	8,38	0,58
H3 - 0,6	7,68	7,40	-	7,54	0,20

Fonte: Os autores

A resistência à compressão das pastas de gesso com aditivo hidrofugante apresentou uma diminuição desta propriedade. A variação média foi de -23,02% (entre -18,96% e -27,07%), em relação à pasta de referência. Das pastas com o aditivo apenas a mistura com 0,4% aproximou-se dos limites normatizados (maior que 8,4 MPa).

O Gráfico 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de dureza para as amostras de gesso hemidrato.

Gráfico 3 – Dureza média das pastas de gesso



Fonte: Os autores (2016)

Tabela 4 – Dureza das pastas de gesso

PASTA	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Referência	21,92	21,05	22,64	21,87	0,80
H1 - 0,2	20,39	20,26	20,85	20,50	0,31
H2 - 0,4	20,49	18,58	18,28	19,12	1,20
H3 - 0,6	18,21	18,54	17,75	18,17	0,40

Fonte: Os autores

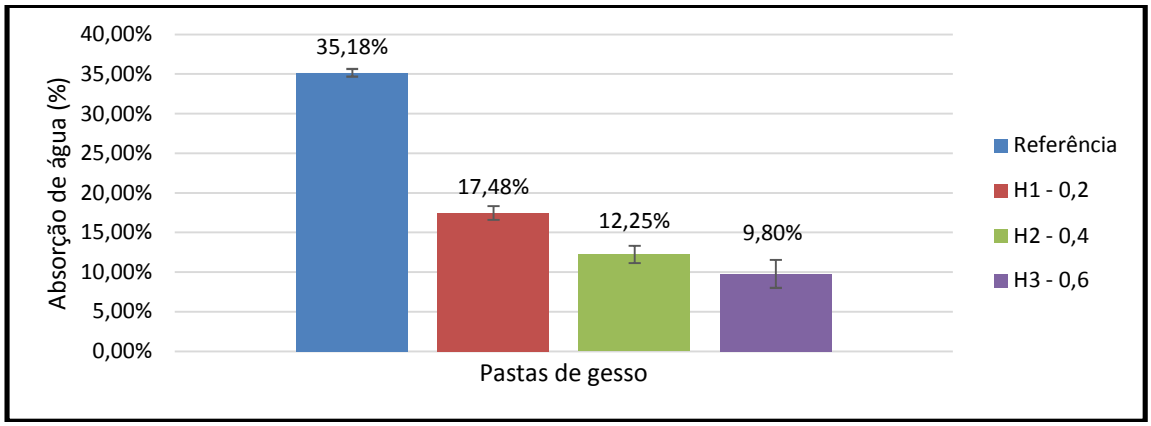
A análise da dureza superficial das pastas aditivadas com o hidrofugante apresentou uma diminuição desta propriedade, com variação média de -12,77% (entre -7,39% e -18,15%).

Singh e Middendorf (2007) observaram a mudança na morfologia dos cristais das pastas de gesso com o uso de aditivos retardadores de pega, que apresentaram, também, um reduzido grau de entrelaçamento dos cristais, resultando no decréscimo da resistência do material. MIKHAIL e MALEK notaram que a porosidade do gesso também influencia nas suas propriedades físicas e mecânicas.

Desta forma, ao passo que a utilização do aditivo hidrófugo como impermeabilizante aumenta o tempo de indução das pastas de gesso, atuando como retardador de pega, há uma alteração na microestrutura do hemidrato. Logo, em pastas de gesso aditivadas com hidrófugos há o aumento da porosidade e o decréscimo da resistência à compressão axial e da dureza superficial, conforme mostrado neste estudo.

O Gráfico 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão total para as amostras de gesso hemidrato.

Gráfico 4 – Absorção média de água por imersão total das pastas de gesso



Fonte: Os autores (2016)

Tabela 5 – Absorção de água por imersão total das pastas de gesso

PASTA	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Referência	34,75%	35,71%	35,09%	35,18%	0,49%
H1 - 0,2	17,08%	18,49%	16,88%	17,48%	0,88%
H2 - 0,4	13,32%	12,30%	11,13%	12,25%	1,09%

H3 - 0,6	10,29%	11,27%	7,84%	9,80%	1,77%

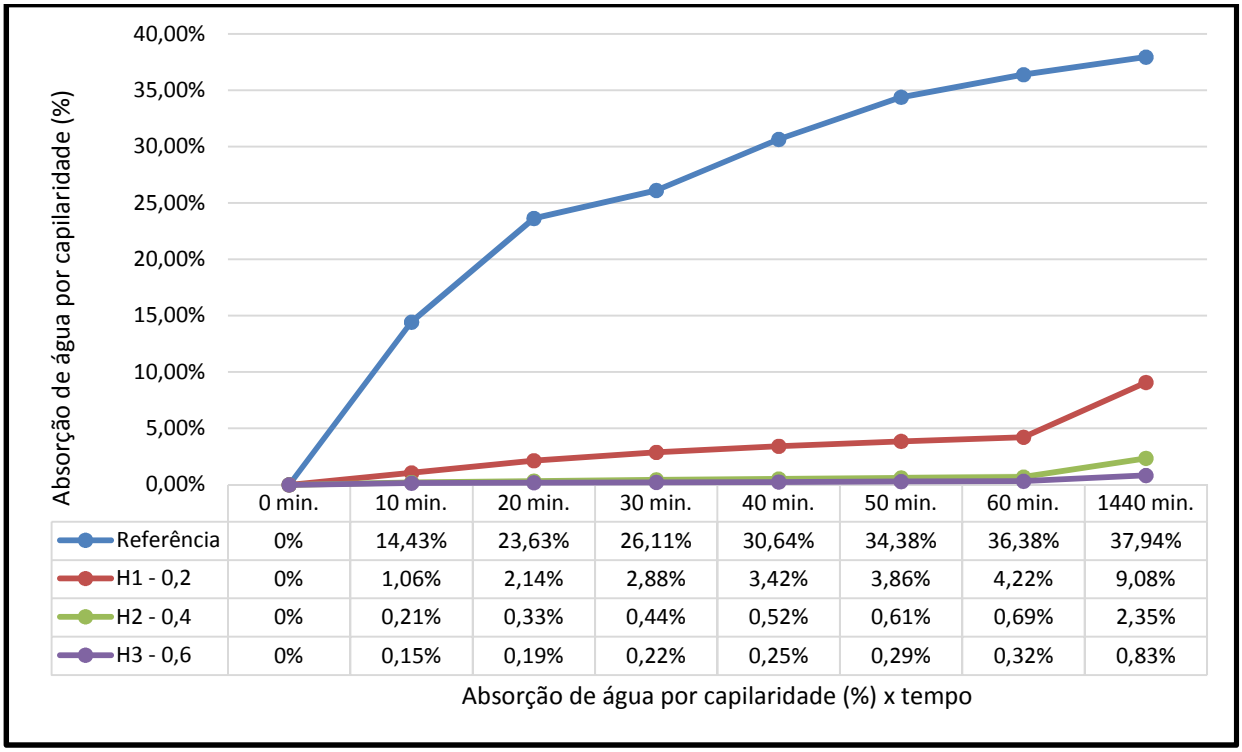
Fonte: Os autores

A análise da absorção de água por imersão total dos corpos de prova, aditivados com hidrofugante, indica uma redução desta propriedade em média de 61,23 % (entre 50,31% e 72,14%). Conforme o gráfico 4, a tendência de menor absorção de água, em relação à pasta de referência, ocorre nas pastas de gesso com as maiores proporções do aditivo hidrorrepelente. Em relação à proporção de aditivo indicada pelo fabricante, de 0,2%, há uma redução da absorção de água em 50,31%.

Isso se deve pois os hidrófugos são polímeros que apresentam tensão superficial inferior à da água e, por conseguinte, apresentam características hidrofóbicas. Atualmente, os hidrófugos mais utilizados na construção civil para a redução da penetração de água são à base de silicone, que possuem uma baixa tensão superficial e conseguem recobrir a superfície dos poros do substrato sem formar uma película. Como consequência, reduzem as forças capilares e a penetração de água (GONÇALVES, 2010).

O Gráfico 5 apresenta os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade das pastas de gesso.

Gráfico 5 – Absorção média de água por capilaridade das pastas de gesso



	0 min.	10 min.	20 min.	30 min.	40 min.	50 min.	60 min.	1440 min.
Referência	0%	14,43%	23,63%	26,11%	30,64%	34,38%	36,38%	37,94%
H1 - 0,2	0%	1,06%	2,14%	2,88%	3,42%	3,86%	4,22%	9,08%
H2 - 0,4	0%	0,21%	0,33%	0,44%	0,52%	0,61%	0,69%	2,35%
H3 - 0,6	0%	0,15%	0,19%	0,22%	0,25%	0,29%	0,32%	0,83%

Fonte: Os autores (2016)

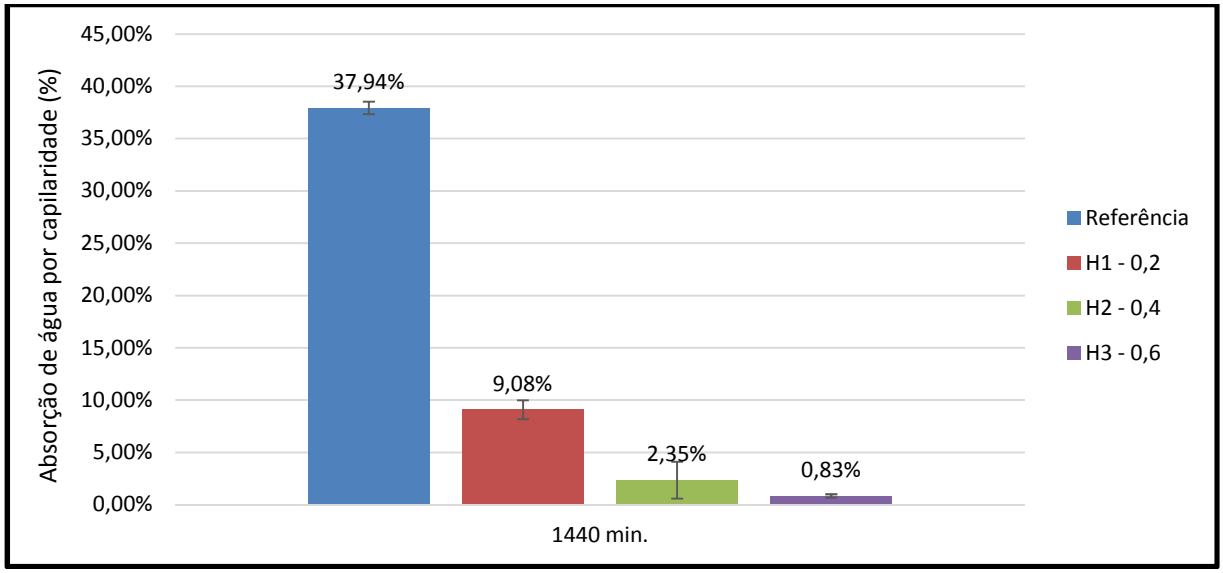
A análise do Gráfico 5 indica que a absorção capilar de água nas pastas aditivadas ocorreu de forma crescente, aproximando-se de uma curva linear. Já na pasta de gesso de referência (0% de aditivo hidrorrepelente), a

absorção capilar de água seguiu o comportamento de uma curva ascendente.

Observa-se que nos primeiros 10 minutos houve uma redução média da ascensão capilar de 95,81% (entre 92,65% e 98,96%), em relação à pasta de referência, ou seja, a pasta com 0,2% de aditivo diminuiu a absorção em 92,65% e a pasta com 0,6% em 98,96%. O Gráfico 5 ainda revela que o efeito do aditivo hidrófugo não é efetivo durante todo o período do ensaio, mostrando uma redução da barreira impermeabilizante e aumento da ascensão capilar. Isso é corroborado com uma redução média de 86,94% (entre 76,07% e 97,81%) da absorção capilar das pastas com 24 horas de exposição com a água em relação à pasta de referência.

O Gráfico 6 apresenta os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade após 24 h de exposição.

Gráfico 6 – Absorção média de água por capilaridade das pastas de gesso, após 24h de exposição



Fonte: Os autores (2016)

Tabela 6 – Absorção de água por capilaridade das pastas de gesso, após 24h de exposição

PASTA	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Referência	38,40%	38,15%	37,27%	37,94%	0,60%
H1 - 0,2	8,18%	9,98%	9,09%	9,08%	0,90%
H2 - 0,4	0,31%	3,30%	3,43%	2,35%	1,76%

H3 - 0,6	0,91%	0,65%	0,94%	0,83%	0,16%

Fonte: Os autores

A proporção de aditivo com maior eficácia na formação da barreira impermeabilizante foi a de 0,6%, com uma ascensão capilar de 0,83%. Já a pasta de gesso com 0,4% de aditivo obteve uma ascensão capilar de 2,35%. Por fim, a pasta com 0,2% de aditivo hidrorrepelente obteve uma absorção de 9,08%, demonstrando ser o menos eficaz, se comparado às demais pastas de gesso aditivado com hidrófugo deste estudo.

Neste estudo não foi avaliado o efeito do aditivo hidrofugante na degradação dos corpos de prova.

5 CONCLUSÕES

Através deste estudo verifica-se a influência do aditivo hidrofugante nas propriedades das pastas de gesso de fundição. Em comparação com a pasta de referência (0% de aditivo hidrofugante), cabe destacar:

- O aditivo hidrofugante utilizado nesta pesquisa retardou o tempo de pega das pastas de gesso. A maior influência ocorreu na pasta com 0,2% de adição. O aumento médio do início da pega foi de +54,79%. Já o aumento médio do fim de pega foi de +56,78%;
- Observa-se que a adição do hidrofugante ocasiona uma redução da resistência à compressão axial dos corpos de prova, em média, de 23,02%. Exceto para a pasta com 0,4% de adição, os valores de resistência à compressão axial não atenderam aos requisitos normatizados (resistência à compressão maior que 8,4 MPa);
- Observa-se que mesmo a pasta de referência não atendeu aos requisitos normatizados de dureza superficial. A utilização do aditivo hidrofugante ocasionou a redução desta propriedade, em média, de 12,77%. Nenhuma das pastas estudadas atenderam aos valores normatizados (dureza superficial maior que 30 N/mm²);
- Observa-se que quanto maior a proporção do aditivo hidrofugante menor foi a absorção de água. Na avaliação da absorção de água por imersão total houve uma redução, em média, de 61,23% (entre 50,31% e 72,14%);
- Verifica-se que a utilização do aditivo hidrofugante atuou de maneira satisfatória diminuindo a absorção capilar de água. A pasta de gesso com a maior proporção do aditivo apresentou 0,83% de absorção capilar, uma redução de 97,81% em relação à pasta de referência. A redução média desta propriedade foi de 86,94% (entre 76,07% e 97,81%);
- O estudo mostra que há uma diminuição da barreira impermeabilizante durante o período do ensaio de absorção capilar, indicando que o efeito hidrofugante do aditivo pode não ser duradouro;
- Constata-se que o gesso é um aglomerante que não deve ser aplicado em locais que poderão estar em presença de umidade. Embora a

utilização do aditivo estudado nesta pesquisa tenha melhorado a capacidade impermeabilizante das pastas, a diminuição das propriedades mecânicas torna-se um agravante.

Novos estudos, avaliando a durabilidade dessas pastas com hidrofugantes, devem ser realizados bem como estudos em blocos de gesso para alvenaria tentando identificar se os menores valores de resistência e dureza que foram obtidos, em corpos de prova, interferem no desempenho desses blocos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais de Construção e Técnicas Construtivas – LABMATEC, da Universidade Federal do Vale do São Francisco, pelo apoio técnico na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica: Rio de Janeiro, 2000;

_____. **NBR 11.172**: Aglomerantes de Origem Mineral: Rio de Janeiro, 1990;

_____. **NBR 12.127**: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó: Rio de Janeiro, 1991a;

_____. **NBR 12.128**: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta: Rio de Janeiro, 1991b;

_____. **NBR 12.129**: Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas: Rio de Janeiro, 1991c;

_____. **NBR 13.207**: Gesso para construção civil: Rio de Janeiro, 1994;

GONÇALVES, H. I. N. **Revestimento de parede como componente passivo para controlo interno de humidade ambiente.** Universidade de Aveiro. Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro. Portugal. Ano 2010.
MPEC. Bauru. 2006.

MIKHAIL, R.; MALEK, R. I. **Microstructure of hardened gypsum paste**. Journal of pplied Chemistry and Biotechnology, v. 21, p.277-282, 1971.

PERES, Luciano. **Gesso: produção e Utilização na Construção Civil**. Luciano Peres; Mohand Benachour; Valdemir A. dos Santos. Recife: Sebrae, 2008.

PERES, L., Benachour, M V. A. Santos. **O Gesso – Produção e Utilização da Construção Civil.** Pernambuco. 2001. Bagaço. P. 85-88

SINGH, N. B.; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. **Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials**, n. 53, p. 57 e 77, 2007.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

UMA NOVA FERRAMENTA PARA ENSAIOS DE ALVENARIA DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO [1]

SANCHES, Eduardo Ramos (1); SORIANI, Mateus de Oliveira (2); PARSEKIAN, Guilherme Aris(3)

(1) UFSCar, e-mail: dursanches@gmail.com; (2) Fameth, e-mail: mateusosmail@bol.com.br; (3) UFSCar, e-mail: parsekian.ufscar@gmail.com

RESUMO

O presente artigo descreve o processo de criação de um novo equipamento do tipo macaco plano para avaliação de paredes construídas em alvenaria estrutural executadas com blocos vazados de concreto. Ao longo do trabalho, descrevem-se os parâmetros definidos para o desenvolvimento do equipamento para avaliações não destrutivas, bem como todo processo de criação e fabricação. Além disso, descreve-se o procedimento adotado para verificação dos mesmos, através de ensaios de estanqueidade, resistência à compressão e, por fim, de deformabilidade em duas paredes reais. Os resultados práticos encontrados através do ensaio de duas paredes foram comparados a valores de referência definidos pelo ensaio de prismas e literatura. Através do programa experimental, conclui-se que o novo equipamento é capaz de suportar pressão externa de até 33 MPa e de encontrar resultados com boa precisão.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Avaliação não destrutiva. Técnica de macaco plano.

ABSTRACT

The present paper describes the development process of a new equipment for flatjack testing, used for the evaluation of masonry structures built with hollow concrete blocks. The text discuss the parameters defined throughout the experimental program, in order to create a new tool for nondestructive evaluation, as well as the developing and manufacturing process. Furthermore, it assess the procedure used to verify its applicability, such as tightness and compressive strength tests, as well as the deformability one. The results found through the experimental tests with two real walls were compared to referential values, defined by the literature or laboratory tests with masonry prisms. The developing program shows a new tool able to tolerate external pressures up to 33 MPa, as well as results with good precision.

***Keywords**: Masonry structures. Non-destructive evaluation. Flatjack technique.*

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil brasileira, a alvenaria estrutural é um sistema construtivo extensivamente aceito, em função de suas vantagens quando comparado com outros sistemas, como economia no uso de formas e armaduras e racionalização da obra. Nesse sentido, a utilização de blocos vazados de concreto, como unidades construtivas é também muito extensa, sendo

[1] SANCHES, Eduardo Ramos; SORIANI, Mateus de Oliveira; PARSEKIAN, Guilherme Aris. Uma nova ferramenta para ensaios de alvenaria de blocos vazados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

comum encontrar edifícios com mais de vinte pavimentos. Essa grande aceitação e o fato dos blocos e alvenarias demandarem resistência à compressão cada vez maiores, o que só é possível quando se tem uma ótima qualidade tanto na produção do bloco quanto da alvenaria, leva a eventuais dúvidas se a resistência do elemento efetivamente construído pode ser certificada através de ensaios. No controle de obras, essa certificação é realizada principalmente pelo ensaio de prisma oco. Entretanto, duas situações podem ocorrer, levando a necessidade de certificar a resistência do elemento efetivamente construído: ausência do ensaio de prisma, ou o ensaio pode relatar resistência inferior à especificada em projeto.

Nesse contexto, a técnica de macacos planos surge como um método amplamente estudado e utilizado nos Estados Unidos e em países da Europa como parte de avaliações não destrutivas de alvenarias antigas. Essa técnica é conhecida internacionalmente como *flatjack*, sendo considerada eficiente na obtenção de propriedades das estruturas, como Módulo de Elasticidade e resistência à compressão local, mencionadas por autores como Binda e Tiraboschi (2001) e Woodham e Schuller (2003).

A técnica tradicional foi adaptada para aplicação em estruturas de alvenaria na década de 1980, sendo os primeiros resultados apresentados por Rossi (1982), na Itália. Logo após as primeiras aplicações, a técnica passou a ser bastante utilizada, como mostrado por Maier, Rossi e Landriani (1983), Epperson e Abrams (1989) e Binda e Tiraboschi (2013). Um importante reconhecimento da técnica foi o surgimento das recomendações da RILEM LUM D.2 e D.3 em 1990 e das normas ASTM C 1196 e 1197 em 1991. As recomendações da RILEM foram atualizadas em 2004 pelas RILEM MDT.D. 4 e D.5 e as normas da ASTM em 2009.

Há dois testes normatizados que utilizam o equipamento: o de tensão e o deformabilidade. O primeiro é utilizado para estimativa da tensão de compressão local da estrutura. Já o segundo, para estimativa da resistência à compressão da parede e seu módulo de elasticidade.

Apesar de muito utilizada, a técnica atual pode apenas ser aplicada em alvenarias com unidades maciças, como tijolos e pedras. Isso ocorre pelas limitações geométricas do equipamento atual, além de sua baixa capacidade de aplicação de pressão (até 7,0 MPa), limitando sua aplicação. Assim, identificou-se a necessidade de se adaptar a técnica de macacos planos para avaliação não destrutiva a realidade nacional que usa blocos vazados de concreto, entre outros. Apresenta-se o processo de desenvolvimento de um novo equipamento para realização desses testes, e seus resultados, tendo-se como objetivo a solução das limitações previamente identificadas: formato e resistência à pressão.

2 DESENVOLVIMENTO DE NOVO MACACO PLANO PARA AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ALVENARIA COM BLOCOS VAZADOS

Comumente, para edifícios construídos em alvenaria estrutural, tem-se que as unidades de blocos vazados de concreto podem ter resistência à compressão de 8 MPa até 40 MPa, quando considerada a resistência na área líquida. Dessa forma, pode-se dizer que são esperadas resistências de prismas na área líquida e em valores característicos de até 20 MPa em edifícios brasileiros. Nesse sentido, um novo macaco plano deveria ser capaz de aplicar uma pressão externa de até 25 MPa na parede ensaiada. Considerando que a rigidez do macaco leva a redução da pressão interna para externo, resulta em uma pressão interna ainda maior. Assim, identificou-se como primeiro parâmetro a necessidade de se tolerar pressões internas de cerca de 40 MPa.

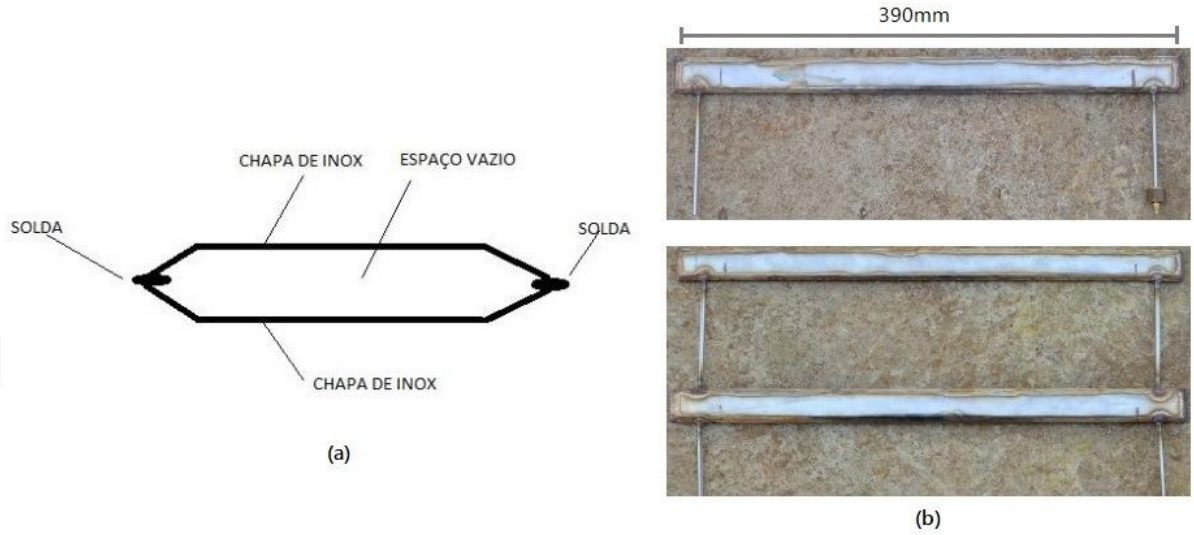
Além disso, tem-se como diferença primordial entre o macaco plano tradicional e um novo modelo, a geometria das unidades de alvenaria ensaiadas (vazadas ou maciças). Atualmente, o mesmo pode ser utilizado em alvenarias com unidades maciças, ou seja, rocha ou tijolo. O macaco hoje existente tem a largura da unidade maciça e não permite aplicação em geometrias vazadas, sendo seu uso inviável em unidades vazadas, pois a área central do macaco não teria contato com o bloco, e consequentemente área de reação, o que implicaria em uma deformação livre nas áreas dos sem contato, descaracterizando o ensaio. Dessa forma, levou-se também em consideração a necessidade de se criar uma ferramenta capaz de ensaias apenas as paredes externas do bloco, de modo que o envelope metálico reaja apenas nas áreas das faces dos blocos, desconsiderando o interior oco do bloco. Assim, definiu-se como segundo parâmetro a necessidade de se desenvolve ruma ferramenta que reaja apenas à parede do bloco, ou seja, que possua largura aproximada de 2,5 cm. Dessa forma, baseando-se nos dois parâmetros apresentados, deu-se início ao processo de criação de modelos, como apresentado a seguir.

2.1 Protótipo 1

O primeiro protótipo proposto foi fabricado utilizando-se exatamente o mesmo material do modelo tradicional, chapas de aço inoxidável S304 com espessura 0,6 mm. Além disso, optou-se por construí-lo de maneira muito similar ao já existente. Assim, foram criados modelos com dimensões 25 x 390 x 3 mm, para largura x comprimento x espessura, sobrepondo-se chapas metálicas de 27 x 390 mm e realizando sua ligação por meio de solda TIG. Também foram utilizados tubos com 3 mm de diâmetro externo para conexões equipamento-bomba e entre os envelopes metálicos para o tipo duplo. Como forma de se facilitar a ligação das chapas metálicas por solda TIG, dobrou-se as extremidades das mesmas em 45°. Nesta primeira proposta, foram fabricados dois diferentes modelos: um simples, apenas com um envelope metálico, e um duplo, conectando-se dois simples. Abaixo, a

Figura 1 apresenta a seção transversal deste primeiro modelo, bem como imagens dos mesmos.

Figura 1 – Seção transversal (a) e imagem do protótipo 1 (b)



A fim de se verificar a eficácia do modelo, realizou-se dois diferentes testes: um primeiro, de estanqueidade, onde fechou-se uma das conexões de entrada do envelope e inseriu-se óleo na outra, afim de identificar algum vazamento; em seguida, após verificado o primeiro teste, colocou-se o macaco em uma prensa hidráulica, onde pode-se verificar a pressão máxima suportada pelo equipamento. Para os primeiros protótipos, apenas um simples não foi verificado como estanque, todos os outros puderam ser submetidos ao ensaio na prensa hidráulica. Porém, os resultados não foram satisfatórios, sendo que nenhum equipamento suportou pressão maior que 2 MPa, o que está aquém do esperado.

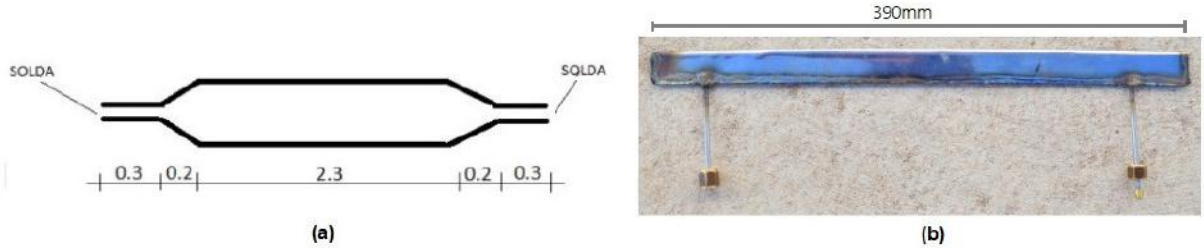
Por meio dos resultados encontrados verificando-se os primeiros modelos produzidos, concluiu-se que o problema estava na solda realizada, pois a ruptura ocorreu ao longo da ligação entre as duas chapas metálicas. Levando-se em consideração este novo fator, um segundo modelo de protótipo foi proposto, e o mesmo será apresentado na seção subsequente.

2.2 Protótipo 2

Considerando-se os problemas identificados nos testes do primeiro protótipo, um novo equipamento foi proposto. Neste caso, o mesmo material foi utilizado: chapas metálicas de aço inoxidável S304 com espessura 0,6 mm e tubos de diâmetro 3 mm para conexões. Porém, projetou-se uma maior área de contato entre as chapas de aço, de modo que se aumentasse a região soldada e, consequentemente, a resistência da ligação. Tal diferença foi criada realizando-se uma dobra de 90° nas extremidades das chapas e, em seguida, outra de 45°. Dessa forma, o novo modelo possuía uma área de contato entre as duas camadas de aproximadamente 3 mm. Dado novo

formato, a espessura do modelo também aumentou para 4 mm. A seguir, a Figura 2 apresenta a seção transversal do segundo modelo, bem como imagens do mesmo.

Figura 2 – Seção transversal em cm (a) e imagem do protótipo 2 (b)



Assim como realizado anteriormente, submeteu-se os novos protótipos a dois ensaios de verificação. Tem-se que nenhum dos novos modelos apresentou vazamentos no primeiro teste, sendo todos considerados estanques. Já para a verificação na prensa hidráulica, apresentaram resultados melhores que os anteriores, porém ainda aquém do desejado. Os modelos do protótipo dois não resistiram a pressões superiores a 4 MPa.

Identificou-se que, mesmo aumentando a área de contato entre as chapas, o padrão de ruptura continuava o mesmo, ao longo do comprimento, pela solda TIG realizada. Com esses resultados, concluiu-se que essa prematura ruptura era causada pela pequena largura do modelo. Dessa forma, tornou-se necessário aumentar a rigidez e espessura do modelo, de modo que se tolerasse maiores pressões, mantendo-se a largura proposta até o momento. A seção seguinte apresenta a continuação do processo de criação.

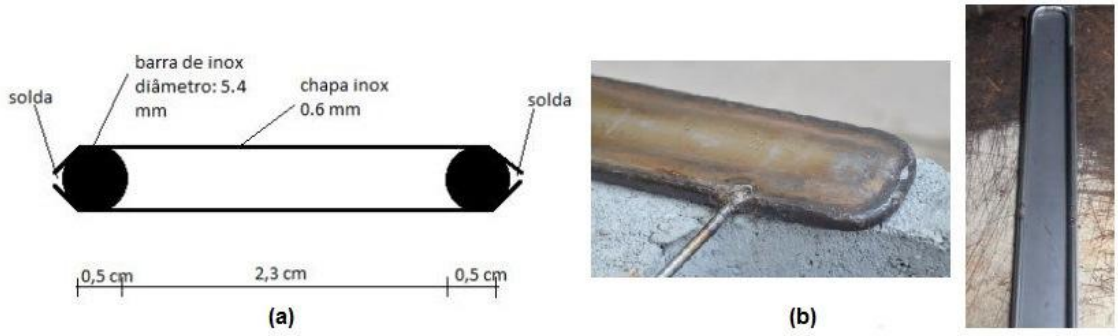
2.3 Protótipo 3

Levando-se em consideração a necessidade de aumentar a rigidez da ligação entre as chapas, bem como a espessura do modelo, criou-se um protótipo diferente dos anteriores. Para tal, também se utilizou chapas de aço inoxidável S304 com espessura 0,6 mm, além de tubos de 3 mm para conexões. Além destes materiais, adotou-se barras metálicas com 5,4 mm de diâmetro para enrijecimento da ligação entre as chapas de aço inox.

Diferentemente do que estava sendo executado anteriormente, ligando-se as chapas diretamente por meio de solda, neste protótipo optou-se por fazer esta ligação por meio de uma barra metálica circundando o equipamento. Dessa forma, ligou-se as duas chapas à barra, com solda ponto, sendo que após essa junção, realizou-se solda TIG normalmente, finalizando o processo. Além disso, decidiu-se fazer um raio em todas as pontas das chapas, de modo que se evitasse acúmulo de tensões, objetivo a ser alcançado nesta etapa. Abaixo, as

Figura 3a e 3b ilustram o processo de fabricação, bem como o modelo finalizado e sua seção transversal.

Figura 3 – Protótipo 3 (mm)



O resultado final do processo de fabricação gerou um modelo com medidas 28 x 390 x 6 mm (largura x comprimento x espessura). Tem-se que as juntas em uma parede de alvenaria estrutural devem possuir dimensão de 10 mm, com tolerância de 3 mm para mais ou menos, sendo assim, o aumento da espessura do modelo para 6 mm não representa problema.

Como realizado com os outros protótipos, submeteu-se o de número três as verificações. Os resultados se mostraram satisfatórios, pois as ferramentas se mostraram estanques ao primeiro teste e, em seguida, resistiram à pressão requerida. Os testes de resistência à compressão foram interrompidos em 6 MPa, sendo essa pressão suficiente para os ensaios em paredes. Porém, um dos protótipos foi testado até ruptura, sendo que ela ocorreu com uma pressão externa igual a 33 MPa, sendo esse valor suficiente e além do esperado para os fins propostos. Dessa forma, definiu-se o protótipo três como o modelo adequado para prosseguimento do desenvolvimento. Abaixo, a Figura 4 ilustra o modelo final de macaco plano para ensaios de estruturas com blocos vazados de concreto.

Figura 4 – Protótipo 3 finalizado



3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com a definição do protótipo 3 como adequado para os objetivos propostos, deu-se prosseguimento ao programa experimental para verificação do mesmo. Assim, realizou-se ensaio de calibração, como previsto na norma americana ASTM C1197:09, sendo que se deu continuidade a este ensaio até ruptura do modelo. Na sequência, realizou-se

ensaio de prismas, para obtenção de valores referência, bem como de paredes-protótipo, com o objetivo de se avaliar a correta aplicabilidade da nova ferramenta em um ensaio com macacos planos. Os procedimentos são descritos nas subseções seguintes.

3.1 Ensaio de calibração

A calibração da ferramenta consiste em encontrar um fator que correlacione a pressão interna aplicada pela bomba hidráulica com a externa, aplicada pelo macaco plano, além de relação entre as áreas da ferramenta e do rasgo na alvenaria. O procedimento utilizado para calibração foi o mesmo proposto pela norma americana ASTM C1197:09. Esse fator é necessário dada rigidez interna da ferramenta, que acarreta na perda da energia aplicada pela bomba hidráulica.

Assim, o ensaio de calibração fornece duas relações diferentes: primeiramente, pressão interna Vs. força aplicada à prensa, o primeiro valor é medido pelo manômetro acoplado a bomba hidráulica e o segundo, pelo sistema de leitura da prensa; a segunda relação é a de pressão interna Vs. pressão externa, que deverá ser encontrada com a utilização das relações entre força aplicada e a área de reação do macaco plano. Com esse segundo grupo de valores, encontra-se o fator de correlação entre as pressões interna e externa. Já com a área da ferramenta e a do rasgo na alvenaria, encontra-se a segunda relação requerida. Por fim, a multiplicação de ambos valores fornece o fator final de calibração da ferramenta.

3.2 Ensaio dos prismas

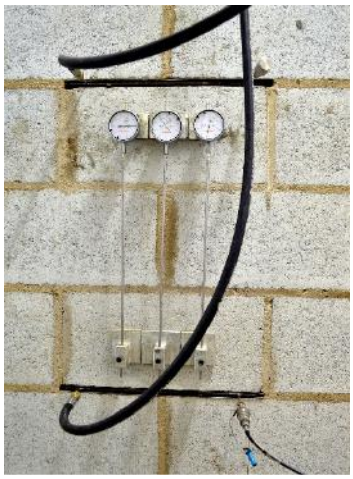
Com o objetivo de se obter valores de referência, para posterior comparação com os resultados dos ensaios em paredes reais, foram realizados testes de resistência à compressão em prismas de alvenaria, construídos juntamente das paredes que seriam testadas com a técnica apresentada. Com a resistência à compressão do prisma, pode-se estipular a resistência da parede, bem como seu módulo de elasticidade, pelas equações apresentadas na norma brasileira ABNT NBR 15961:2011. Na sequência, tais valores referência foram comparados com os obtidos por meio da técnica de macacos planos, verificando sua precisão.

3.3 Ensaio das paredes

Parte final do programa experimental de criação do novo equipamento para ensaio de paredes de alvenaria com blocos vazados de concreto foi a de utilizar o modelo criado, testado e calibrado em estruturas reais dentro do laboratório. Dessa forma, construiu-se duas paredes com dimensões 180 cm por 160 cm, com blocos vazados de espessura 14cm, de modo que se utilizasse o modelo criado. Os ensaios foram realizados ao redor do prisma central da alvenaria, como mostrado na Figura 5, cortando-se as juntas superior e inferior com a utilização de uma furadeira, de modo que não se causasse maiores danos à estrutura das paredes. Além disso, fez-se uso de

uma bomba hidráulica manual para aplicação de pressão interna nos macacos, além de relógios para medição da deformação das paredes.

Figura 5 – Layout do ensaio realizado em paredes

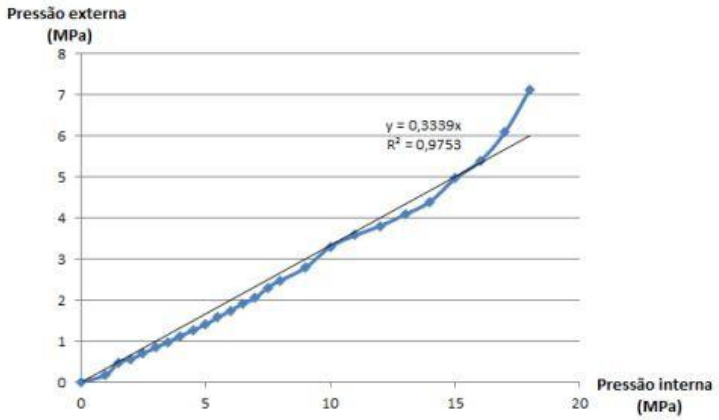


O objetivo dos testes em questão foi o de verificar a eficácia da nova ferramenta na obtenção da deformabilidade das paredes de modo que se encontrasse o módulo de elasticidade das mesmas, bem como a resistência à compressão. Tais resultados foram encontrados por meio do estudo do comportamento tensão Vs. deformação da alvenaria. A análise completa do programa experimental e de seus resultados encontrasse na seção '4 Resultados' deste artigo.

4 RESULTADOS

O primeiro resultado encontrado foi o da calibração da ferramenta. A priori, encontrou-se a relação entre pressão interna e força externa aplicada pelo macaco, medidas pelo manômetro da bomba e sistema de leitura da prensa. Na sequência, através da área de reação do envelope metálico, igual a 0,0129 m², sendo a região útil igual a 0,0085 m², dadas restrições da solda ao redor do envelope, chegou-se a relação de pressões externa e interna. Assim, o gráfico da Figura 6 apresenta esta relação.

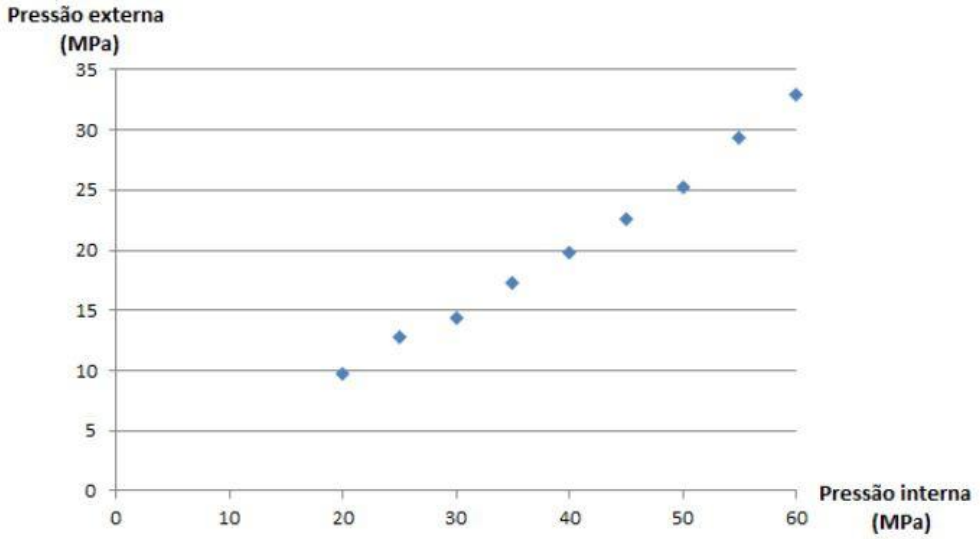
Figura 6 – gráfico pressão interna por pressão externa (em MPa)



Como mostrado, os pontos marcados no gráfico têm comportamento linear, de modo que se pode aproximá-los por meio de uma linha de tendência. Com essa equação, tem-se que o fator de correlação entre a pressão interna e a externa é o coeficiente angular da mesma. O valor tido como R^2 é muito próximo de 1, atestando sua linearidade e precisão do coeficiente. Portanto, o fator almejado é igual a 0,33, ou seja, 33% da pressão aplicada pela bomba é transmitida a estrutura pelo macaco. Além disso, por meio da relação entre a área ativa da ferramenta (0,0085 m²) e a área do rasgo (40cm x 2,7cm = 0,01107 m²), chegou-se a uma correlação entre as áreas de 0,77. Por fim, o fator de calibração encontrado foi igual a 0,255, ou seja, 25,5% da pressão aplicada é transmitida à estrutura.

Após a calibração do equipamento, deu-se continuidade ao ensaio na prensa até que ocorresse a ruptura do modelo, verificando assim a pressão máxima suportada. Como ilustrado pelo gráfico Figura 7, o equipamento suportou pressão interna de 60MPa, a qual resultou em uma externa de 33 MPa (o fator de calibração não é válido para esse trecho de pressão).

Figura 7 – Gráfico pressão externa por pressão interna (MPa)



Através dos ensaios de prismas, encontrou-se os valores de referência para comparação com os testes práticos em paredes de alvenaria com os novos modelos. Com esse ensaio, encontrou-se a resistência de prisma a compressão, a qual, segundo a norma ABNT NBR 15961:2011, pode ser utilizada para encontrar o módulo de elasticidade e resistência à compressão da parede através das equações:

$E = 800 \times fp$

$fm = 0{,}7 \times fp$

Sendo E = módulo de elasticidade; fp = resistência do prisma à compressão; fm = resistência da parede à compressão.

Dessa forma, dois prismas de alvenaria foram ensaiados até a ruptura, após

16 dias de sua construção (período de tempo igual ao utilizado pelas paredes do ensaio). Abaixo, a

Quadro 1 apresenta os resultados de referência encontrados por meio dos testes descritos:

Quadro 1 – Valores de referência

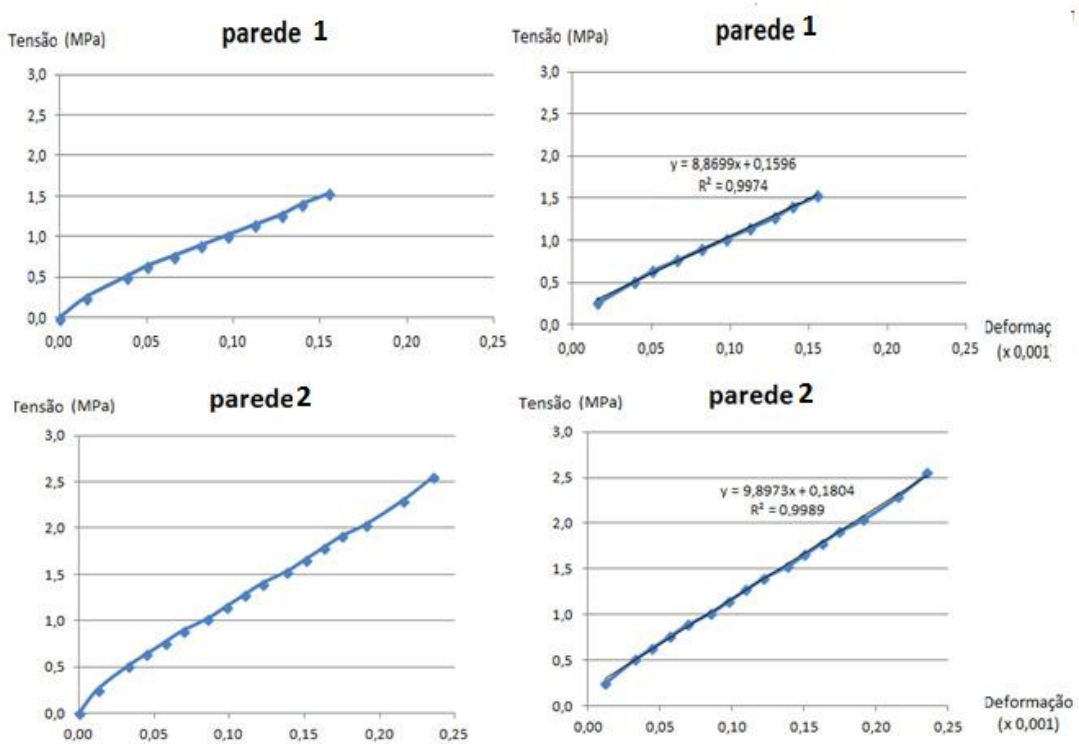
	Resistência de prisma (fp) (MPa)			Módulo de elasticidade E (MPa)	Resistência da parede fm (MPa)
	Área bruta	Área líquida	Valor considerado		
Prisma 1	5,5	11,0	11,0	8800	7,70
Prisma 2	5,7	11,4	11,4	9120	7,98
Média prismas	5,6	11,2	11,2	8960	7,84
Média paredes	-	-	-	9558	8,45

Com o fator obtido pela calibração do equipamento e os valores de referência encontrados pelos ensaios de prismas, pode-se prosseguir para a real utilização do modelo desenvolvido em uma estrutura real de alvenaria estrutural, construída em laboratório. O ensaio se deu em duas paredes com blocos vazados de concreto, sendo que foram necessários quatro equipamentos, um em cada face dos dois blocos que delimitaram o prisma estudado, a Figura 5 mostra uma face de uma das paredes testadas. Tais macacos foram interligados por meio de mangueiras para alta pressão. Os testes foram desenvolvidos até 6,0 MPa para a parede 1 e 10,0 MPa para a parede 2.

A seguir, a

Figura 8 apresenta os gráficos tensão Vs. deformação obtidos por meio dos ensaios. Tem-se que a deformação considerada foi igual a média das leituras obtidas com os três relógios extensores utilizados em uma das faces da parede. Como ambas faces foram igualmente solicitadas, considerou-se suas deformações também iguais. Já as tensões foram obtidas por meio do fator de correlação 0,33 encontrado pela calibração, em conjunto com a pressão interna medida pelo manômetro da bomba hidráulica utilizada.

Figura 8 – Gráficos tensão (MPa) por deformação (m) nas paredes 1 e 2 ensaiadas



Observa-se que o comportamento da curva dos gráficos durante o primeiro incremento de pressão não é similar ao restante da mesma, que se mostra linear. Isso se dá pela acomodação tanto do equipamento, quanto da alvenaria, dentro do pórtico metálico utilizado para confinamento da estrutura. Dessa forma, desconsiderou-se esse primeiro intervalo na análise dos resultados. Como mostrado, os pontos aferidos durante o ensaio tiveram um comportamento muito linear, o que pode ser observado pelo valor de R^2, próximo de 1. Assim, torna-se viável considerar o coeficiente angular igual ao módulo de elasticidade da estrutura estudada. Como já apresentado, tem que que o módulo é igual a 800 vezes o valor da resistência do prisma da estrutura, por sua vez, a resistência à compressão da parede é igual a 70% da registrada para o prisma. Assim, considerando-se as relações apresentadas, chegou-se aos seguintes resultados, apresentados pela Quadro 2.

Quadro 2: resumo dos resultados experimentais obtidos com os ensaios das paredes 1 e

	Módulo de elasticidade E (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
Parede 1	8870	7,76
Parede 2	9897	8,66
Média	9384	8,21

Comparando-se os resultados encontrados para as paredes 1 e 2, tem-se que a variação dos valores de módulo de elasticidade e resistência à compressão foi igual a 11,6%. Tal valor está dentro do esperando, tendo em

vista que a utilização da técnica tradicional apresenta variação de até 20% em seus resultados, segundo a norma americana ASTM C1197-09. Além disso, comparando-se os valores encontrados para a parede 1 com os de referência, tem-se que a maior disparidade foi de 7,2% para o módulo de elasticidade e 8,2% para resistência à compressão. Já para a parede 2, as maiores variações foram de 9,5% para módulo e resistência, respectivamente. Como ambas paredes foram construídas e ensaiadas nos mesmos dias, com mesmos materiais, métodos e mão-de-obra, também pode-se considerar a média dos valores encontrados para análise. Dessa forma, a variação se torna ainda menor, sendo igual a 4,7% para módulo e resistência.

5 CONCLUSÕES

O presente artigo detalhou o processo de desenvolvimento de um novo equipamento para avaliações não destrutivas em paredes de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto. Buscou-se criar um macaco plano que se adaptasse a unidades vazadas, possuindo resistência à pressão interna e formato adequados ao tipo de estrutura. Dessa forma, chegou-se a um modelo capaz de transmitir pressões externas de até 33 MPa, mostrando sua capacidade para ser utilizado em estruturas construídas com blocos de elevada resistência.

Com os resultados obtidos em laboratório, atestou-se a eficácia do novo modelo, apresentando-se resultados com variabilidade abaixo da prevista pela norma americana que define os procedimentos do ensaio tradicional. Nesse sentido, a máxima disparidade de resultados entre o ensaio prático e os valores de referência foi de 9,5%, enquanto que a norma americana ASTM C1197-09 prevê variações de até 20%.

Dessa forma, foi estabelecido um novo horizonte para o campo de estudo de alvenaria estrutural no que tange ensaios não destrutivos, atestando-se a eficácia de um novo equipamento. Entretanto, ainda se faz necessário um maior estudo do comportamento da ferramenta, de modo que se tenha um universo estatístico maior do que o atual, validando assim a criação da mesma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio nos projetos 2014/20467-3 e 2013/23744-5. Também agradecem o apoio da Escola Senai Antônio Adolpho, das empresas "Glasser, soluções em alvenaria e pavimentação", "Fameth, sistemas metálicos e plásticos para concreto" e "Atkinson-Noland & Associates" por todo apoio na produção e concepção dos protótipos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "In-situ measurement of masonry deformability properties using flat-jack method", ASTM Standard **C 1197-09**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, "Alvenaria estrutural - blocos de concreto. Parte 2: execução e controle de obra. **NBR 15961-2:11**, 14 p. 2011.

BINDA, L.; TIRABOSCHI, C. **Flat-jack methods applied to historic masonry**. RILEM TC 177- MDT International Workshop On-site control and non destructive evaluation of masonry structures. 2001.

BINDA, L.; TIRABOSCHI, C. **Flat-jack test: a slightly destructive technique for diagnosis of brick and stone masonry**. 14 p. 2013.

EPPERSON, G.S.; ABRAMS, D.P. Nondestructive evaluation of masonry buildings. **Advanced Construction Technology Center**, Document n. 89. 208 p. 1989.

MAIER, L.B.; ROSSI, P.P.; LANDRIANI, G.S. **Diagnostic analysis of masonry buildings.** 1th ASBE Symposium. 8 p. 1983.

WOODHAM, D.B.; SCHULLER, M.P. **Development of a flexible flat-jack for quantitative evaluation of masonry**. 9th North American Conference. 8 p. 2003.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DE FÍLER CALCÁRIO POR ROCHA FOSFÁTICA NA OBTENÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL[1]

RESENDE, Diego Rodrigues de(1); VIEIRA, Sheilla Pereira (2)

(1) UNIPAM, e-mail: diegorcivil@gmail.com; (2) UNIPAM, e-mail: sheilapv@unipam.edu.br

RESUMO

A utilização do concreto autoadensável (CAA) vem aumentando no Brasil e no mundo, sendo assim, mais estudos são necessários para se obter melhorias em suas propriedades. No CAA a presença de finos é um fator importante para uma boa fluidez e coesão. Neste estudo foram utilizados fílers de rocha calcária e rocha fosfática, como finos. O método de dosagem utilizado na pesquisa foi o de Nan Su. et al (2001) e para avaliação do CAA no estado fresco foram utilizados os métodos de espalhamento, caixa-L e funil-V. Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral. No CAA com substituição do fíler calcário por rocha fosfática nos teores de 25% e 50%, os resultados no estado fresco não atingiram os requisitos exigidos pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010). Por outro lado, no estado endurecido a presença da rocha fosfática aumentou consideravelmente a resistência do concreto à compressão, o módulo de elasticidade e a resistência à tração, comparado ao concreto com fíler calcário.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Rocha fosfática. Estado fresco e endurecido.

ABSTRACT

The use of self compacting concrete (SCC) is increasing in Brazil and in the world, thus, further studies are required to achieve improvements in their properties. For the SCC the presence of fine powders is an important factor for a good fluidity and cohesion. In this study were used fílers of limestone rock and phosphate rock, as fine powders. The proportioning method adopted in this research was described in Nan Su. et al (2001) and for evaluating the SCC in the fresh state were used slump flow, L-box and V-funnel methods. Were made concrete cylinders with 10 centimeters diameter, and 20 centimeters high for compressive strength tests, static elastic modulus and indirect stress tensile in diametral compression. In the SCC with replacement of limestone filler for phosphate rock at 25% and 50% content, the results in the fresh state did not reached the requirements of the ABNT NBR 15823-1 (ABNT, 2010). However in the hardened state, the presence of phosphate rock has significantly increased the compressive strength, the elastic modulus and tensile strength of concrete comparatively to SCC with limestone filler.

Keywords: *Self-compacting concrete. Phosphate rock. Fresh and hardened states.*

[1]RESENDE, Diego Rodrigues de; VIEIRA, Sheilla Pereira. Efeitos da substituição de fíler calcário por rocha fosfática na obtenção de concreto autoadensável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Com origem no Japão, por volta de 1980, o concreto autoadensável (CAA), foi desenvolvido, segundo Isaia (2011), para suprir a deficiência de mão-de-obra qualificada na operação de concretagem e diminuir os problemas identificados na fase de adensamento, que comprometiam a durabilidade das estruturas. Buscando assim, a produção de um concreto com a capacidade de espalhar, quando lançado nos mais diversos modelos de fôrmas e em altas taxas de armação, sem a utilização de vibradores e sem que ocorresse segregação, exsudação e falhas de concretagem.

1.1 Definição

O CAA é definido pela a NBR 15823-1 (ABNT, 2010) como o concreto capaz de fluir e autoadensar através de seu peso próprio, preenchendo fôrmas e passando por embutidos (armaduras, dutos e insertos), mantendo sua homogeneidade nas etapas de mistura, lançamento e acabamento.

Durante o lançamento do CAA é possível a suspensão total do uso de vibradores nas obras, gerando menos ruídos, aos funcionários e as edificações vizinhas, diminuindo a mão de obra e seus custos na aplicação. Outra qualidade está na sua produção, o CAA pode ser obtido nas mesmas centrais de concreto convencional, pois utiliza os mesmos materiais: brita, areia, cimento, adições e aditivos.

A produção do concreto autoadensável só foi possível a partir do desenvolvimento de aditivos superplastificantes, os quais possuem como principal característica a garantia de fluidez dos materiais constituintes. Outro ponto relevante é a necessidade das adições minerais, também chamados finos, os quais possuem funções diversas desde a substituição de parte do cimento ou apenas o efeito de fíler. Seu uso proporciona o aumento da viscosidade, preenchimento dos vazios entre os agregados e maior estabilidade na mistura. Dentre as adições mais utilizadas na produção do CAA estão a cinza volante, a pozolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz, o metacaulim, a escória de alto forno e o fíler calcário.

Em alguns casos é necessário o uso de aditivos modificadores de viscosidade na dosagem do CAA. Segundo Tutikian e Dal Molin (2015) este aditivo substitui componentes finos no concreto, diminuindo a área superficial e o consumo de água, dentre suas funções está a melhora da coesão dos materiais, impedindo a segregação e exsudação da mistura. Seu uso é indicado quando há a indisponibilidade de adições minerais no local de produção de CAA.

> Os métodos de dosagem do CAA diferem dos utilizados para os concretos convencionais, porém, no geral, também são empíricos. São fundamentados em princípios não comuns que têm como meta o atendimento a propriedades que estabelecem uma relação entre a habilidade das misturas de fluir com facilidade nas fôrmas, independentemente de sua complexidade e dificuldade, e a estabilidade das misturas, que garante a ausência de segregação. (GOMES; BARROS, 2009, p. 67)

1.2 Justificativa

O CAA mesmo com todas as qualidades apresentadas ainda é pouco utilizado nas obras convencionais, devido principalmente, a dificuldade no controle tecnológico exigido desde a escolha e aquisição de materiais, dosagem e lançamento. Assim, o uso se difundiu em grandes obras e nas indústrias de pré-moldados, onde investimentos em controle tecnológico apresentam retorno, tanto técnico quanto financeiro, rapidamente.

Sendo assim é necessário o desenvolvimento de estudos que possam facilitar os critérios de produção, controle e aceitação, como também o uso de diferentes tipos de materiais, principalmente os finos utilizados como adição, de modo a tornar sua dosagem possível de acordo com a disponibilidade de materiais de cada região.

No Brasil com a abundância de minérios disponíveis em todas as regiões, devem ser realizados estudos sobre o potencial de aplicação destes no CAA como adições minerais. Dentre os minérios disponíveis está a rocha fosfática de origem ígnea, com presença de rocha carbonatíca e minerais micáceos.

Conforme o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM (2014) o estado de Minas Gerais foi responsável, em 2013, por produzir 49% do fosfato nacional, seguido de Goiás, com 36%, São Paulo, com 10%, Bahia e Tocantins com o restante. Em Minas Gerais, as operações estão localizadas nos municípios de Tapira, Araxá, Patos de Minas e Lagamar, e os municípios mineiros de Patrocínio e Serra do Salitre, apesar das extensas reservas, ainda não iniciaram a produção.

Segundo J.Mendo (2009) o fosfato natural ou rocha fosfática é comercialmente expresso sob a forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5). É estimado que aproximadamente 90% da rocha fosfática, sejam consumidos na indústria de fertilizantes, sendo 65% destinado à produção de ácido fosfórico, 35% são consumidos na produção de fertilizantes simples fosfatados. Os outros 10% são utilizados na fabricação de suplementos para ração animal, aditivos para sabões e detergentes, os fósforos, os retardantes de fogo, os inseticidas, produtos das indústrias alimentícias e de higiene pessoal e na indústria metalúrgica na laminação e polimento de metais.

Seu uso na construção civil é pouco difundido, por isso é de fundamental importância a realização de pesquisas, que verifique a viabilidade do uso da rocha fosfática aplicada no CAA, para uso nestas regiões onde há grande disponibilidade.

1.3 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é analisar a viabilidade técnica da utilização da rocha fosfática em substituição à parte do fíler calcário na elaboração do CAA, definindo o teor ideal para utilização, de acordo com os resultados das resistências à compressão, à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, bem como seu comportamento no estado fresco em atendimento a NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresenta-se a caracterização de todos os materiais que foram utilizados na pesquisa, avaliando suas propriedades para utilização no CAA cujos procedimentos para dosagem e produção foram baseados no método de Nan Su et al. (2001).

2.1 Cimento

Para produção do CAA utiliza-se o cimento Portland CP III 40 RS que contém adição de escória no teor de 35% a 70% em massa, conferindo-lhe propriedades como; baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, além de oferecer resistência aos meios agressivos sulfatados. Suas características podem ser verificadas na Tabela 1

Tabela 1 – Caracterização do cimento CP III 40 RS

Item de controle	Unidade	Média
Resistência a 1 dia	MPa	10,5
Resistência aos 3 dias	MPa	21,4
Resistência aos 7 dias	MPa	33,4
Resistência aos 28 dias	MPa	48,2
Resistência aos 63 dias	MPa	51,3
Resistência aos 91 dias	MPa	56,0

Fonte: Adaptado de ABCP (2012, p.17)

2.2 Agregado graúdo

Foi utilizado no experimento, agregado graúdo de origem calcária, encontrada na região do estudo, comercialmente vendida como brita 1. O uso da brita 1 foi atendendo as referências ao uso de agregados de diâmetros menores em CAA. As propriedades analisadas foram absorção e massa específica, massa unitária em estado solto, massa unitária em estado compactado e composição granulométrica. As características dos agregados graúdos estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do agregado graúdo

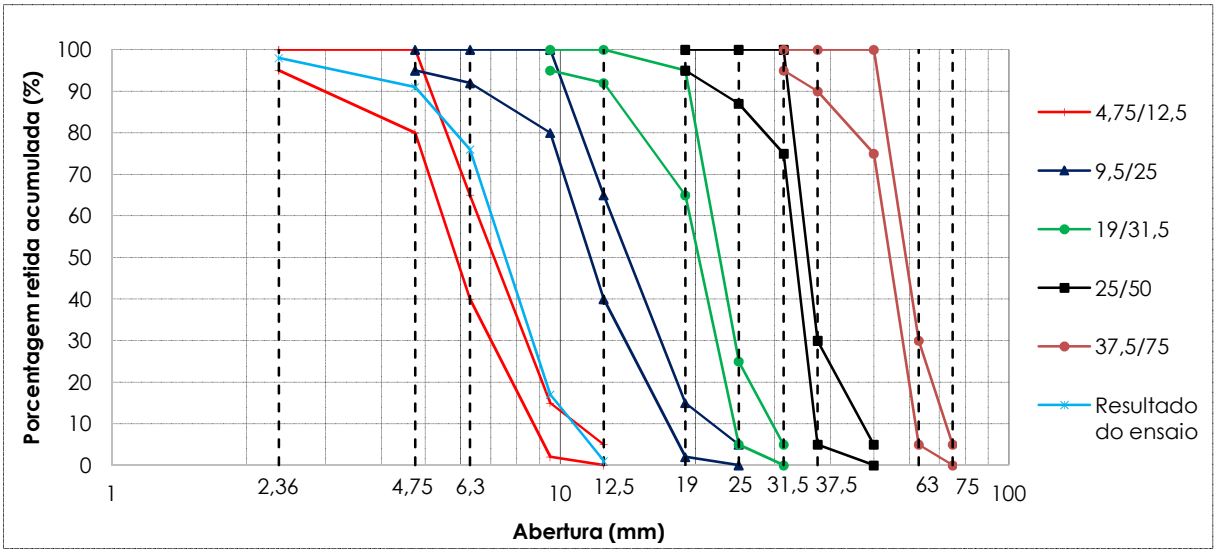
	Amostra 1 (2 Kg)		Amostra 2 (2 Kg)		Média das amostras		
Malha (mm)	**Massa ret. (g)**	**% Massa ret.**	**Massa ret. (g)**	**% Massa ret.**	**Massa ret. (g)**	**% Massa ret.**	**% M. ret. Acum.**
12,5	31,9	1,6%	24,3	1,2%	28,10	1,4%	1,4%
9,5	349,6	17,5%	324,2	16,2%	336,90	16,9%	18,3%
6,3	1170,6	58,6%	1193,1	59,7%	1181,85	59,1%	77,4%
4,75	302,5	15,1%	308,6	15,4%	305,55	15,3%	92,7%
Fundo	144,6	7,2%	149,3	7,5%	146,95	7,4%	100,0%
Total	1999,2		1999,5				

Diâmetro máximo característico (Dmáx)	Módulo de finura	Massa unitária solta (g/cm³)	Massa unitária compactada (g/cm³)	Densidade saturada brita g/cm³
12,5	5,74	1,43	1,57	2,7

Fonte: Os autores

A distribuição granulométrica do agregado graúdo utilizado está apresentada no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Os autores

2.3 Agregado miúdo

Foi utilizada a areia lavada de rio, disponível no mercado local. As propriedades analisadas foram massa específica, massa unitária em estado solto, composição granulométrica. As características dos agregados miúdos estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização do agregado miúdo

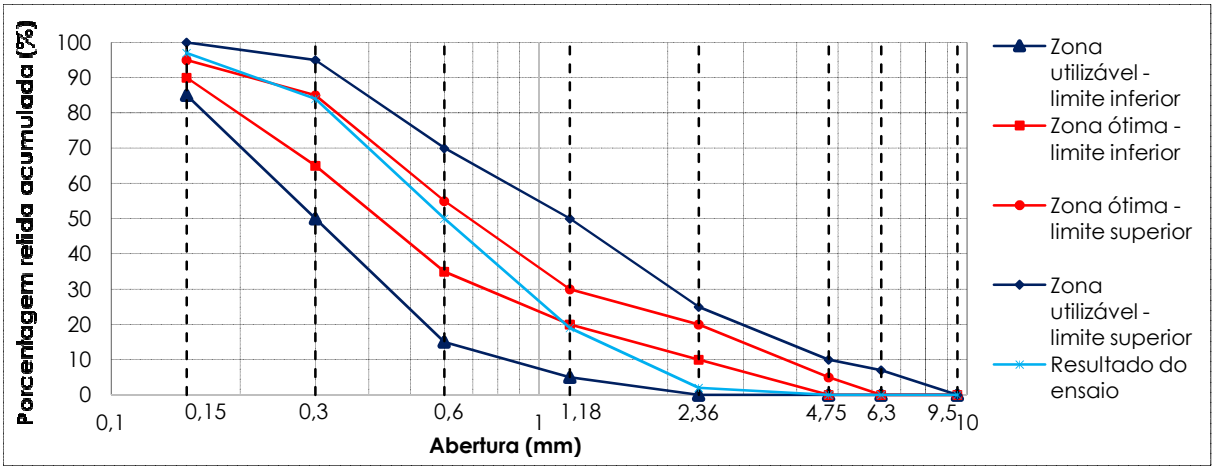
	Amostra 1 (300g)		Amostra 2 (300g)		Média das amostras		
Malha (mm)	**Massa ret. (g)**	**% Massa ret.**	**Massa ret. (g)**	**% Massa ret.**	**Massa ret. (g)**	**% Massa ret.**	**% M. ret. Acum.**
4,75	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0,0%
2,36	6,5	2,2%	6	2,0%	6,25	2,1%	2,1%
1,18	46,8	15,6%	53,5	17,8%	50,15	16,7%	18,8%
0,63	90,5	30,2%	97,9	32,6%	94,20	31,4%	50,2%
0,3	110,1	36,7%	96,1	32,0%	103,10	34,4%	84,6%
0,15	40,1	13,4%	40,1	13,4%	40,10	13,4%	98,0%
Fundo	5,9	2,0%	6,3	2,1%	6,10	2,0%	100,0%
Total	299,9		299,9				

Diâmetro máximo característico (Dmáx)	**Módulo de finura**	**Massa unitária solta (g/cm³)**	**Massa unitária compactada (g/cm³)**	**Massa específica real (g/cm³)**
2,36	2,54	1,49	1,60	2,59

Fonte: Os autores

A distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado está apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Os autores

2.4 Adições

Foi utilizado no experimento como adição mineral dois materiais finos: fíler calcário e rocha fosfática (Figura 1a e Figura 1b). Os dois materiais seguiram a mesma linha de caracterização do item 2.2. As características das adições minerais estão apresentadas na Tabela 4.

Figura 1 - Rocha fosfática (a) e Fíler calcário (b)


(a)

(b)

Fonte: Os autores

Tabela 4 - Características da rocha fosfática e fíler calcário

Malha (mm)	Granulometria rocha fosfática			Malha (mm)	Granulometria fíler		
	Massa ret. (g)	% Massa ret.	% M. ret. Acum.		Massa ret. (g)	% Massa ret.	% M. ret. Acum.
4,75	0	0,0%	0,0%	4,75	0	0,0%	0,0%
2,36	0,3	0,1%	0,1%	2,36	0	0,0%	0,0%
1,18	1,4	0,5%	0,6%	1,18	0	0,0%	0,0%
0,63	1,4	0,5%	1,0%	0,63	5,2	1,7%	1,7%
0,3	3,2	1,1%	2,1%	0,3	8	2,7%	4,4%
0,15	34,2	11,4%	13,5%	0,15	24,8	8,3%	12,7%
Fundo	259,1	86,5%	100,0%	Fundo	261,7	87,3%	100,0%
Total	299,6			Total	299,7		
Massa específica (g/cm³)		0,34		**Massa específica (g/cm³)**			2,59

Fonte: Os autores

2.5 Aditivos

Foram utilizados dois aditivos na pesquisa, um superplastificante e um modificador de viscosidade, ambos doados pela fabricante Grace e indicados para o desenvolvimento do CAA. O aditivo superplastificante é um tipo SP II, a base de policarboxilatos contém um alto poder de redução de água e fornece uma excelente manutenção de abatimento e resistência a segregação. O aditivo modificador de viscosidade, a base de biopolimero, aumenta a viscosidade do concreto mantendo seu espalhamento evitando a segregação. Suas características, apresentadas de acordo com o fabricante, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades do aditivo superplastificante

Fabricante	GRACE	
Nome	ADVA CAST 525	V-MAR 3
Tipo de aditivo	Superplastificante	Modificador de Viscosidade
Base química	Policarboxilatos	Biopolimero
Massa específica	1,040 – 1,060	-
Teor de sólidos	29,00 – 32,00%	-
Aspecto/Cor	Líquido alaranjado	Líquido viscoso de coloração levemente amarelo a cinza.
pH	3,00 – 5,50	-
Dosagem recomendada em massa de cimento	0,4 a 1,2%	0,1 a 0,6%

Fonte: Grace Construction Products (2015)

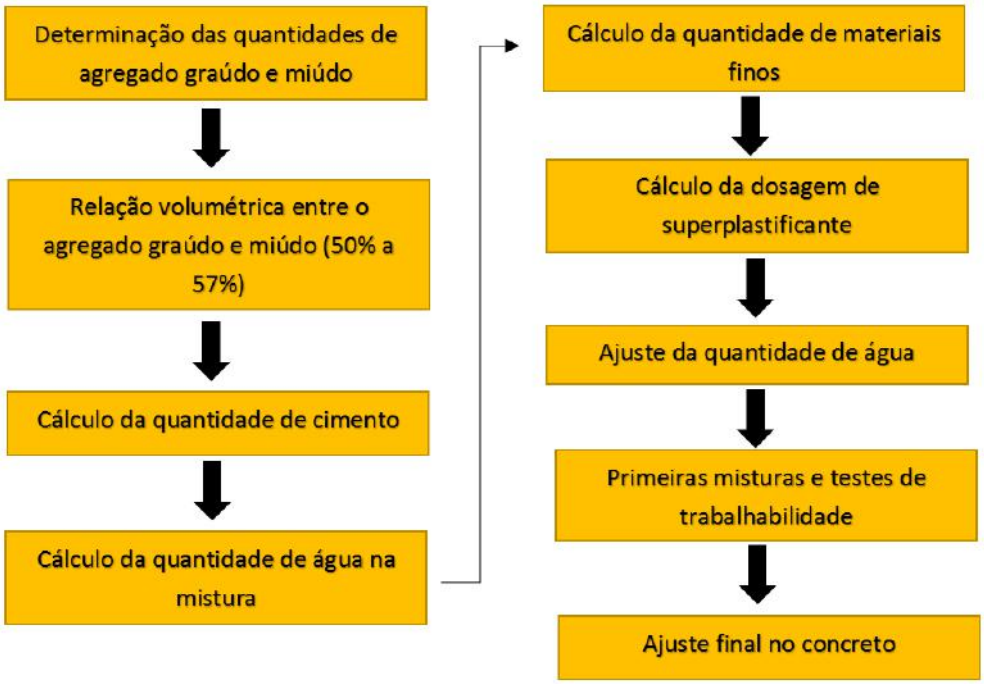
2.6 Água

Foi utilizado na elaboração da pesquisa a água tratada proveniente da rede de abastecimento local.

2.7 Dosagem

A produção do CAA é um desafio para todos que tentam desenvolver pesquisas à seu respeito, pois não é fácil atender a todos os critérios exigidos nas normas com relação as suas propriedades no estado fresco. Para uma sequência vantajosa de procedimentos foi seguido um fluxograma de dosagem pelo método de Nan Su et al. (2001), conforme Figura 2.

Figura 1 - Fluxograma de dosagem pelo método de Nan Su et al. (2001)



Fonte: TUTIKIAN & PACHECO (2008, p. 516)

Após a caracterização de todos os materiais obteve-se os valores para o traço padrão (CAA0F) do CAA com adição de fíler calcário e sem adição de rocha fosfática conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Traço padrão definido pelo método de Nan Su et al. (2001)

Traço padrão (CAA0F)	kg/m³	kg
Agregado graúdo	629,19	2,20
Agregado miúdo	735,91	2,58
Cimento	285,71	1,00
Água	142,86	0,50
Finos	89,88	0,31
Aditivo superplastificante	8,00	0,008
Aditivo modificador de viscosidade	6,00	0,006

Fonte: Os autores

Nos traços posteriores foi realizada a substituição de fíler calcário por rocha fosfática na ordem de 25% e 50%. No concreto com 25% de rocha fosfática (CAA25F) foi adicionado 0,4% de aditivo superplastificante sobre a massa de cimento e 400 g de água para sua diluição, pois não foi verificado fluidez nos ensaios no estado fresco. Como correção de traço foi adicionado 500 g de cimento e 250 g de água. Já no concreto com 50% de rocha fosfática (CAA50F) os valores de aditivos foram semelhantes ao CAA25F.

Executado os traços foram feitos os ensaios no estado fresco conforme a NBR 15823 (ABNT, 2010) em suas partes 1, 2, 4 e 5 sendo definidos o funil V para a análise da viscosidade, o espalhamento pelo cone de Abrams para fluidez e viscosidade plástica aparente e caixa L para avaliação da habilidade passante.

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos (10x20 cm) e estocados em câmara úmida após 24 horas da execução do traço para que os testes de resistência à compressão aos 3, 7, 14, 28 e 90 dias, resistência à tração por compressão diametral e módulo elástico aos 21 dias.

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base nos resultados ficou constatado que a presença da rocha fosfática nas proporções usadas prejudicou as propriedades de autoadensabilidade do CAA no estado fresco, conforme é visto na Figura 3 e na Tabela 6.

Figura 3 – Ensaios no CAA em estado fresco (a) CAA0F, (b) CAA25F, (c) CAA50F



Fonte: Os autores

Tabela 6 – Resultados dos ensaios do concreto no estado fresco

CONCRETO	T500 (s)	ESPALHAMENTO (mm)	FUNIL V (s)	CAIXA L (H2/H1)
CAA0F	2,27	665	8,12	0,81
CAA25F	Não atingido	435	13,28	Não atingido
CAA50F	Não atingido	430	16,13	0,85

Fonte: Os autores

Segundo Gomes e Barros (2009), os valores esperados para que o concreto seja autoadensável estão citados conforme o Quadro 2.

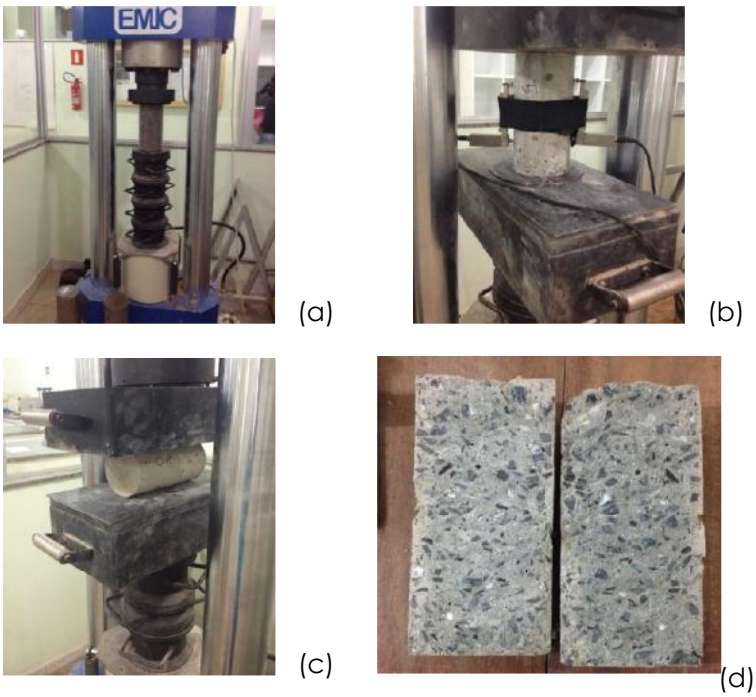
Quadro 2 – Faixa dos parâmetros dos ensaios de autoadensamento

Propriedades	**Ensaios**	**Parâmetros**	**Faixa**
Capacidade de preenchimento	Teste de espalhamento	Dfinal	600 a 800 mm
		T500	2 a 7 s
	Funil V	Tv	6 a 15 s
Capacidade de passagem	Caixa L	H2/H1	≥ 0,80

Fonte: Adaptado GOMES & BARROS (2009, p.48)

Nas datas pré-determinadas foram realizados os ensaios no estado endurecido, a Figura 4 mostra as amostras sendo ensaiadas.

Figura 4 – Ensaios no CAA em estado endurecido (a) resistência à compressão, (b) módulo de elasticidade, (c) tração, (d) vista interna do corpo de prova



Fonte: Os autores

No Quadro 3 apresentam-se os valores da resistência média e o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão, à tração por compressão diametral e os valores do módulo de elasticidade dos CAA. Em geral, as misturas com substituição de fíler calcário por rocha fosfática e para idades superiores apresentaram maiores resistência à compressão e a tração que a mistura CAA0F, sendo: a mistura CAA25F teve aumentos de 43,4% na resistência à compressão, 67,9% na resistência à tração e 1,5% no módulo de elasticidade; na mistura CAA50F os correspondentes aumentos foram de 22,7%, 25,0% e uma queda de 2,1% no módulo de elasticidade.

Quadro 3 - Resultados dos ensaios no concreto endurecido

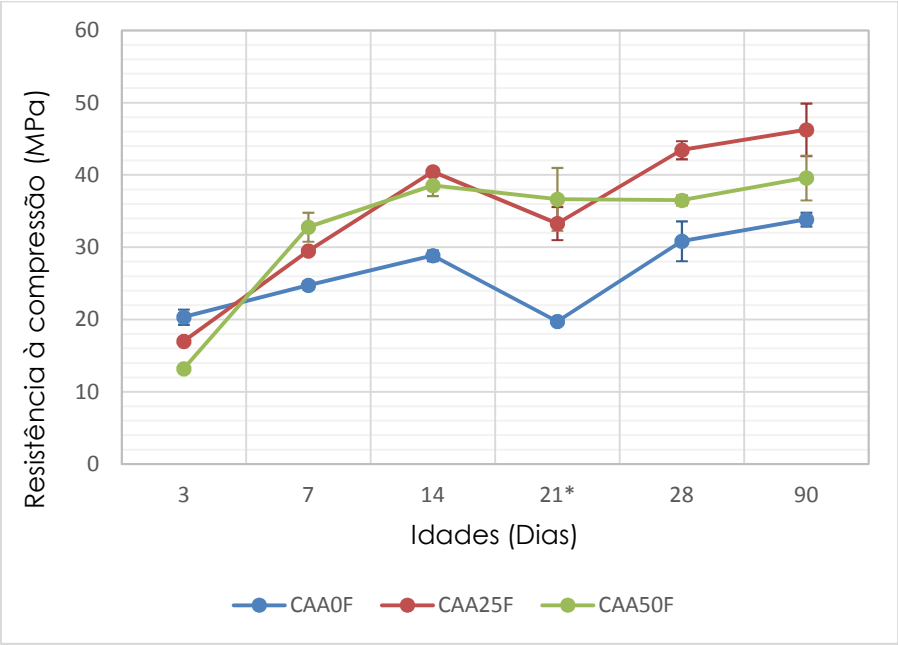
Dias	Maior valor resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio padrão	Resistência à tração (MPa)	Modúlo de Elasticidade (GPa)
Concreto padrão 0%(CAA0F)					
3	21,4	20,4	1,5	-	-
7	25,3	24,8	0,8	-	-
14	29,6	28,9	1,1	-	-
21	20,0*	19,8	0,4	2,8	34,1
28	33,6	30,9	3,9	-	-
90	34,8	33,9	1,3	-	-
Concreto com 25% de rocha fosfática (CAA25F)					
3	17,4	17,0	0,6	-	-
7	29,7	29,5	0,3	-	-
14	40,8	40,5	0,5	-	-
21	35,6*	33,3	3,3	4,7	34,6
28	44,7	43,5	1,8	-	-
90	49,9	46,3	5,2	-	-
Concreto com 50% de rocha fosfática (CAA50F)					
3	13,4	13,2	0,3	-	-
7	34,8	32,8	2,8	-	-
14	40,0	38,6	2,1	-	-
21	41,0*	36,7	6,2	3,5	33,4
28	37,2	36,5	1,0	-	-
90	42,7	39,6	4,4	-	-

*Resistência à compressão obtida após o ensaio de elasticidade.
Fonte: Os autores

Assim como no estudo de Tutikian & Pacheco (2008), pelo método escolhido para dosagem do concreto, o valor calculado de resistência à compressão não foi atingido aos 28 e 90 dias. Nesse trabalho o valor calculado foi de 40 MPa para o CAA0F e o máximo obtido foi de 34,8 MPa.

No Gráfico 3 é possível verificar as médias das resistências à compressão e a barra de erro correspondente ao desvio padrão em torno da média, em relação à idade de rompimento dos exemplares. Cada exemplar é constituído por dois corpos de prova da mesma amassada.

Gráfico 3 – Resistência à compressão do concreto no estado endurecido



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

Após análise dos resultados obtidos no estudo experimental é possível apresentar as seguintes considerações no que se refere a obtenção do CAA com substituição de fíler calcário por rocha fosfática, no estado fresco e no estado endurecido:

(a) A trabalhabilidade das misturas diminui com o aumento da substituição de fíler calcário por rocha fosfática, em geral, sendo necessário aumentar a dosagem inicial de superplastificante.

(b) As porcentagens definidas de rocha fosfática e o método de dosagem utilizado no CAA, não atingiram as propriedades desejadas no estado fresco, fato que pode ser explicado pela diferença de granulometria, se comparado ao fíler calcário.

(c) Nas misturas CAA0F e CAA50F o valor calculado de resistência à compressão, 40 MPa, não foi atingido aos 28 dias, destacando-se que a mistura CAA25F atingiu boa resistência à compressão, 44,7 MPa, 11,8% a mais que o valor calculado.

(d) Com a substituição de fíler calcário por rocha fosfática no CAA25F, obteve-se os melhores resultados de resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade superando, respectivamente, em 43,4%, 67,9% e 1,5%, o CAA0F aos 90 dias.

(e) As amostras submetidas ao ensaio de resistência à compressão aos 21 dias foram ensaiadas anteriormente para obtenção do módulo de elasticidade e por isso apresentaram resultados menores do que 14 dias para as misturas CAA0F e CAA25F.

(f) Os resultados da resistência à compressão para 14, 28 e 90 dias referentes a mistura CAA50F obtiveram valores que não diferem estatisticamente, não apresentando a evolução esperada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) pela doação dos materiais e disponibilização do Laboratório de Tecnologia de Materiais de Construção do Curso de Engenharia Civil; à Vale Fertilizantes pela doação da rocha fosfática e à Grace pela doação do aditivo superplastificante.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do Cimento Portland**. 8.ed. rev. atual. ampl. São Paulo, 2012. 40p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**: Concreto auto-adensável: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15823-2**: Concreto auto-adensável: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15823-4**: Concreto auto-adensável: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15823-5**: Concreto auto-adensável: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM. **Fosfato - Sumário Mineral 2014**. Brasília. Publicado em 2015, Ano-Base 2013. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/fosfato-sumario-mineral-2014/view>. Acesso em 20 abr. 2016.

GOMES, P.C.C.; BARROS, A.R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2009.

Grace Construction Products. **Superplastificante Redutor de Água - ADVA™**, 2015. Disponível em: <https://gcpat.com/construction/pt-br/soluções-para-concreto/ADVA>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ISAIA, G.C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011. 1v. e 2v.

J.MENDO. **Relatório técnico 53: Perfil do Fosfato**, 2009. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P29_RT53_Perfil_do_Fosfato.pdf/48caf3fe-b399-4032-9337-d63ce39b218d >. Acesso em: 25 mar. 2016.

SU, N.; HSU, K.C.; CHAI, H.W. **A simplemixdesignmethod for self-compacting concrete**. In: Cement and Concrete Research, n. 31, p. 1799-1807, 2001.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto autoadensável**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2015.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. **Revista IBRACON de estruturas e materiais –** Concreto auto-adensável (CAA) – comparativo entre métodos de dosagem**.** p.500-529.São Paulo, 2008.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA PARA ANÁLISE DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR[1]

SILVA, Emerson José (1); ARAÚJO, Fernanda Wanderley Corrêa (2); MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback (3), SAVASTANO JR., Holmer (4); MELO NETO, Antonio Acacio (5)

(1) UFPE, e-mail: emerson.josesilva@ufpe.br; (2) UFRPE, e-mail: fernanda.wca@gmail.com; (3) UFPR, e-mail: reciclagem.miranda@gmail.com; (4) FZEA-USP, e-mail: holmersj@usp.br; (5) UFPE, e-mail: antoniodemelo@gmail.com

RESUMO

Muitos estudos acerca do aproveitamento de resíduos e sua utilização em matrizes cimentícias têm sido desenvolvidos, se destacando as cinzas agroindustriais por apresentarem propriedades pozolânicas. O bagaço da cana-de-açúcar é um dos subprodutos do processo de produção da cana-de-açúcar, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundial. Neste trabalho foram produzidas cinzas a partir do beneficiamento por queima controlada e peneiramento/moagem da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) proveniente de uma usina do estado de Pernambuco. Parte do material coletado não sofreu tratamento térmico, denominada de CAN, o restante foi dividido em quatro frações de calcinação: 300°C, 400°C, 500°C e 600°C, denominadas CB300, CB400, CB500 e CB600, respectivamente. Após a queima, cada fração de cinza passou por um processo de peneiramento/moagem e foram submetidas a análise de área superficial específica por blaine. A reatividade das cinzas foram avaliadas por meio do método de condutividade elétrica em solução saturada de $Ca(OH)_2$/cinzas. Os resultados por condutividade elétrica indicam tendência de reatividade do material estudado.

Palavras-chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Condutividade elétrica. Pozolana.

ABSTRACT

Many studies about waste recovery and your use in cement matrices have been developed, highlighting the agroindustrial ashes for presenting pozzolanic properties. The bagasse of the sugarcane is one of the byproducts of the production process of sugarcane, with Brazil being the world's largest producer. In this work were produced ashes from the beneficiation by controlled burning and sieving/milling of ash from sugarcane bagasse (CBCA) collected in a mill of Pernambuco. Part of the material collected did not suffer thermal treatment, called CAN, the remainder was divided into four fractions of calcination: 300°C, 400°C, 500°C and 600°C, named CB300, CB400, CB500 and CB600, respectively. After burning, each ash passed through a process of sieving/milling and was submitted to analysis specific surface area by Blaine. The reactivity of the ash was evaluated by means of electrical conductivity measurements in saturated solution of Ca(OH)2 / ashes. The results by electrical conductivity indicates tendency of reactivity of the studied material.

[1] SILVA, Emerson et al. Utilização do método de condutividade elétrica para análise da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Sugar cane bagasse ash. Electrical conductivity. Pozzolan.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Unica (2015) o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, além de ser o maior exportador mundial de açúcar. O crescente consumo de açúcar dos países emergentes, bem como, o aumento da frota de carros com a tecnologia flex, notoriamente no Brasil e Estados Unidos, estimula o contínuo crescimento da produção nacional de açúcar e etanol. No acumulado da safra de 2013/2014, a produção de açúcar cresceu 10,96%, totalizando 64,478 milhões de toneladas em relação a safra de 2012/2013 (UNICA, 2015). Os estados brasileiros com maior produção de cana-de-açúcar são: Alagoas, Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Pernambuco e Paraná (UNICA, 2015).

Quanto da existência da pozolanicidade na CBCA (Cinza do bagaço de cana-de-açúcar) os autores Cordeiro (2006); Paula (2006); Cordeiro (2009); Nunes (2009); Zardo et al., (2004) relatam que ainda não é definitiva, embora em sua pesquisa Freitas (2005) aponta a atividade pozolânica de amostras de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, já Zardo et al., (2004) revela o contrário mostrando que esse tipo de material atua como *filler*. Portanto, todos os pesquisadores citados apresentam aspectos benéficos do uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, quer seja pelo o efeito *filler* quer seja pelo o efeito pozolânico.

A aplicação do método de condutividade elétrica tem sido amplamente observada por muitos autores, uma vez que se trata de um método útil não só para monitorar a hidratação inicial de aglomerantes, mas também como um avaliador tanto da atividade pozolânica como da reação álcali-agregado, existindo basicamente dois métodos: Um usa soluções ativadoras e o outro uso ativando pó sólido (TASHIRO et al, 1994).

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial pozolânico da cinza do bagaço de cana-de-açúcar do por meio da utilização do método de condutividade elétrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de pozolanas: a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) objeto de estudo e o metacaulim, material pozolânico de referência (MTC), comercializado no mercado do estado de Pernambuco. O metacaulim utilizado, produzida pela empresa Caulim do Nordeste S.A. possui cor alaranjada e uma granulometria fina, possuindo elevadas concentrações de óxidos de sílica, alumínio e ferro.

A CBCA utilizada é proveniente do processo de produção de álcool e açúcar de uma usina localizada no Estado de Pernambuco. A queima do bagaço da cana foi realizada em caldeira a uma temperatura de

aproximadamente 300ºC, para geração da cinza. A cinza coletada apresenta cor escura e granulometria grosseira, indicando uma cinza com elevado teor de carbono. Para sua homogeneização, a cinza foi seca em estufa a 100ºC por 24h e depois passou pela peneira de abertura 4,8mm para retirada de impurezas como restos de folha e galhos, sendo o material retido descartado. O material possui alta concentração de sílica da amostra, superior a 89% da massa da cinza.

É apresentada na Tabela 1 a análise química por fluorescência de raios - X do material passante na # 4,8 mm (*in natura*). O resultado demonstra a alta concentração de sílica da amostra, superior a 89% da massa da cinza.

Tabela 1 - Composição química (% óxidos) e perda ao fogo da CBCA.

Óxidos:	**Resultado (%)**	**Óxidos:**	**Resultado (%)**
CaO	0,7	**SiO_2**	**89,2**
Al_2O_3	**2,2**	**Fe_2O_3**	**1,7**
SO_3	0,3	**MgO**	0,3
TiO_2	0,3	**K_2O**	2,3
P_2O_5	0,7	**Cr_2O_3**	-
NiO; MnO	-	**Perda ao Fogo**	2,14
TOTAL		**99,84 %**	

Fonte: O autor (2016).

Para o ensaio de condutividade elétrica foi utilizado o hidróxido de cálcio - CH (P.A.) da marca *Synth*, com teor mínimo de pureza de 95%.

2.2 Planejamento Experimental

A CBCA foi preparada para receber dois tipos de tratamento utilizados neste trabalho: a calcinação e o peneiramento/moagem. O material pozolânico de referência (MTC) não sofreu qualquer tipo de tratamento, pois, trata-se de um material adquirido no mercado, portanto, pronto para utilização. Todos os procedimentos adotados no tratamento e preparo da CBCA foram adotados de acordo com o levantamento bibliográfico do tema. A preparação inicial da CBCA consistiu nas seguintes etapas:

- Inicialmente a CBCA foi seca em estufa a 100ºC por 24 horas e peneirada na malha de abertura de 4,8 mm para a retirada de materiais contaminantes (pedras, folhas, etc.).
- O material retido deste preparo inicial foi descartado.
- O material passante, foi dividido em cinco frações e seguiu para os tratamentos previstos. Desse preparo inicial foi denominado de cinza do bagaço de cana-de-açúcar "*in natura*" (CAN).

A queima da cinza de cana-de-açúcar a diferentes temperaturas foi objeto de estudo desse trabalho, com o intuito de avaliar qual seria a melhor

condição para obtenção de cinza mais reativa. As temperaturas de queima estudadas foram de 300 °C, 400 °C, 500 °C e 600 °C e o resfriamento da mufla foi natural (resfriamento lento). A taxa de aquecimento adotada para a queima foi de 10 °C/min. Ao atingir o valor máximo, o tempo de permanência do material nessa temperatura foi de 3 horas. Ao término desse período, a mufla foi desligada e aberta, automaticamente se iniciou o processo natural de resfriamento.

As cinzas foram denominadas de acordo com a temperatura máxima de queima, recebendo as seguintes nomenclaturas: CB300 (temperatura máxima de queima foi de 300°C), CB400, CB500 e CB600.

O processo de tratamento de peneiramento / moagem aplicado nas CBCA, teve como objetivo obter quatro patamares de finura do material estudo. Todas as cinzas que tiveram ou não beneficiamento térmico passaram por um processo de peneiramento mecânico.

Para estratificar as amostras, foi definido um número fixo de peneiramentos e intervalos, obedecendo a seguinte configuração: 6 ciclos de peneiramento mecânico de 15 minutos, com intervalo de 5 minutos (esse intervalo foi adotado devido as condições do equipamento, o mesmo não suporta o tempo total de uma hora e trinta minutos ininterrupto de peneiramento) – Totalizando em torno de 2 horas de procedimento.

No fim do peneiramento obtiveram-se as seguintes amostras: as cinzas retidas na peneira de malha 200 (#200), passante na malha 200 e retida na malha 400 (#400) e passante na malha 400 (P400), amostras foram recolhidas e guardadas em potes com as devidas identificações.

A moagem das cinzas foi realizada em um moinho rotativo de bolas da marca Tecnal. Foram utilizadas 71 bolas correspondentes a uma massa de 3000 g como apresentado na tabela 2. A velocidade de rotação foi de 200 RPM e o período de moagem foi de 7 horas. Para a moagem foram utilizados 1,300 Kg de cada uma das amostras de cinza (CAN, CB300, CB400, CB500 e CB600).

Tabela 2 – Relação de bolas de alumina, com diâmetros, massas e volumes utilizadas na moagem das CBCA.

Número de Bolas:	Diâmetro das bolas (mm)	Massa (g)	Volume (mL)
3	20	74,41	100
53	25 a 30	1730,16	1000
15	35	1195,43	900
	TOTAL	**3000,00**	**2000**

Fonte: O autor (2016).

Desse procedimento obtiveram-se três variações sem moagem, sendo os materiais: retido na peneira de Nº 200, retido na de Nº 400 e a passante na peneira de Nº 400 e uma moída por 7H. Após o peneiramento e moagem

das amostras no moinho de bolas, as mesmas foram encaminhadas para os ensaios previstos.

Definidos todos os tipos de pozolanas e tipos de tratamento, na Tabela 3 é apresentado o quadro resumo das amostras obtidas com os tratamentos previstos.

Tabela 3 – Resumo das amostras produzidas e suas respectivas denominações

AMOSTRAS	DESCRIÇÃO
MTC	Metacaulim - material pozolânico de referência, adquirido no mercado.
CAN#200	CBCA "in natura", sem moer e retida na peneira Nº 200 (0,075 mm).
CAN#400	CBCA "in natura", sem moer e retida na peneira Nº 400.
CANP400	CBCA "in natura", sem moer e passante na peneira Nº 400 (0,038 mm).
CANM7H	CBCA "in natura", moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB300#200	CBCA calcinada a 300ºC, RL, sem moer e retida na peneira Nº 200.
CB300#400	CBCA calcinada a 300ºC, RL, sem moer e retida na peneira Nº 400.
CB300P400	CBCA calcinada a 300ºC, RL, sem moer e passante na peneira Nº 400.
CB300M7H	CBCA calcinada a 300ºC, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB400#200	CBCA calcinada a 400ºC, RL, sem moer e retida na peneira Nº 200.
CB400#400	CBCA calcinada a 400ºC, RL, sem moer e retida na peneira Nº 400.
CB400P400	CBCA calcinada a 400ºC, RL, sem moer e passante na peneira Nº 400.
CB400M7H	CBCA calcinada a 400ºC, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB500#200	CBCA calcinada a 500ºC, RL, sem moer retida na peneira Nº 200.
CB500#400	CBCA calcinada a 500ºC, RL, sem moer e retida na peneira Nº 400.
CB500P400	CBCA calcinada a 500ºC, RL, sem moer e passante na peneira Nº 400.
CB500M7H	CBCA calcinada a 500ºC, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB600#200	CBCA calcinada a 600ºC, RL, sem moer retida na peneira Nº 200.
CB600#400	CBCA calcinada a 600ºC, RL, sem moer e retida na peneira Nº 400.
CB600P400	CBCA calcinada a 600ºC, RL, sem moer e passante na peneira Nº 400.
CB600M7H	CBCA calcinada a 600ºC, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.

Fonte: O autor

2.3 Procedimento de ensaio

Para a análise da condutividade elétrica, foi realizada da medição em uma solução supersaturada de hidróxido de cálcio, água deionizada e cinza.

As medições de condutividade elétrica de solução CH/adição mineral (LUXÁN, et al., 1989; PAYÁ et al., 2001), seguiram as seguintes etapas:

- Foi colocado 250 ml de água deionizada em becker de vidro graduado e verter no balão volumétrico de fundo chato de três bocas paralelas;
- Foi aquecida a água do balão em cima da base do agitador magnético, sob agitação com velocidade de 900 RPM, até atingir a temperatura de 40ºC estipulada no controlador digital e deixá-la estabilizar;
- Pesou-se 450 mg de hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ em balança de precisão (0,0001g);
- Com a água estabilizada a 40 °C adicionou-se 450 mg de $Ca(OH)_2$ no balão sobre o agitador magnético com aquecimento para se obter uma solução saturada de CH;

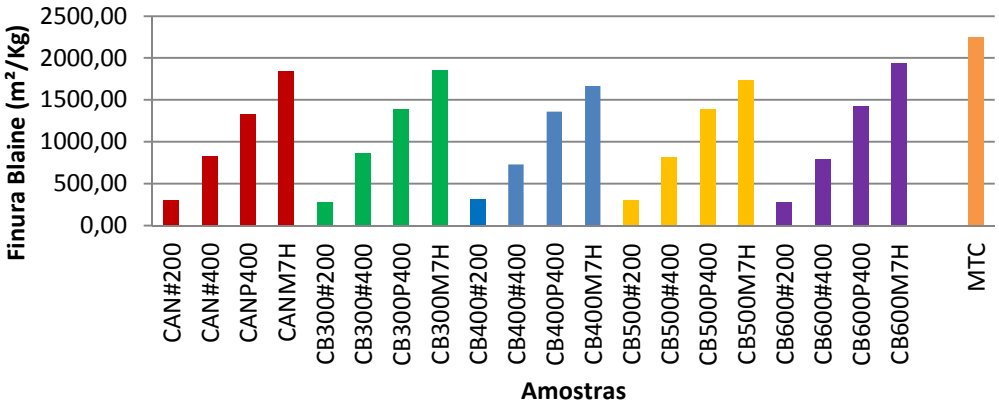
- A solução ficou sob agitação durante 1 h para garantir que todo CH seja dissolvido;
- Pesou-se 5,25 g de adição mineral na balança de precisão (0,0001g);
- Após 1 h, com a temperatura da solução 40 °C, iniciou-se a coleta de valores de condutividade elétrica por meio de um condutivímetro elétrico, com um programa de coleta de dados, e a célula de condutividade de aço inox, com leitura de 0,001 µS/cm a 20000 µS/cm;
- Colocou-se imediatamente 5,25 g de adição mineral na solução CH/água;
- As informações deste trabalho foram coletadas durante 24 h, por um computador acoplado ao sistema do condutivímetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Área superficial das CBCA

Os efeitos dos tratamentos aplicados na CBCA serão abordados neste item no que tange a possível influência nas propriedades quanto à pozolanicidade, como área específica. A figura 1 apresenta a finura blaine dos materiais utilizados neste pesquisa.

Figura 1 – Finura Blaine das CBCA



Fonte: O autor

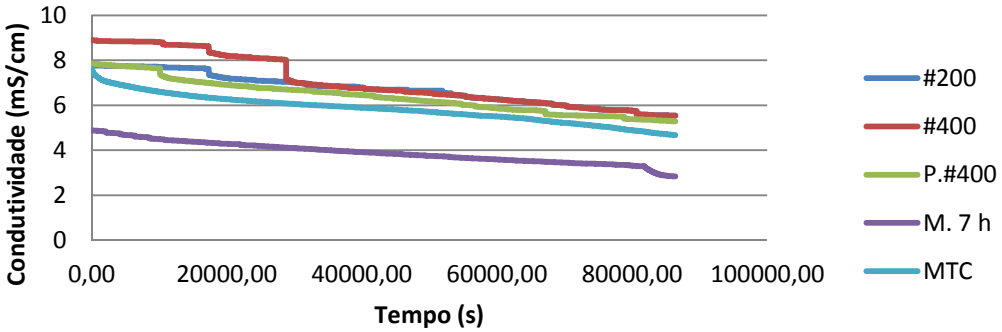
De acordo com os resultados da Figura 1, pode-se afirmar que o peneiramento/moagem foi bem sucedido, uma vez que alcançou quatro níveis de finura Blaine: material retido na peneira #200, retido na peneira #400, passante na peneira #400 e moído por 7 horas.

Um importante parâmetro a ser considerado nas características físicas das cinzas, se dá por meio da avaliação da área específica. Sabe-se que a área específica é um importante parâmetro para a cinética química, e que, quanto maior a área superficial de um material geralmente maior é a taxa de reação química (RODRIGUES, 2012).

3.2 Avaliação da atividade pozolânica das CBCA por condutividade elétrica

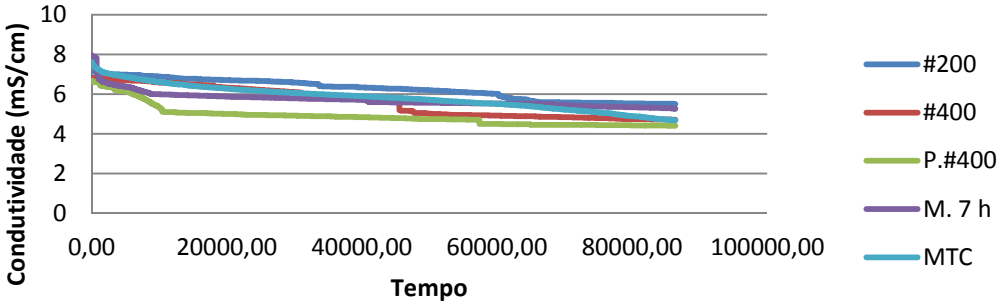
Segundo Rodrigues (2012), com a formação de produtos insolúveis de C-S-H, há dessa forma, uma menor quantidade de íons de Ca^{2+}, acarretando consequentemente no decréscimo da condutividade elétrica. As Figuras de 2 a 6 ilustram as curvas de perda de condutividade elétrica do MTC, das CBCA por tratamento de calcinação e por grau de finura, respectivamente.

Figura 2 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CAN



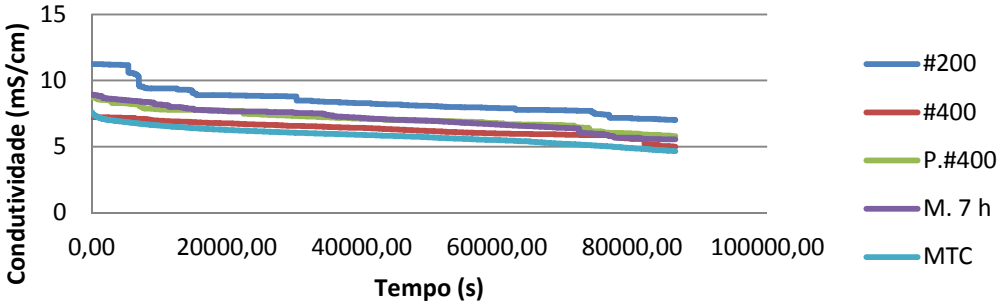
Fonte: O autor

Figura 3 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB300



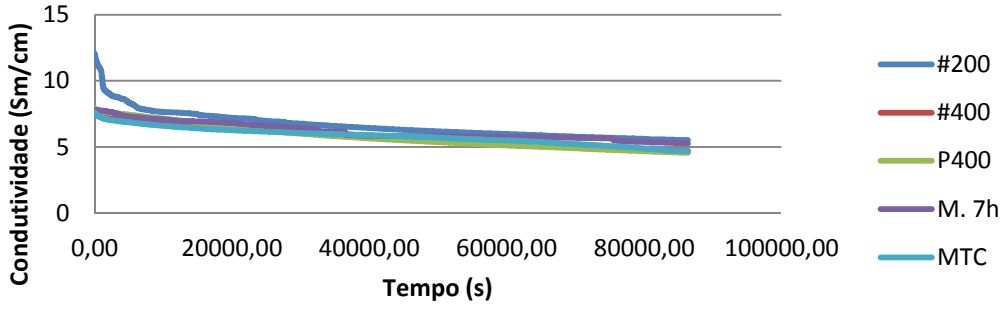
Fonte: O autor

Figura 4 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB400



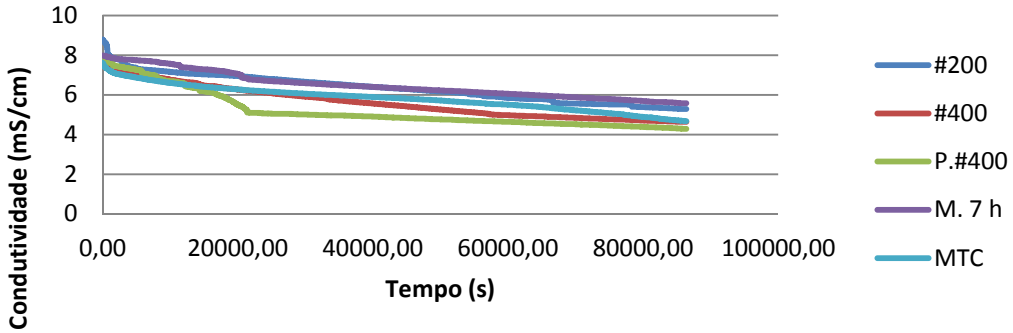
Fonte: O autor

Figura 5 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB500



Fonte: O autor

Figura 6 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB600



Fonte: O autor

Nos primeiros 120 s, observa-se que a perda de condutividade elétrica das cinzas foi menor, quando comparado aos 10000s, sendo o resultado coerente, haja vista que nesse período inicial as cinzas estão no processo de dissolução. Após 10000 s, todas as soluções CH/Cinza apresentaram os maiores valores de perda de condutividade elétrica, como observado nas Figuras 2 a 6, onde esse comportamento se estende até o final do experimento.

Tanto nos trabalhos de Luxán *et al*. (1989) quanto de Payá *et al*. (2001), os tempos de medição da condutividade elétrica foram respectivamente de apenas 120 s e 10000 s. O período de análise para as conclusões a respeito do material foram o suficiente. No presente trabalho foi adotada uma análise de 85000 s, visto que as cinzas continuaram perdendo condutividade elétrica mesmo após o período de 10000 s.

Villar Cociña (2005) relata que a possível formação de C-S-H, além de outros produtos de hidratação se dá decorrente a diminuição da condutividade elétrica na solução. De modo geral após o período de 15 h de análise 54000 s, observou-se que a perda de condutividade elétrica aumentou consideravelmente em todas as cinzas estudadas. Os resultados do ensaio de condutividade mostraram que, nas primeiras horas, as soluções de CH/CB300M7H, CH/CB400#200, CH/CB500#200, CH/CB600#200 e CH/CB600P400 tiveram as maiores perdas de condutividade elétrica, indicando uma maior reatividade.

Na Tabela 4, é apresentado a avaliação da atividade pozolânica por medida de condutividade elétrica proposto por Luxán *et al* (1989).

Tabela 4 – Avaliação da atividade pozolânica por medida de condutividade elétrica.

Classificação do material	**Variação da condutividade de acordo com o método proposto (mS/cm)**
Não pozalâna	Menor que 0,40
Pozolâna variável	Entre 0,4 e 1,2
Boa pozolâna	Maior que 1,2

Fonte: Luxán *et al* (1989).

Pela classificação da Tabela 4, tem-se que todas as cinzas produzidas são classificadas como boa pozolana, porém, vale ressaltar que no presente trabalho foram feitas algumas adequações quanto ao método proposto por Luxán *et al* (1989).

Para a avaliação das cinzas, quando comparadas com a pozolana de referência (MTC), observou-se que as perdas de condutividade são próximas ou superiores, com exceção do CB300#200, mostrando que as cinzas são ao menos reativas.

Ao analisar as curvas das soluções avaliadas constatou-se que não houve estabilização dos dados, sendo necessário, portanto, um tempo maior de avaliação para que se possa obter maiores conclusões acerca das cinzas estudadas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados tanto das propriedades físicas, químicas quanto da microestrutura foram de suma importância para o entendimento da CBCA quanto ao seu potencial pozolânico.

Os diferentes graus de peneiramento/moagem utilizados nesta pesquisa permitiram que a análise distinguisse de forma satisfatória os efeitos da diminuição do tamanho de partículas. Concluindo-se que o efeito da moagem teve impacto positivo na melhoria da atividade pozolânica da CBCA. O efeito da temperatura de calcinação, dentro dos limites deste trabalho, pouco influenciou.

O método da condutividade elétrica se mostrou uma técnica rápida e útil para comparar o grau de reatividade entre as CBCA e o MTC em sistema com hidróxido de cálcio.

A avaliação pozolânica, efetuada por meio da medição da condutividade elétrica em soluções CH/cinzas, mostrou que as cinzas apresentam em sua maioria uma baixa reatividade nas primeiras 3 h, quando comparado com o MTC. Ao final do ensaio em 24 h todas as cinzas em termos de reatividade se

equiparam a perda de condutividade da pozolana de referência, corroborando que a reatividade ocorre de forma lenta.

Dessa maneira se faz necessário avaliar a pozolanicidade de cinzas períodos superiores a 24 h, com o intuito de avaliar o tempo necessário para a estabilização da perda da condutividade, bem como a avaliação da cinza em água deionizada, sem hidróxido de cálcio, afim de identificar a influência dos íons gerados pela cinza.

É importante lembrar que, todo os dados apresentados neste trabalho referem-se apenas as amostras coletadas que passaram, ou não, por diferentes tratamentos térmicos e físicos. Para se chegar a dados mais conclusivos, é necessário o aprofundamento deste estudo com ensaios químicos e termogravimétricos. Através destes novos ensaios será possível averiguar o percentual de sílica reativa e CO_2 presente na CBCA analisada apenas por ensaios físicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FACEPE, a CAPES e à PROPESQ, pela concessão de recursos e auxílio de bolsas para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, G.C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese de Doutorado. COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, L.N. **Análise da variação do índice de amorficidade da cinza da casca do arroz sobre a atividade pozolânica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FREITAS, E. de S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos goytacazes para uso na construção civil**. 2005. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LUXAN, N.P.; XADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. **Cement and concrete research**, v.19, 1989.

NUNES, I.H.S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado. PEU/Universidade Estadual de Maringá, 2009.

PAULA, M.O. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2006.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M.V.; MELLADO, A.; ORDONEZ, L.M. Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 227-231, 2001

RODRIGUES, M. S. **Avaliação de cinzas de palha de cana-de-açúcar e sua utilização como adição mineral em matrizes cimentícias**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola, Campina, 2012.

TASHIRO, C., IKEDA, K., INOUE, Y. Evoluation of pozzolanic activity by the electric resistence measurement method. **Cement and Concrete Research**, v. 24, p. 1133-1139, 1994.

ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (2010 - 2015) Disponível na internet:<http://www.unica.com.br>. Acesso em novembro 2015.

VILLAR-COCIÑA, E. **Modelos cinéticos para la caracterización de materiales puzolánicos y mezclas de moldeo para fundición de hierro.** 168 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Físicas) – Facultad de Matemática, Física y Computación, Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2005.

ZARDO, A. M.; BEZERRA, E.M.; MARTELLO, L.S.; SAVASTANO Jr., H. Utilização da cinza de bagaço cana-deaçúcar como "filler" em compostos de fibrocimento. In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável/x Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Entac, 2004. CD-ROM.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA[1]

MARTINS, Ana Flávia da Silva (1); CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio (2), DURANTE, Luciane Cleonice (3); ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho (4); LOUZICH, Kellen Melo Dorileo (5); CARDOSO, Alceu Aparecido (6)

(1) UFMT, e-mail: ana.flavia.martins@hotmail.com; (2) UFMT, e-mail: ivancallejas1973@gmail.com; (3) UFMT, e-mail: luciane.durante@hotmail.com; (4) UFMT, e-mail: karyna.rosseti@gmail.com; (5) UFMT, e-mail: keldorileo@hotmail.com; (6) IFMT, e-mail: alceu.cardoso@ifmt.edu.br

RESUMO

Pesquisas em dosagens de argamassas têm se baseado na utilização de materiais não convencionais, visando, principalmente, a sustentabilidade ambiental e a obtenção de desempenhos especiais. Argamassas dosadas com diferentes composições e traços alteram as propriedades de massa aparente e condutividade térmica, afetando o desempenho termoenergético dos edifícios. O objetivo deste trabalho foi relacionar as propriedades de densidade de massa aparente e condutividade térmica de argamassas convencionais e não convencionais, a partir de dados obtidos por meio de revisão sistemática. Foram selecionados 25 trabalhos, a partir dos quais foram catalogados 152 tipos de argamassas. Constatou-se que à medida que a massa aparente da argamassa se eleva, a condutividade térmica apresenta comportamento semelhante.

Palavras-chave: Conforto térmico. Massa aparente. Desempenho.

ABSTRACT

Researches in mortar dosages has based on the use of unconventional materials in its composition, focusing mainly in environmental sustainability and to obtain special properties. Mortars dosed with different compositions and characteristics alter the properties of apparent density and thermal conductivity, thus affecting the buildings thermoenergetic performance. This work aims to relate the bulk density and thermal conductivity properties of conventional and non-conventional mortars, using systematic review methodology. It was selected 25 studies and cataloged data of 152 mortars types. It was observed that as the bulk density of the mortar increases, the thermal conductivity exhibits similar behavior.

Keywords: Thermal confort. Bulk density. Performance.

1 INTRODUÇÃO

Define-se argamassa como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes e água de amassamento e, eventualmente, aditivos ou adições para otimizar suas propriedades no estado fresco ou endurecido

[1] MARTINS, Ana Flávia da Silva; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio, DURANTE, Luciane Cleonice ; ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho ; LOUZICH, Kellen Melo Dorileo; CARDOSO, Alceu Aparecido. Condutividade térmica de argamassas de revestimento: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

(BONIN, 2009). Sua dosagem varia com a finalidade e materiais utilizados, o que interfere nas suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. Conhecer as combinações dos componentes das argamassas é importante quando se almeja características térmicas melhoradas (LEAL, 2012).

Pesquisas vêm sendo realizadas para identificar as propriedades térmicas dos materiais alternativos na composição das argamassas, com vistas a atender as normas, em especial a de desempenho térmico NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013), possibilitando a existência de mais opções no mercado da construção civil para fins de utilização na envoltória.

A condutividade térmica fornece uma indicação da taxa de energia transferida para um corpo e dependente da estrutura física da matéria, atômica e molecular (INCROPERA et al., 2011), sendo um indicador das trocas de calor pela envoltória das edificações, de forma que o seu conhecimento é importante para o estabelecimento de estratégias que viabilizem conforto térmico e habitabilidade (OLARTECHEA et al., 2015).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é relacionar as propriedades de densidade de massa aparente e condutividade térmica de argamassas convencionais e não convencionais, por meio de revisão sistemática.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática buscou artigos, teses e monografias no Portal CAPES, ScienceDirect, Google Acadêmico, universidades, livros e normas.

Os descritores da pesquisa foram: argamassa, revestimento, condutividade térmica e densidade de massa aparente. O critério de seleção dos trabalhos foi o fato de apresentarem valores de densidade de massa aparente e condutividade térmica.

Neste trabalho, argamassas convencionais (comuns, tradicionais) são aquelas comumente utilizadas em obras correntes, podendo ser dosadas com aglomerante do tipo aéreo (cal e gesso), hidráulica (cal hidráulica ou cimento) ou ainda mistas (usualmente cal aérea e cimento). As argamassas não convencionais (não tradicionais) são as comuns que receberam em sua composição algum material inerte ou não com a finalidade de modificar as suas propriedades físico-mecânicas e térmicas.

Aplicaram-se aos dados catalogados, estatística de análise de agrupamento, que permite definir grupos homogêneos ou relativamente compactos em função de suas similaridades.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A revisão sistemática conduziu à pré-seleção de 54 trabalhos. Após aplicação do critério de seleção, obtiveram-se 25 trabalhos, dos quais foram catalogadas 152 tipos de argamassas, com diferentes dosagens

convencionais e não convencionais (Quadros 1 e 2).

4.1 Valores das normas

A NBR 15520-2 (ABNT, 2003) apresenta propriedades térmicas de materiais, denominados comuns. A norma não apresenta os traços, apenas valores genéricos de densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico (Quadro 1: A1, B4 e E36) e, cita argamassa de gesso com agregados leves, considerada neste trabalho como não convencional (Quadro 2: D36, D37).

A norma chilena (NCh 853, 2007) é ainda mais restrita, apresentando dois tipos de argamassas, de cimento e de cal e bastardos, ambas convencionais (Quadro 1: C16 e F49).

A norma argentina (IRAM 11601, 2002) mantém o conceito de normatizar apenas as argamassas convencionais (Quadro 1: C15, D34, D35, E39, F46), com exceção da que utiliza perlita, considerada neste trabalho, como não convencional (Quadro 2: C30).

Em Portugal, a ITE50 (SANTOS e MATIAS, 2006) apresenta valores convencionais de condutividade térmica das argamassas representativos da vida útil. As argamassas dividem-se em tradicionais (Quadro 1: H54, H55, H56) e não tradicionais (Quadro 2: P86 a P91), sendo que a denominada argamassa de cimento, cal e areia e argamassa bastarda, neste estudo, foi considerada como convencional (Quadro 1: F50).

A norma americana (ASHRAE, 2013) apresenta três valores de condutividade de argamassas convencionais, de cimento e cal, sendo sua determinação feita em função da densidade de massa aparente (Quadro 1: C10).

A norma britânica (CIBSE, 2006) apresenta argamassas convencionais (Quadro 1: C26, E41, F48) e não convencionais, como de vermiculita e de cimento com fibras de madeira (Quadro 2: D35, P85).

Pela análise das normas, nota-se que as mesmas abordam os valores das argamassas convencionais consagradas pelo uso e literatura. A referência às não convencionais se restringe àquelas com uso de agregados leves (vermiculita ou perlita expandida).

4.2 Valores de livros

Akutsu, Sato e Pedroso (1987) apresentam os valores das argamassas convencionais (de cal, cimento, cimento e areia, de gesso, de gesso com agregado de areia) (Quadro 1: C13, C14 e E40) e das argamassas não convencionais (de gesso com agregado de perlita, gesso com agregado vermiculita) (Quadro 2: C32 e D34).

Frota e Schiffer (2001), apresentam argamassas convencionais (Quadro 1: B5, B6, B7, E37, E38, F42, F43, F44), e não incluem materiais não convencionais.

INCROPERA et al. (2011) traz as propriedades da argamassa de gesso branco com vermiculita (Quadro 2: D33).

4.3 Valores de pesquisas recentes

Enquadram-se aqui argamassas com cortiça, poliuretano expandido (EPS), perlita, vermiculita, poliestireno (PE), resíduo de carvão, cinzas de combustível pulverizado, pedras-pome e escoria de alto forno (Quadro 2: A, B, C, D, E, F, G, H e I, respectivamente).
Atualmente, além dos materiais isolantes térmicos usuais, utilizam-se materiais alternativos em substituição ao aglomerante ou agregado miúdo, tais como resíduos de pó-de-serra, raspa de pneu (borracha de butadieno estireno), Polietileno Tereftalato (PET), raspa de madeira, casca de arroz e sisal (Quadro 2: J, K, L, M, N e O, respectivamente).

Quadro 1 – Densidade e condutividade térmica de argamassas convencionais.

Argamassas Convencionais	**δ** Kg/m³	**λ** W/m°C	**Referência**
A. Argamassa Comum			
1. Comum	1800–2100	1,15	NBR 15220 (2003)
2. Comum com areia	2000	1,15	CARRARO (2015)
3. REF 1:3 cimento/areia; a/c=0,6	2031	0,74	CORINALDESI, MAZZOLI e MORICONI (2011)
B. Argamassa Celular			
4. Celular	600–1000	0,40	NBR 15220 (2003)
5. Celular 1	600	0,30	FROTA e SCHIFFER (2001)
6. Celular 2	1000	0,51	
7. Celular 3	1400	0,81	
C. Argamassa de Cimento			
8. Cimento e areia 1:5,5	1893	1,04	TINKER e O'ROURKE (1994)
9. CB (cimento e areia)	2034	1,70	LEAL (2012)
10. Cimento, agregado e areia	1860	0,72	ASHRAE (2013)
11. Cimento, areia e água (1:4:0,4)	1850	0,65	ALVES,PIETROBON e PIETROBON (1999)
12. Cimento, areia e água (1:3:0,55)	1915	0,68	
13. Cimento e areia	1865	0,72	AKUTSU, SATO e PEDROSO (1987)
14. Cimento e areia	1790	0,79	
15. Cimento e areia	1900	0,89	IRAM 11601(2002)
16. Cimento	1600	0,87	NCh 853 (2007)
17. Cimento: argamassa de areia 1:2 mix, 3.4% MC by vol.	2041	1,08	CLARKE (1990)
18.Cimento: argamassa de areia 1:3 mix, 3.4% MC by vol.	1998	0,99	
19.Cimento: argamassa de areia 1:4 mix, 3.4% MC by vol.	1949	1,03	
20.Cimento: argamassa de areia 1:6 mix, 3.4% MC by vol.	1893	0,97	
21.Cimento: argamassa de areia 1:7 mix, 3.4% MC by vol.	1844	0,88	
22. Cimento: argamassa de areia 1:8 mix, 3.4% MC by vol.	1852	0,79	
23. De cimento 1	2000	1,40	
24. De cimento 2	1648	0,72	
25. De cimento 4	1900	1,50	
26. De cimento	1650	0,72	GIBSE (2006)
27. M0 (cimento e areia)	1650	0,38	LUGUORI e LUCOLANO (2014)
28.P0 (cimento e areia)	2142	0,42	TAOUKIL et al (2011)

Continuação Quadro 1.

D. Argamassa de Cimento para Alvenaria			
29.Cimento de alvenaria: argamassa de areia 1:2 mix, 3.4% MC por vol.	1928	1,01	CLARKE (1990)
30.Cimento de alvenaria: argamassa de areia 1:4 mix, 2.3% MC por vol.	1878	0,89	
31.Cimento de alvenaria: argamassa de areia 1:5 mix, 2.4% MC por vol.	1858	0,85	
32.Cimento de alvenaria: argamassa de areia 1:6 mix, 2.1% MC por vol.	1810	0,80	
33.Cimento de alvenaria: argamassa de areia 1:7 mix, 1.7% MC por vol.	1776	0,77	
34. Para reboco de juntas (exterior)	1800–2000	1,16	IRAM 11601(2002)
35. Para reboco de juntas (interior)	1900	0,93	
E. Argamassa de Gesso			
36. De gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	NBR 15220 (2003)
37. De gesso (ou de cal e gesso)	1000	0,53	FROTA e SCHIFFER (2001)
38. De gesso (ou de cal e gesso)	1200	0,70	
39. De gesso e areia	1500	0,65	IRAM 11601 (2002)
40. De gesso com agregado de areia	1680	0,81	AKUTSU, SATO e PEDROSO (1987)
41. De cimento, gesso e areia	1860	0,72	GIBSE (2006)
F. Argamassa de Cal			
42. De cal ou cimento	1600	0,65	FROTA e SCHIFFER (2001)
43. De cal ou cimento	1800	0,85	
44. De cal ou cimento	2000	1,05	
45.Cimento, cal e areia (1:1:6)	1783	0,85	TINKER e O'ROURKE (1994)
46. De cal e gesso	1200	0,64	IRAM 11601 (2002)
47. De cal	1600	0,70	AKUTSU, SATO e PEDROSO (1987)
48. De cal e cimento	1600	0,80	GIBSE (2006)
49. Argamassa bastarda de cal	1600	0,87	NCh 853 (2007)
50. De cal e areia ou de argamassa bastarda	1600	0,80	SANTOS e MATIAS (2006)
G. Argamassa com Diferentes Tipos de Areia			
51.Areia fina siltosa	1928	1,09	STANCATO (2000)
52.Areia média quartzosa	2001	1,17	
53.Areia fina quartzosa	1828	0,95	
H. Outras Argamassas			
54. Tradicional	1900	1,30	SANTOS e MATIAS (2006)
55. Tradicional	2000	1,80	
56. PM (argamassa padrão)	1815	0,68	

Fonte: Os autores

Quadro 2 – Densidade e condutividade térmica de argamassas não convencionais.

Argamassas Não Convencionais	**δ** Kg/ m³	**λ** W/m °C	**Referência**
A. Argamassa com adição de Cortiça			
1.CC10 (cimento, 90% areia , 10% cortiça)	1911	1,47	LEAL (2012)
2.CC20 (cimento, 80% areia, 20% cortiça)	1706	1,31	
3.CC40 (cimento, 60% areia, 40% cortiça)	1668	1,06	
4.CC40* (cimento, 60% areia, 40% cortiça)	1666	1,14	
5.CC50 (cimento, 50% areia e 50% cortiça)	1589	0,74	
6.CC50* (cimento, 50% areia, 50% cortiça)	1579	0,68	
7.CC70 (cimento, 50% areia e 50% cortiça)	1377	0,54	
8.CC70* (cimento, 30% areia, 70% cortiça)	1218	0,48	
9.CC70** (cimento, 30% areia, 70% cortiça)	1205	0,41	
10. CC80 (cimento, 20% areia, 80% cortiça)	1288	0,49	
11. CC80* (cimento, 20% areia, 80% cortiça)	1243	0,47	
12. Argamassa de reboco com cortiça	910	0,16	FRADE (2010)
13. Argamassa de alvenaria com cortiça	860	0,12	
14. CH 40% areia+ 60% R1	1195	0,29	MARTINS (2010)
15. CH 40% areia+ 60% R2	1151	0,28	
16. CH+C 40% areia+ 60% R1	1238	0,44	
17. CH+C 40% areia+ 60% R2	1199	0,36	
18. CH+C 20% areia+40% R1+40% R3	919	0,22	
19. CH+C 20% areia+40% R2+40% R3	846	0,20	
20. CH+C 30% R1+70% R3	581	0,11	
B. Argamassa com adição de poliruetano expandido (EPS)			
21. CE10 (cimento, 90% areia e 10% EPS)	1959	1,07	LEAL (2012)
22. CE20 (cimento, 80% areia e 20% EPS)	1814	1,02	
23. CE40 (cimento, 60% areia e 40% EPS)	1610	0,87	
24. CE50 (cimento, 50% areia e 50% EPS)	1587	0,80	
25. CE70 (cimento, 30% areia e 70% EPS)	1368	0,75	
26. CE70* (cimento, 30% areia e 70% EPS)	1385	0,56	
27. CE80 (cimento, 20% areia e 80% EPS)	1323	0,66	
28. Reboco térmico (cimento, EPS, água)	340	0,09	FRADE et al. (2010)
29. Reboco térmico melhorado (nova fórmula)	250	0,07	GONÇALVES, FRADE e BRITES (2012)
C. Argamassa com adição de Perlita			
30. Argamassa com perlita	600	0,19	IRAM 11601 (2002)
31. Argamassa térmica com argila e perlita expandida	900	0,16	CARRARO(2015)
32. Gesso com agredado de perlita	720	0,22	AKUTSU, SATO e PEDROSO, (1987)
D. Argamassa com adição de vermiculita			
33. Gesso branco e vermiculita	720	0,25	INCROPERA et al. (2014)
34. Gesso com agregado de vermiculita	720	0,24	AKUTSU, SATO e PEDROSO, (1987)
35. Gesso e vermiculita	720	0,20	GIBSE (2006)
36. Gesso com agregado leve (vermiculita ou perlita exp.) 1:1	800	0,30	NBR 15220 (2003)
37. Gesso com agregado leve (vermiculita ou perlita exp.) 1:2	600	0,25	

Continuação Quadro 2.

E. Argamassa com adição de Poliestireno			
38. PU 10% (água, cimento, 90% areia e 10% poliestireo)	1895	0,65	CORINALDESI, MAZZOLI e MORICONI (2011)
39. PU 30% (água, cimento, 70% areia e 30% poliestireo)	1621	0,60	
40. PU 10% +LP (água, cimento, 90% cimento, 10% poliestireno e cal)	2090	0,70	
F. Argamassa de resíduos de carvão			
41. Cimento/areia/ resíduos de carvão 1:5.5	1245	0,37	TINKER e O'ROURKE (1994)
42. Cimento/cal e areia/ resíduos de carvão 1:1:6	1199	0,30	
G. Argamassa com adição de Cinzas de Combustível Pulverizado			
43. Cimento/ areia e cinzas de comb. pulv. 1:5,5	1374	0,42	
44. Cimento/cal/areia e cinzas de comb. pulv. 1:1:6	1219	0,29	
H. Argamassa com adição de Pedra-pomes			
45. Cimento/areia epedras-pome 1:5,5	1230	0,32	
46. Cimento, cal e areia/pedras-pome 1:1:6	960	0,25	
I. Argamassa com adição de escória de alto forno			
47. Cimento/areia e residuo de escória de alto forno 1:5,5	1750	0,39	
48. Cimento, cal, areia e residuo de escória de alto forno 1:1:6	1532	0,33	
J. Argamassa com Agregado Vegetal (pó-de-serra)			
49. 1:0,6:1,50 CPV-ARI (cimento/agregado vegetal/água)	916	0,19	STANCATO (2000)
50. 1:0,6:1,28 CPV-ARI	1004	0,21	
51. 1:0,4:1,38 CPII-E	825	0,22	
52. 1:0,4:0,84 CPII-E	1120	0,25	
53. 1:0,4:1,36 CPV-ARI	1037	0,22	
54. 1:0,4:0,84 CPV-ARI	1209	0,26	
K. Argamassa com adição de Putadieno Estireno (Borracha)			
55. 10M#10-20 (10% de areia subtituido por pneu #10-20)	1756	0,59	FADIEL et al (2014)
56. 20M#10-20 (20% de areia subtituido por pneu #10-20)	1562	0,58	
57. 30m#10-20 (30% de areia subtituido por pneu #10-20)	1430	0,56	
58. 40M#10-20 (40% de areia subtituido por pneu #10-20)	1269	0,54	
59. 10M#30 (10% de areia subtituido por pneu #30)	1669	0,56	
60. 20M#30 (20% de areia subtituido por pneu #30)	1440	0,54	
61. 30M#30 (30% de areia subtituido por pneu #30)	1305	0,52	
62. 40M#30 (40% de areia subtituido por pneu #30)	1106	0,51	
63. 10MMix (10% de areia subtituido pneu #30 e #10-20)	716	0,56	
64. 20MMix (20% de areia subtituido pneu #30 e #10-20)	1497	0,51	
65. 30MMix (30% de areia subtituido pneu #30 e #10-20)	1381	0,50	
66. 40MMix (40% de areia subtituido pneu #30 e #10-20)	1238	0,49	
L. Argamassa com adição de Polietileno Tereftalo (PET)			
67. PET 0 (cimento e areia)	2280	1,45	BENOSMAN et al (2013)
68. PET 2.5 (cimento, areia e 2.5% PET)	2230	1,41	
69. PET 5 (cimento, areia e 5% PET)	2220	1,34	
70. PET 2.5 (cimento, areia e 7.5% PET)	2210	1,29	
71. M10 (cimento, 90% areia e 10% plástico reciclado)	1420	0,27	LUGUORI e LUCOLANO (2014)
72. M15 (cimento, 85% areia e 15% plástico reciclado)	1300	0,23	
73. M20 (cimento, 800% areia e 20% plástico reciclado)	1230	0,20	
74. M25 (cimento, 75% areia e 25% plástico reciclado)	1060	0,18	
75. M33 (cimento, 67% areia e 33% plástico reciclado)	900	0,13	
M. Argamassa com adição de raspa de madeira			
76. P1 (cimento, areia e raspa de madeira)	1977	0,33	TAOUKIL et al (2011)
77. P2 (cimento, areia e raspa de madeira)	1877	0,29	
78. P3 (cimento, areia e raspa de madeira)	1809	0,27	

Continuação Quadro 2.

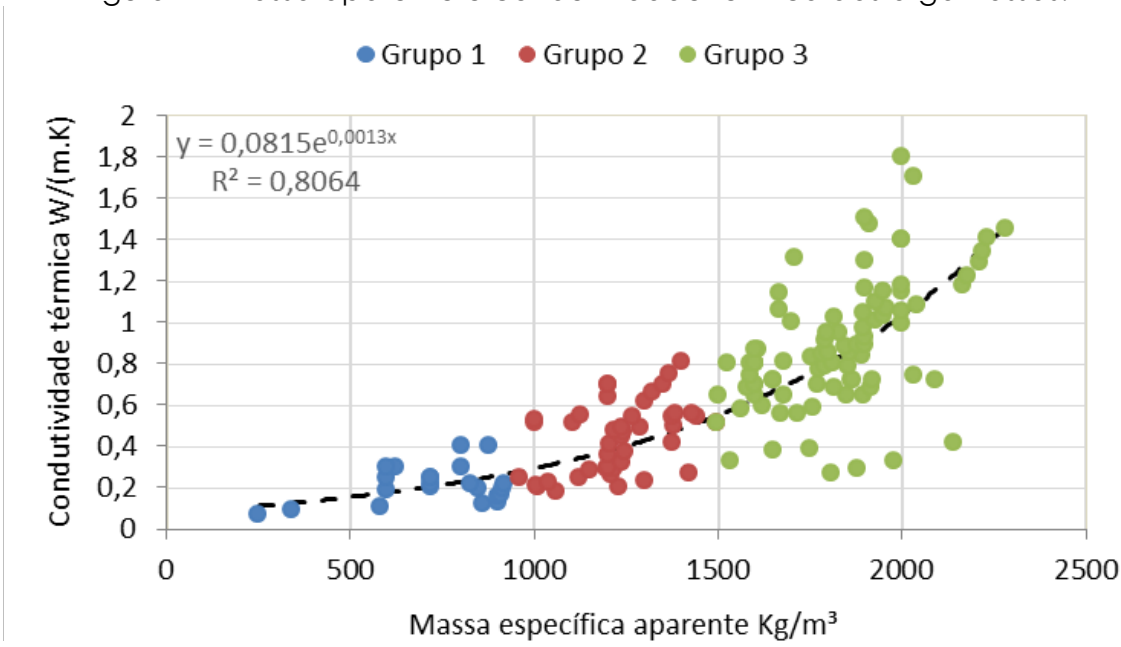
N. Argamassa com adição de casca de arroz			
79. 1:0,28:0,65 (cimento, casca de arroz, água) – 4,5 de areia + pó de pedra com adição de 3% de polímero	1752 1795	0,83 0,95	STANCATO (2006)
80. 1:0,28:0,65 (cimento, casca de arroz, água) – 4,5 de areia + pó de pedra com adição de 5% de polímero	1790 1770	0,91 0,70	
O. Argamassa com adição de sisal			
81. 1:0,08:0,60 (cimento, sisal, água) – 4,5 de areia + pó de pedra com adição de 3% de polímero	2167 2177	1,18 1,22	
P. Outras Argamassas			
82. Termoacústica com fibras naturais e areia	1300	0,62	CARRARO (2015)
83. Térmica com micaxisto e argila	1010	0,20	
84. De cal hidráulica	1600	0,80	MARTINS (2010)
85. De pedra calcária	1600	0,70	GIBSE (2006)
86. Não tradicional	625	0,30	SANTOS e MATIAS (2006)
87. Idem	875	0,40	
88. Idem	1125	0,55	
89. Idem	1350	0,70	
90. Não tradicional	1525	0,80	
91. Não tradicional	1700	1,00	

Fonte: Os autores

4.4 Massa aparente e condutividade térmica

As variáveis foram relacionadas por meio de análise de regressão, que indicou melhor ajuste dos dados por meio exponencial (Figura 1), com coeficiente de correlação 0,80, indicando que 80% dos dados explicam o modelo determinado e que há tendência de elevação da condutividade térmica à medida que os traços tendem a elevar a densidade de massa aparente das argamassas.

Figura 1 – Massa aparente e condutividade térmica das argamassas.



Fonte: Os autores

A análise de agrupamento indicou três grupos distintos com características similares em relação às variáveis. O Grupo 1 compreende argamassas com baixas densidade de massa aparente (250 a 800kg/m^3) e condutividade térmica (0,07 a 0,40W/mºC), do tipo não convencionais com cortiça, perlita, vermiculita, celular, PET, agregado vegetal (Figura 1).

O Grupo 2 compreende as que apresentam intermediárias de densidade massa aparente (900 a 1500kg/m^3) e condutividade térmica (0,18 a 0,80W/mºC). Entre as convencionais, apenas as argamassas de gesso/cal com areia. Contêm muitas argamassas não convencionais, com cinzas de combustível pulverizado, resíduo de carvão, pedras-pome, agregado vegetal, PET, cortiça com dosagens de areia e com poliruetano expandido e putadieno estireno.

O Grupo 3 compreende as argamassas de elevadas densidade de massa aparente (>1500kg/m^3) e condutividade térmica (0,30 a 1,8W/mºC), compostas pelas convencionais (cimento e areia ou cimento, cal e areia) e não convencionais (de escoria de alto forno e aquelas com substituição de cimento ou areia por cortiça, PU, EPS, PET e agregado vegetal).

As faixas de condutividade térmica definidas ficaram sobrepostas devido à utilização de agregados com diferentes massas aparentes, visto que esta propriedade relaciona-se com o transporte de calor em nível de estrutura molecular destes materiais. As dosagens utilizando materiais leves ou alternativos reduzem não só a massa aparente, como alteram a porosidade e o índice de vazios, justificando as variações na condutividade térmica nas pesquisas utilizadas como referência.

5 CONCLUSÕES

A catalogação permitiu a identificação de três grupos de argamassas: as do tipo não convencionais, de baixas massa aparente e condutividade térmica e, do tipo convencionais e não convencionais, as com intermediárias massa aparente e condutividade térmica e as com elevadas massa aparente e condutividade térmica, sendo estas duas últimas.

Tendo em vista a variação da condutividade térmica nos grupos, sugere-se em futuros trabalhos a utilização da equação como forma de uma estimativa inicial desta propriedade, a partir da sua massa aparente.

Como a norma brasileira dispõe de dados de condutividade térmica restritos sugere-se que os dados deste estudo possam servir de referência para preencher esta lacuna da atual versão da norma.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PIBIC/UFMT e a FAPEMAT pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AKUTSU, M.; SATO, N. M. N.; PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1987.

ALVES, S. M.; PIETROBON, C. L. R.; PIETROBON, C. E. Determinação da condutividade térmica de materiais da construção civil e sua variação com umidade e densidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5.; ENCONTRO LATINO AMERICADO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1999, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 1999.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook-Fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Capítulo 25: Dados de transmissão térmica e vapor d'água. 2013.

BENOSMAN, A. S.; MOULI, M.; TABI, H.; BELBACHIR, M.; SENHADJI, Y.; BAHLOULI, I. M.; HOUIVET, D. **Effect of addition of PET in the thermal properties of polymer-mortar composite materials.** França, 2013.

BONIN. L. C. **Terminologia de Argamassas**. Disponível em: http://www.gtargamassas.org.br/images/phocadownload/Terminologia_de_Argamassas_-_GTA_-_VIII_SBTA.pdf. Acesso em: 18 jun. 2016.

CARRARO, T. F. **Análise do desempenho térmico de argamassas com propriedades térmicas**. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE. **Guide A: Environmental design** (7th edition). London, 2006.

CLARKE, J. A. **The Harmonisation of thermal properties of building materials**. BEPAC Research Report. BRE Publication. 1990.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. **Materials and Design**, v.32 p.1646–1650**,** 2011.

FRADE, D. F.; GONÇALVES, P. J.; NASCIMENTO, R. S.; SEQUEIRA, A. C. **Argamassa de Reboco com Características Térmicas. Congresso Português de Argamassas de Construção.** Lisboa, 2010. Disponível em: http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2070_2010.pdf. Acesso em: 24 mar. 2016.

FRADE, D.; TADEU, A.; TORRES, I.; MENDES, P. A.; SIMÕES, N.; MATIAS, G.; NEVES, A. **Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça**. In: Congresso Português de Argamassas de Construção. Coimbra, 2012. Disponível em:

http://www.apfac.pt/congresso2012/comunicacoes/Paper%20100_2012.pdf. Acesso em: 24 mar. 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5º edição. Studio Nobel: São Paulo, 2001.

GONÇALVES, P. J.; FRADE, D. F.; BRITES, J. **Argamassas térmicas - Uma solução no cumprimento do RCCTE.** Congresso Português de Argamassas de Construção. Coimbra, 2012. Disponível em: http://www.apfac.pt/congresso2012/ comunicacoes/Paper%2084_2012.pdf. Acesso em 24 mar. 2016.

INCROPERA, F. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 7º edição. Rio de Janeiro: LTC, 2014, p. 629.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMATIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. IRAM 11601:2002 – **Aislamiento térmico de edificios – Métodos de cálculo.** Buenos Aires, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACION – INH – Chile. **NCh 853.Of2007 - Acondicionamento térmico – Envolvente térmica de edificios – Calculo de resistencias y transmitancias térmicas**. Chile, 2007.

LEAL, M. M. R. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado.** Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal. 2012.

MARTINS, M. F. S**. Performance of plastering mortars with regranulated of expanded cork**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

OLARTECHEA, M. S. ; CALLEJAS, I. J. A. ; DURANTE, L. C. ; ROSSETI, K. A. C; LIMA, M. J. S. Impactos da incorporação de diretrizes construtivas bioclimáticas no desempenho termoenergético de habitação de interesse social (ZB 07). In: ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13.; Encontro Nacional e ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2015, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015. p. 1-9.

SANTOS, C. A. P.; MATIAS, L. **Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. ICT Informação técnica. Edifícios – ITE 50. Lisboa, 2006.

STANCATO, A. C. **Determinação da condutividade térmica e da resistência mecânica em argamassa leve**. Dissertação (Mestrado). 155p. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

STANCATO, A. C. **Caracterização de compósitos à base de resíduos vegetais e argamassa de cimento modificada pela adição de polímeros para a fabricação de blocos vazados**. Tese (Doutorado). 209p. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

TAOUKIL, D.; EL BOUARDI, A.; AJZOUL, T.; EZBAKHE, H. Effect of incorporation of wood on thermo physical proprieties on sand mortars. **KSCE Journal of civil engineering.** 2011.

TINKER, T. A.; O'ROURKE, A. **Using waste materials as an agregate in low thermal conductivity mortars**. CIB TG 16, Sustainable Construction, Tampa, Florida, USA, p.415-423, 1994.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE PISOS FLUTUANTES COM PLACAS CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE EVA[1]

MELO, André Siqueira Souto (1); SANTOS, Fabianne Azevedo dos (2); MEDEIROS, Jéssica Laís Alves (3); MELO, Aluísio Braz de (4)

(1) UFPB, e-mail: andre_ssm@hotmail.com; (2) UFPB, e-mail: fabianne_as@hotmail.com; (3) UFPB, e-mail: ajessicalais@gmail.com; (4) UFPB, e-mail: aluisiobmelo@hotmail.com

RESUMO

Os ruídos de impacto entre pisos têm se tornado um problema de convivência entre vizinhos de unidades habitacionais, posicionadas em pavimentos distintos. Em muitos casos, é imprescindível a instalação de pisos flutuantes para conseguir classificar os sistemas de pisos quanto ao desempenho acústico mínimo, intermediário ou superior, conforme os requisitos previstos na NBR 15.575-3: 2013. Os estudos com sistemas de piso flutuante com placas cimentícias com resíduos de EVA (gerados pela indústria de calçados), como material resiliente entre a laje e o contra piso, têm demonstrado o potencial de aplicação desse material. Esse artigo apresenta avanços, propondo um índice de desempenho acústico a ruído de impacto para inferir a eficiência do material e; o desenvolvimento de uma nova placa cimentícia com EVA, que se diferencia das demais, avaliadas em estudo anterior, quanto à produção com menor consumo de cimento, alcançando menor densidade e menor espessura. A avaliação do nível de isolamento acústico a ruídos de impacto das amostras comparadas foi realizada em câmara acústica, em laboratório. Com base nos resultados obtidos, todas as placas de EVA avaliadas se classificaram com desempenho intermediário, sendo que a placa proposta se mostrou mais eficiente após o teste de aplicação do índice proposto.

Palavras-chave: Resíduo de EVA. Piso flutuante. Eficiência. Ruído de impacto.

ABSTRACT

The impact noise between the floors has become a problem of coexistence between neighboring housing units, positioned at different floors. In many cases, it is essential the installation of floating floors to get flooring systems classified as the minimum acoustic performance, intermediate or superior, based on the NBR 15575-3: 2013 requirements. Studies with floating floor systems with cement boards with waste of EVA (generated by the footwear industry), as resilient material between the slab and the counter floor, have demonstrated this material potential application. This paper presents advances by proposing an acoustical impact noise index to infer the efficiency of the material and; the development of a new cementitious board with EVA, which differs from the others, evaluated in a previous study, regarding the production consuming less cement, achieving lower density and lower thickness. The impact noise acoustic isolation level evaluation of comparative samples was performed in an acoustic chamber, in laboratory. Based on these results, all EVA boards

[1] MELO, André Siqueira Souto; SANTOS, Fabianne Azevedo dos; MEDEIROS, Jéssica Laís Alves; MELO, Aluísio Braz de. Avaliação da eficiência de pisos flutuantes com placas cimentícias com resíduo de EVA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

evaluated were classified as intermediate performance, and the new board resulted as more efficient when applied to the proposed index.

***Keywords**: EVA waste. Floating floor. Efficiency. Impact noise.*

1 INTRODUÇÃO

A partir da NBR 15.575-3 (ABNT, 2013), as novas construções precisam atender os requisitos de desempenho, entre os quais aqueles relativos ao nível de isolamento de ruído de impacto entre pisos de edificações multipavimentos. Sabe-se que o ruído de impacto entre pisos nesse tipo de edifício se propaga pela laje, alcança as paredes, chega até os ambientes do pavimento inferior e pode ser atenuado a partir da execução de um projeto de sistema de piso flutuante, que é uma concepção baseada em utilizar um material resiliente entre o contrapiso e a laje estrutural do edifício. Esse material resiliente serve como amortecedor dos ruídos, isolando o piso da sua estrutura de apoio, sendo importante evitar pontos rígidos de contato entre eles e, consequentemente, as indesejáveis pontes acústicas, por onde podem passar os ruídos para o ambiente adjacente no pavimento inferior.

Pesquisas indicam que o desempenho das lajes utilizadas nas edificações ainda precisam se adequar às exigências das normas vigentes, avaliando-se caso a caso. Segundo Pereyron (2008), o tipo de laje pode influenciar no desempenho quanto ao isolamento de ruído de impacto. Em seu estudo, realizou análises comparativas quanto ao desempenho do isolamento acústico de tipologias de lajes, submetidas a ruído de impacto e concluiu que, segundo a classificação normativa utilizada no Brasil, na época da vigência da NBR 15.575-3:2008, as tipologias de laje maciça, laje nervurada e a laje pré-moldada treliçada atingiram um nível de desempenho intermediário, enquanto a laje pré-moldada convencional se classificou como o nível mínimo.

De acordo com Hax (2002), o aproveitamento do resíduo de EVA na moldagem de placas cimentícias com diferentes espessuras e composições, com objetivo de atenuar ruído de impacto em pisos, demonstra potencial com bom desempenho como material resiliente. O EVA (Etileno Acetato de Vinila) é um polímero utilizado na indústria calçadista para a confecção de solados e palmilhas internas de calçados. Quando as grandes placas de EVA expandidas são cortadas para produzir os formatos dos calçados, geram-se retalhos, que são pouco reaproveitados na própria indústria. Hax (2002) confeccionou placas de cimento/EVA, no traço 1:5, com 2,5 cm de espessura e analisou-as quanto ao ganho na atenuação dos ruídos de impacto. Com base nesse estudo, a autora concluiu que o sistema de piso flutuante com placas cimentícias com EVA quando comparado à laje maciça sem nenhum material resiliente, a atenuação dos ruídos de impacto foi de 12 dB. Hax (2002) ressalta que quanto maior a espessura do material resiliente, mais eficaz é o desempenho do sistema de piso flutuante. Com o estudo de Hax (2002), é possível perceber o bom aproveitamento do resíduo de EVA para que se consiga a diminuição do impacto ambiental produzido

pelos aterros e depósitos de resíduos oriundos da indústria calçadista.

Leal et al (2013) também avaliaram o desempenho acústico de concreto com resíduos de EVA para reduzir ruídos de impactos em pisos. Nesse estudo, utilizaram três dosagens para a fabricação das placas cimentícias com EVA (50 cm x 50 cm x 3 cm), sendo uma delas com 80% e as outras duas com 70% e 60% de agregado graúdo de EVA. Os resultados indicaram que as amostras com 80% e 60% desse agregado apresentaram número global (L'nT,w) de 56 dB e 62 dB, respectivamente, mostrando uma melhora de 6 dB no isolamento acústico na medida em que se aumentou o teor de EVA.

Santos (2013) desenvolveu placas cimentícias, executadas com agregados de resíduos de EVA ($D_{máx}$ = 4,8 mm), aplicados como material resiliente na composição de sistemas de piso flutuante. Comparou placas (largura x comprimento = 35 cm x 35 cm) de EVA com configurações diferentes, em termos de espessura total e geometrias: uma delas com todas as superfícies planas (2,5 cm de espessura) e outras duas (espessura total igual a 3,5 cm e 5,0 cm, respectivamente) com uma das superfícies com baixos relevos parciais, de modo a gerar alguns bolsões de ar (alturas iguais a 1,0 cm e 2,5 cm) entre tais placas e a laje estrutural pré-moldada convencional (12 cm de espessura). O desempenho das placas de EVA propostas foi comparado com alguns materiais disponíveis no mercado (manta de polietileno e lã de rocha) para uso em pisos flutuantes. As placas propostas (cimentícias com EVA), com e sem bolsões de ar, se classificaram com desempenho intermediário, de acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), sendo, ainda, confirmada a eficiência da camada de ar incorporada ao sistema de piso flutuante, quanto a sua contribuição para aumentar o nível de isolamento acústico em até 2 dB. Contudo, os sistemas com bolsões de ar têm repercussões na altura total do sistema de piso, o que pode limitar a sua aplicação.

De acordo com as referências, a ideia da reciclagem dos resíduos de EVA, com a possibilidade de terem aplicação para correção acústica nos edifícios multipavimentos, se enquadra como uma proposta autossustentável, cujo grande desafio é garantir conforto ambiental, racionalizar o uso da energia, respeitar o meio ambiente e utilizar recursos renováveis nos processos da construção civil.

O presente trabalho sistematiza os resultados parciais do estudo que procura dar continuidade às avaliações que utilizam placas cimentícias com resíduo de EVA. Então, o objetivo é investigar novos processos para confeccionar placas, sem bolsões de ar, com menores espessuras, com menores consumos de cimento Portland e com menor densidade. Nesse processo, são feitas comparações entre a nova placa proposta e aquelas desenvolvidas no estudo de Santos (2013), considerando as diferenças no processo de produção, nas geometrias e nas propriedades físicas e acústicas resultantes. Adicionalmente, faz-se uma proposta de um "Índice de Desempenho Acústico RI (ruído de impacto)", cujo cálculo relaciona as seguintes variáveis: densidades superficiais (kg/m^2) e espessuras (cm) dos materiais resilientes e

nível de isolamento de ruído de impacto (dB) dos respectivos sistemas de pisos flutuantes.

2 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo consistem, inicialmente, na adoção de novo processo de moldagem das placas cimentícias com EVA a serem testados como material resiliente, que se diferencia daquelas feitas no estudo de Santos (2013). Logo, no presente estudo, as diferenças são basicamente na dosagem do compósito com menor proporção entre os materiais (cimento: EVA; 1:8, em volume); na maior carga aplicada durante a prensagem temporária (600 kg, por 60 segundos) do material no interior do molde metálico; nas menores dimensões das placas moldadas (largura x comprimento x espessura: 20 cm x 20 cm x 1,8 cm) e no próprio processo de cura da placa EVA, inicialmente, no interior do molde metálico em câmara úmida, seguido da adoção de secagem forçada da placa em estufa, 24 horas após a sua moldagem.

A moldagem das novas placas foi precedida da caracterização do resíduo de EVA como agregado leve, por meio de ensaio de composição granulométrica, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2013), que resultou no diâmetro máximo de 6,3 mm e, do ensaio de massa unitária, segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006), que resultou em 90,28 kg/m³.

Essas novas placas (denominadas PEVA1,8) foram submetidas a testes de ruído de impacto na mesma câmara acústica (Figura 1) utilizada por Santos (2013), a qual está localizada no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (LABEME-CT-UFPB) e foi construída com alvenaria em solo-cimento, laje pré-moldada convencional de 10 cm de espessura. Os dois pavimentos possuem uma área de 6,87 m², tendo o superior (câmara de emissão) um pé-direito de 2,30 m e o inferior (câmara de recepção), 2,43 m. Objetiva-se, com isso, simular dois ambientes sobrepostos, de forma similar ao estudo de Santos (2013). Nesse caso, foram utilizadas 25 placas (20 cm x 20 cm), formando uma área de 1 m² no piso da câmara de emissão (em laje pré-moldada com nervuras de concreto armado, blocos cerâmicos e capa de concreto), sobre a qual uma placa de argamassa revestida com cerâmica polida, também com 1 m², foi utilizada simulando o contra piso e o revestimento superior do sistema de piso flutuante em teste.

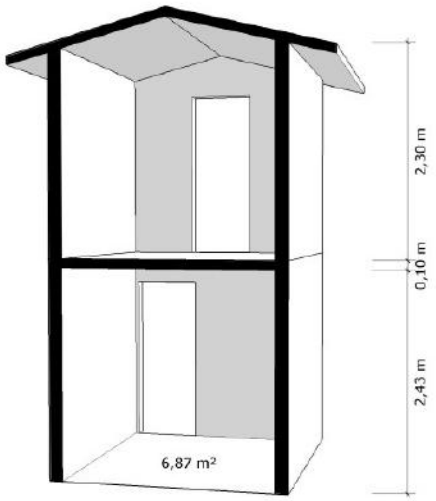
Esse procedimento se enquadra como ensaio simplificado, que utiliza amostra com pequena dimensão, sendo o mesmo validado por diversos autores para analisar o potencial de diferentes materiais resilientes, com ensaios de baixo custo. O teste acústico de ruído de impacto foi realizado segundo a norma ISO 140 – 7 (1998), com as amostras (conjunto de placas PEVA1,8_ar0 e contra piso revestido) posicionadas em quatro pontos distintos no pavimento superior e o analisador acústico também deslocados em quatro pontos distintos no pavimento inferior.

Figura 1 – Câmara acústica utilizada para os ensaios.



a) imagem externa da câmara acústica

Fonte: SANTOS, 2013.



b) corte 3D esquemático da câmara

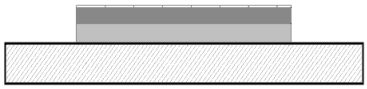
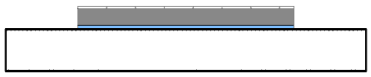
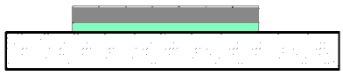
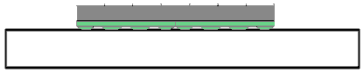
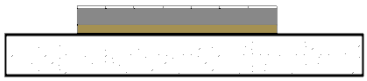
Fonte: Elaboração própria.

Para identificar o número global da amostra em teste foi utilizada a norma ISO 717-2 e, a partir da NBR 15575-3:2013, fez-se a sua classificação quanto ao seu desempenho (mínimo, intermediário ou superior). Por fim, com os dados obtidos e as características das amostras, incluindo aquelas estudadas por Santos (2013), tais como as comerciais (manta de polietileno – MA1,0; e lã de rocha– LR5,0) e as alternativas (PEVA2,5_ar0 e PEVA3,5_ar1, sem e com bolsões de ar de 1 cm entre a placa e a laje estrutural, respectivamente), foi calculado o índice proposto, denominado Índice de Desempenho Acústico RI (IDA_RI), que engloba as variáveis densidade superficial (kg/m^2), espessura (cm) e isolamento acústico de ruído de impacto (dB). Na comparação entre os valores calculados para as amostras alternativas e comerciais, procurou-se identificar qual a melhor relação entre desempenho acústico desejável de cada material em análise e o seu menor impacto em outros aspectos construtivos, como, por exemplo, em relação à altura total do sistema do piso flutuante.

3 RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta, em destaque, o resultado de desempenho acústico obtido com a amostra PEVA1,8_ar0, juntamente com aqueles obtidos no estudo de Santos (2013), onde se pode verificar o número global (L'nT,w), em dB, de cada sistema comparado. O nível de isolamento de ruído de impacto dos sistemas de pisos flutuantes representa a diferença entre o número global de cada um em relação à amostra de referência, que é o sistema sem material resiliente.

Tabela 1 – Número global das amostras (L'nT,w), nível de isolamento e desempenho acústico quanto a ruído de impacto

Amostras	**Especificaçãodo sistema de piso flutuante**	**L´nT,w (dB)**	**Nível de isolamento de ruído de impacto (dB)**	**Desempenho**
Referência[1] REF		75	0	Mínimo (M)
LR5,0		50	25	Superior (S)
MA1,0		57	18	Intermediário (I)
PEVA2,5_ar0		62	13	Intermediário (I)
PEVA3,5_ar1		61	14	Intermediário (I)
PEVA1,8_ar0		**61**	**14**	**Intermediário (I)**

Obs.: 1 – A amostra de Referência representa aquele sistema sem material resiliente.

Fonte: Elaboração própria.

Nessa tabela, verifica-se também a classificação para cada amostra, conforme os requisitos previstos na NBR 15575-3:2013. Nota-se que somente o sistema de piso flutuante com a presença de lã de rocha (LR5,0), com espessura de 5,0 cm, atingiu desempenho superior, com nível de isolamento de ruído de impacto igual a 25 dB. Com o sistema com a aplicação da manta de polietileno (MA1,0), com apenas 1,0 cm de espessura, obteve-se nível de isolamento de ruído de impacto igual a 18 dB, sendo classificado com desempenho intermediário, o que também aconteceu com os sistemas com materiais resilientes alternativos com placas cimentícias com EVA, que obtiveram menores níveis de isolamento, entre 13 dB e 14 dB.

A nova placa proposta (PEVA1,8_ar0) com as duas superfícies maiores planas (sem produzir bolsões de ar), com espessura (1,8 cm), que é menor do que as duas placas estudadas por Santos (2013), alcançou o mesmo desempenho e nível de isolamento, inclusive compensando o efeito benéfico do bolsão de ar na atenuação do ruído de impacto.

Algumas características físicas dos materiais resilientes presentes em cada sistema de piso flutuante são destacados na Tabela 2. Os dados mostram como são diferentes as densidades e as espessuras dos materiais resilientes comparados, o que, em certa medida, dificulta a identificação da melhor

combinação para o desempenho e o nível de isolamento ao ruído de impacto desejado.

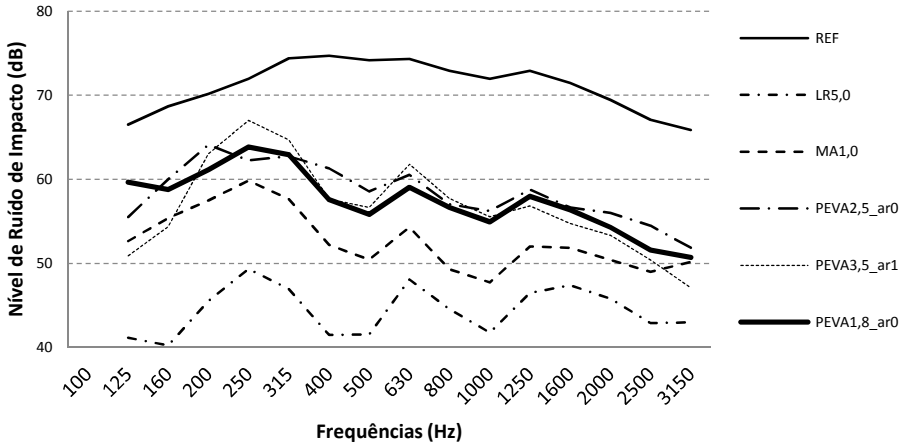
Tabela 2 – Características físicas dos materiais resilientes comparados

	Densidade (kg/m³)	Densidade Superficial (kg/m²)	Espessura (cm)
LR5,0	60,0	3,00	5,0
MA1,0	30,0	0,30	1,0
PEVA2,5_ar0	626,8	15,67	2,5
PEVA3,5_ar1	592,9	20,75	3,5
PEVA1,8_ar0	**388,9**	**7,00**	**1,8**

Fonte: elaboração própria

Quando comparados os resultados mostrados na Figura 2, que exibem os níveis de ruído de impacto correspondentes às frequências, na faixa entre 100 Hz e 3150 Hz, durante os ensaios na mesma câmara acústica, pode-se notar uma aproximação (considerando a linha mediana para cada amostra) entre os valores para os materiais resilientes alternativos, as placas cimentícias com EVA (PEVA2,5_ar0; PEVA3,5_ar1; PEVA1,8_ar0).

Figura 2 – Resultados do nível de ruído de impacto em função das frequências, durante os ensaios.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos materiais comerciais (LR5,0 e MA1,0) é evidente a superioridade do desempenho com menores ruídos de impacto em todas as frequências para a lã de rocha. Cabe o destaque para as amostras PEVA2,5_ar0 e PEVA1,8_ar0 (ambas sem bolsões de ar entre a placa e a laje), que tendem a apresentar o mesmo ruído de impacto nas maiores frequências, inclusive igualando-se ao nível de ruído de impacto da manta de polietileno (MA1,0), na frequência igual a 3150 Hz.

Tal visualização dos resultados (Figura 2) não permite analisar outros fatores, que, certamente, devem influenciar na efetiva comparação entre as amostras. Por exemplo, um aspecto importante parece ser a espessura do material resiliente, que pode resultar num acréscimo indesejável de material e na altura total do sistema de piso flutuante, podendo isso interferir até na

redefinição do pé direito dos apartamentos, que tem sido já muito reduzido, em alguns edifícios residenciais. Nesse caso, pode ser necessário se fazer correções nos projetos, que, por sua vez, podem ter implicações financeiras para o empreendimento. Portanto, parece interessante a ideia de se adotar um mecanismo mais efetivo de comparação entre as diversas opções de materiais resilientes para pisos flutuantes, a fim de analisar as vantagens e desvantagens de cada um, de modo a auxiliar na tomada de decisão nessa especificação.

Então, justifica-se aqui a proposta de criação de um índice de desempenho acústico ao ruído de impacto (IDA_RI) que contemple, de forma proporcional, os fatores que influenciam na execução dos pisos flutuantes. A ideia é multiplicar as variáveis que causam impactos negativos de forma a evidenciar a sua majoração e, posteriormente, dividir o resultado pela variável que causa impacto positivo, a fim de atenuar o prejuízo, de modo que, quanto mais próximo o valor de zero, melhor será o índice.

Sendo assim, são realizados os seguintes cálculos, envolvendo algumas propriedades físicas e acústicas do material em análise: utiliza-se a densidade superficial (massa por metro quadrado) do material resiliente e, em seguida, multiplica-se esse valor pela sua espessura (impactos construtivos negativos); a partir desse resultado, faz-se a divisão pelo respectivo nível de isolamento de ruído de impacto do próprio material (impacto construtivo positivo). O valor resultante é, então, multiplicado por 100, como mostra a equação (1), para se ter um número com melhor visualização nas comparações entre as amostras.

IDA_RI = (densidade superficial x espessura/ nível de isolamento) x 100 (1)

Pela equação, verifica-se que o IDA_RI é inversamente proporcional ao nível de isolamento acústico. Logo, como é desejável se obter o maior nível de isolamento acústico, logicamente, os seus maiores valores representam melhor desempenho. Por outro lado, quanto menor for o índice (IDA_RI) encontrado, melhor será a eficiência do material quanto ao desempenho acústico a ruído de impacto. Portanto, aplicando a equação proposta às amostras aqui estudadas, é possível testar a proposição do índice e verificar a coerência na identificação de qual material tem a melhor relação de eficiência, para ser usado como piso flutuante(Tabela 3).

Em função do IDA_RI calculado (Tabela 3), observa-se que o material resiliente mais eficiente é a manta de polietileno (MA1,0), por apresentar melhor equilíbrio entre as variáveis que compõem o índice. De maneira semelhante, a placa PEVA1,8_ar0 apresenta-se como melhor opção entre os materiais resilientes alternativos, destacando-se os efeitos benéficos do processo de sua moldagem (dosagem, prensagem e cura), que possibilitaram redução na densidade e espessura, mantendo o mesmo desempenho acústico. Esse resultado é encorajador no prosseguimento do

estudo com a placa cimentícia PEVA1,8_ar0, destacando a importância das modificações implementadas no processo de moldagem e nas propriedades físicas resultantes.

Tabela 3 – Cálculo do Índice de Desempenho Acústico a ruído de impacto (IDA_RI)

Amostras	Densidade Superficial (kg/m²)	Espessura (cm)	Nível de Isolamento (dB)	IDA_RI
MA1,0	0,30	1,0	18	1,67
LR5,0	3,00	5,0	25	60,00
PEVA1,8_ar0	**7,00**	**1,8**	**14**	**90,00**
PEVA2,5_ar0	15,67	2,5	13	301,35
PEVA3,5_ar1	20,75	3,5	14	518,75

Fonte: Elaboração própria

Além disso, a partir da aplicação do índice proposto (IDA_RI) percebe-se um grande potencial em facilitar comparações preliminares entre diversos sistemas de pisos flutuantes, com diferentes materiais resilientes, auxiliando na escolha do tipo a ser adotado. Isso mostra a aplicabilidade do índice, considerando ainda a possibilidade de seu aperfeiçoamento, ao adicionar novas variáveis no seu cálculo, tais como: a rigidez dinâmica do material resiliente (característica bastante influente no isolamento acústico do sistema); o custo adicional por m²; o tipo de laje estrutural em questão; a área (m²) de cada ambiente (quartos e salas) da edificação; ou até mesmo variáveis não mensuráveis, a exemplo da facilidade de transporte ou aplicação do material resiliente etc, usando nesse caso constantes matemáticas.

4 CONCLUSÃO

Com relação ao desempenho acústico das placas cimentícias de EVA PEVA1,8_ar0, assim como as placas PEVA2,5_ar0 e PEVA3,5_ar1, considerando o sistema de piso flutuante adotado nos experimentos realizados em câmara acústica em laboratório, pode-se concluir que todas elas têm potencial para se classificarem como materiais alternativos, para serem utilizadas na atenuação de ruído de impacto entre os pisos de edificações multi pavimentos, pois obtiveram desempenho intermediário, de acordo com os requisitos previstos na NBR 15.575-3:2013.

A placa PEVA1,8_ar0 demostrou ser um aprimoramento em relação às demais, apresentando significativas melhoras na sua produção, com menor consumo de cimento Portland, uma maior carga de prensagem e uma maior porosidade, induzida pela cura por secagem forçada em estufa, que resultaram em melhor índice de eficiência, conforme proposta do IDA_RI. No prosseguimento do presente estudo, outros testes deverão ser feitos, visando

uma melhor caracterização tanto dos resultados numéricos obtidos no índice quanto do material resiliente proposto a partir de placas cimentícias moldadas com agregados leves obtidos da recilagem de resíduos (EVA) da indústria de calçados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro no projeto de pesquisa em curso, coordenado por um dos autores, e pela bolsa de iniciação científica (PIBIC) dos(as)graduandos(as) envolvidos(as) como autores(as).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:**Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:**Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3:** Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – parte 3 – requisitos para os sistemas de pisos internos. Rio de Janeiro, 2013.

HAX, S. P**. Estudo do potencial dos resíduos de E.V.A. no isolamento de ruído de impacto nas edificações.**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. **ISO 140-7**:1998.

_____. Acoustic – rating of sound insulation in building elements – Part 2: Impact sound insulation. **ISO 717-2**:2013.

LEAL, L.C; MARQUETTO, L; NUNES, M.F.O.; TUTIKIAN,B.F. **Lightweight concrete with EVA recycled aggregate for impact noise attenuation**. Materiales de Construcción. Vol. 63, 310, 309-316. 2013.

PEREYRON, D. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2008.

SANTOS, F. A. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE BLOCOS DE CONCRETO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DO SEU DESEMPENHO TÉRMICO QUANDO ADOTADO NA ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR-BA[1]

SOUZA, Camila Rocha de (1); ARAÚJO, Nicolas de Aquino (2); SOUZA, Sandra Helena Miranda de (3); GONÇALVES, Jardel Pereira (4);

(1) UFBA, e-mail: camilarochaufba@gmail.com; (2) UFBA, e-mail: nicolasaraujo10@gmail.com; (3) UFBA, e-mail: sandra.miranda@ufba.br; (4)UFBA, e-mail: jardelpg@gmail.com;

RESUMO

O desempenho térmico da edificação está diretamente relacionado com as características dos elementos que o constituem e suas interações com as variáveis climáticas. Evidenciando a larga utilização da alvenaria estrutural em blocos de concreto no Brasil, o objetivo deste artigo compreende avaliar a sensibilidade das propriedades termofísicas do bloco de concreto, a fim de apontar sua contribuição no desempenho térmico das edificações. Foram realizadas simulações computacionais no EnergyPlus®, utilizando uma edificação residencial unifamiliar localizada na Cidade de Salvador/BA, cujas vedações verticais são compostas por blocos de concreto. As simulações foram desenvolvidas em duas etapas, na primeira foi considerada a envoltória rebocada em ambas as faces e na segunda sem argamassa de revestimento. As propriedades analisadas foram: espessura(m), densidade(kg/m³), condutividade térmica(W/m.K), rugosidade(adimensional), absortância(%), emissividade(%) e calor específico(kJ/kg.K). Para cada propriedade, foram realizadas três simulações e adotados três valores: valor padrão, valor menor que o padrão e valor maior que o padrão. As propriedades que mais influenciaram o desempenho térmico da edificação foram a espessura, o calor específico e a absortância. Destaca-se também a forte influência do revestimento da superfície da alvenaria no desempenho térmico, culminando em uma diferença de até 3,5ºC no interior da edificação quando comparada a situação da alvenaria estar ou não revestida.

Palavras-chave: Blocos de concreto. Desempenho térmico de edificação. Simulação computacional.

ABSTRACT

The thermal performance of the building is directly related to the characteristics of the constituent elements and their interactions with climate variables. Demonstrating the wide use of structural masonry concrete blocks in Brazil, the purpose of this article comprises assessing the sensitivity of the thermo-physical properties of the concrete block in order to indicate its contribution to the thermal performance of buildings. Computer simulations were

[1] SOUZA, Camila et al. Análise das propriedades termofísicas de blocos de concreto através de simulação computacional, visando a otimização do seu desempenho térmico quando adotado na envoltória de edificação na cidade de Salvador-BA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

performed at EnergyPlus® using a single-family residential building located in the city of Salvador / BA, whose vertical seals are made of concrete blocks. The simulations were carried out in two stages, the first envelope was considered towed on both sides and the second uncoated mortar. The studied properties were: thickness (m) Density (kg / m³) Thermal conductivity (W / m · K), roughness (dimensionless), absorptance (%) Emissivity (%) and specific heat (kJ / kg.K). For each property, there were three simulations and adopted three values: default value, lower than the standard and value greater than the default. The properties that most influenced the thermal performance of the building were thickness, the specific heat and absorptance. It is also highlights the strong influence of the masonry surface coating on the thermal performance, resulting in a difference of up to 3.5ºC inside the building when compared to situation of the masonry or may not be coated.

Keywords: *Concrete blocks. Thermal performance of building. Computer simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Em torno de 5,5 milhões de moradias precisariam ser construídas em todo o território brasileiro para suprimir o déficit habitacional do país, segundo dados da Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (Pnad), de 2008, lançada pelo Ministério das Cidades. A partir deste referencial, foram criados programas habitacionais na tentativa de atenuar este problema social. Frente a este desafio, tornou-se necessária a adoção de sistemas construtivos que garantissem maior rapidez à execução da obra. Dentre estes sistemas, pode ser citada a alvenaria estrutural em blocos de concreto, que apresenta ainda como vantagens a redução no custo final da obra e a redução de resíduos quando comparado a sistemas tradicionais. Dados do governo federal relatam que, entre 2009 e 2016, foram entregues 2,6 milhões de moradias.

Entretanto, além da racionalização, o setor da construção civil vem buscando aprimorar os sistemas construtivos sob a lógica da eficiência energética, onde os mesmos vêm sendo repensados tecnologicamente de modo a potencializar suas funções para alcançar o máximo de desempenho, objetivando a melhoria da qualidade da construção e redução de impactos ao meio ambiente. Dentro deste contexto, evidenciando a larga utilização da alvenaria em blocos de concreto no Brasil, vê-se que seu material constituinte tende a apresentar baixo desempenho térmico, especialmente em clima quente e úmido, por apresentar, devido às suas propriedades termofísicas, índices elevados de ganhos de calor. Este fato pode vir a comprometer a qualidade térmica do ar nos ambientes internos das edificações, gerando desconforto aos seus usuários. No Brasil entrou em vigor, em 2013, a norma ABNT NBR 15575 "Edificações Habitacionais – Desempenho" instrumento normativo constituído de seis partes, que dentre outras exigências, outorga critérios mínimos referentes ao desempenho térmico de habitações.

Estudos realizados por Sacht e Rossignolo (2009) constataram, através de simulação computacional, que a alvenaria em blocos de concreto não atendeu ao nível mínimo de desempenho térmico para a maioria das cidades brasileiras analisadas. Em pesquisa realizada por Sansão et al. (2012), também através de simulação computacional, resultados validaram que as

envoltórias de blocos cerâmicos possuem melhor desempenho térmico que as envoltórias de blocos de concreto, ao proporcionar maior quantidade de horas dentro da zona de conforto térmico, além de proporcionar ganhos de calor inferiores no solstício de verão. Diante deste cenário, o objetivo deste artigo compreende avaliar a sensibilidade das propriedades termofísicas do bloco de concreto, através de simulação computacional, a fim de apontar o limite de contribuição das mesmas no desempenho térmico das edificações, de forma a estabelecer um direcionamento quanto à otimização de suas características térmicas.

2 MÉTODOS

Os dados de entrada (*input*) para a realização das simulações computacionais no software EnergyPlus®, dentre diversas outras definições relativas aos componentes construtivos da edificação, referem-se as propriedades térmicas e físicas dos mesmos, são elas: espessura, densidade, condutividade térmica, rugosidade, absortância, emissividade e calor específico. É importante sobressaltar que as propriedades absortância e emissividade referem-se à superfície exposta da vedação.

Na presente pesquisa com foco estabelecido para a análise da sensibilidade das propriedades termofísicas do bloco de concreto no tocante ao desempenho térmico global da edificação, utilizou-se o método que, para cada propriedade a ser analisada, três simulações são realizadas e adotados três valores: o valor padrão da propriedade, o valor menor que o padrão e o valor maior que o padrão. De forma a analisar mediante esta variação a resposta térmica da edificação. As simulações térmicas apresentam como resposta a temperatura interna do ambiente em análise, apresentadas em gráficos.

Para o estudo proposto as simulações foram desenvolvidas em duas etapas, para a primeira etapa as simulações foram configuradas considerando a envoltória (vedação vertical) rebocada em ambas as faces e a segunda com a envoltória sem argamassa de revestimento (ver Quadro 1).

Quadro 1 – Etapas da Simulação

Simulação	
Etapa A	Com argamassa de revestimento
Etapa B	Sem argamassa de revestimento

Fonte: Autores

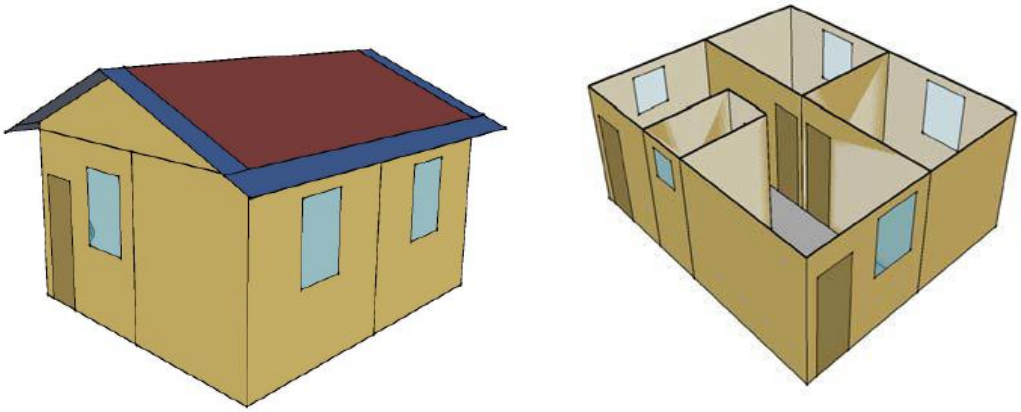
2.1 Caracterização da edificação de referência e características da modelagem da edificação

Definiu-se para as referidas simulações a edificação residencial unifamiliar, em fase de projeto, padrão Caixa Econômica Federal para Habitação de Interesse Social localizada na cidade de Salvador. A edificação tem área

construída de 38,70 m², com dimensões de 6,74m x 5,74m x 2,80m, é composta por dois quartos, sala, um sanitário, cozinha e área de serviço.

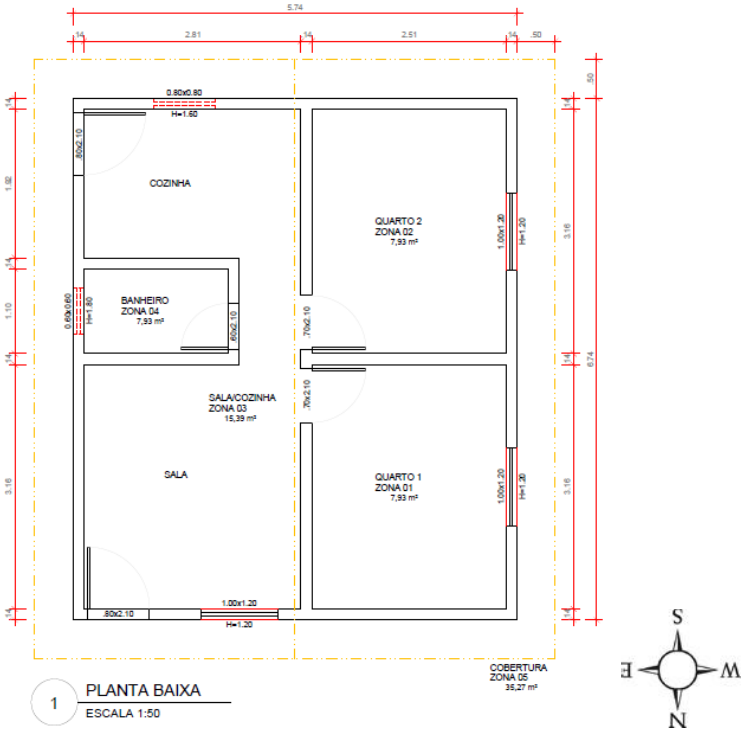
A partir das informações disponibilizadas no site da Caixa, foi realizada a maquete virtual (ver Figura 1 e Figura 2) no *software Google SketchUp*, bem como foi reproduzida a planta baixa da edificação (Figura 3) no *software AutoCad 2012.* Estas peças gráficas serviram de base para os dados requeridos, referentes à geometria da edificação, para simulação computacional no *software* EnergyPlus®.

Figura 1 – Perspectivas da edificação



Fonte: Autores

Figura 2 – Planta baixa da edificação



Fonte: Autores

A edificação foi modelada no programa EnergyPlus® com cinco zonas térmicas, sendo quatro zonas para os ambientes e uma para o ático da cobertura. Foi utilizado o arquivo climático do INMET (2015) da cidade de Salvador (zona bioclimática 8), disponibilizado pelo LabEEE.

Configuração dos componentes construtivos

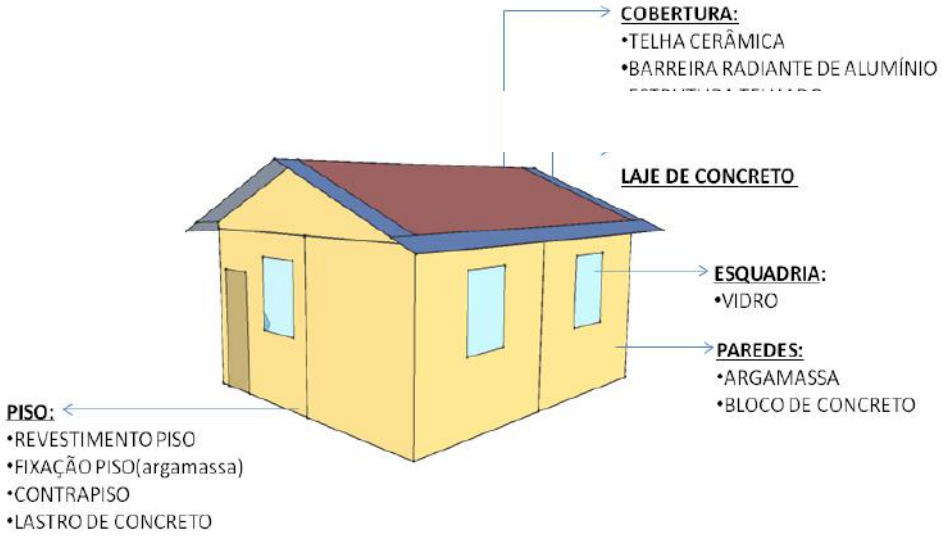
A vedação vertical externa e interna da edificação é composta por blocos de concreto, assentados com argamassa de 1,0cm, e para a etapa A, são rebocados em ambas as faces com argamassa de 2,5cm (propriedades vide quadro 2). O tamanho da abertura das esquadrias para ventilação e iluminação é de 15% em relação à área do ambiente, nos ambientes de permanência prolongada as esquadrias possuem dispositivos de sombreamento externo (venezianas). A cobertura é composta por telha cerâmica clara (baixa absortância) e barreira radiante de alumínio, a edificação dispõe de laje de concreto, e encontra-se em contato com o solo (Ver Tabela 1 e Figura 3).

Tabela1 – Especificações componentes construtivos

Componentes Construtivos	Especificações
Vedação Externa e Interna	Alvenaria em Blocos de concreto
Cobertura	Telhas cerâmicas claras (a=0,3) Barreira Radiante de Alumínio
Esquadrias	Vidro / Venezianas
Laje	Concreto espessura 10cm
Piso	Em contato com o solo

Fonte: Autores

Figura 3 – Componentes construtivos



Fonte: Autores.

Para as propriedades físicas e térmicas da argamassa de revestimento foram adotados os valores presentes na NBR 15220-1(ABNT, 2003), como pode ser verificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores adotados argamassa de revestimento

Propriedades	Valor
Rugosidade	Rugoso
Espessura (m)	0,025
Condutividade (W/m.K)	1,15
Densidade (kg/m³)	2000
Calor específico (J/kg.K)	1,0
Emissividade(%)	0,3
Absortância (%)	0,3

Fonte: Autores

2.2 Propriedades analisadas

Foram analisadas as propriedades físicas do componente construtivo bloco de concreto: espessura(m) e rugosidade(adimensional), e as propriedades térmicas: densidade(kg/m³), condutividade térmica(W/m.K), absortância(%), emissividade(%) e calor específico(kJ/kg.K). Os valores adotados podem ser verificados no quadro 3:

Quadro 3 – Valores adotados propriedades físicas e térmicas do bloco de concreto

Propriedades Termofísicas	Menor Valor	Valor Padrão	Maior Valor
Rugosidade	Suave	Rugoso	Muito Rugoso
Espessura (m)	0,09	0,14	0,19
Condutividade (W/m.K)	1,48	1,75	2,02
Densidade (kg/m³)	2137	2400	2663
Calor específico (J/kg.K)	0,5	1	1,5
Emissividade(%)	0,7	0,85	0,95
Absortância (%)	0,3	0,5	0,7

Fonte: Autores

Os valores adotados das propriedades físicas e térmicas inerentes ao componente construtivo em análise foram definidos a partir dos critérios abaixo descritos:

- Para a densidade e a condutividade térmica, foi adotado como padrão o valor presente na NBR 15220-1(ABNT, 2003). Para o menor valor foi adotado o presente no Relatório no 282/2014 do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. E, como parâmetro para adoção do maior valor foi somado ao valor padrão, a diferença entre o valor padrão e o menor valor.

- Quanto à rugosidade, foram adotados parâmetros estabelecidos pelo software Energy Plus para a rugosidade da superfície da alvenaria.
- Espessura: Valores específicos das famílias de blocos de concreto presentes no mercado.
- Absortância e Emissividade: foram adotados valores que representam, respectivamente, a pintura da superfície com cor clara, cor média (padrão), e cor escura.
- Calor específico: Foi adotado o valor padrão especificado na NBR 15220-1 (ABNT, 2003) e para obtenção do menor e maior valor, foi respectivamente subtraído e somado o valor 0,5 do valor padrão.

2.3 Definição das cargas térmicas

Para realização da simulação computacional, um dos parâmetros a ser definido é a carga térmica presente na edificação, determinada pelos padrões de ocupação e iluminação. Para que a simulação pudesse se aproximar ao máximo da realidade de uso, foram adotados alguns procedimentos proposto por Sorgato *et al.*(2012):

Padrão de ocupação

Para cada dormitório da edificação deve ser adotado o padrão de ocupação de duas pessoas, entre as 21h e 7h. A sala de estar da edificação deve ser simulada com um padrão de ocupação de 50%, entre às 14h e 18h e com 100% entre às 18h e 21h.

A taxa metabólica para cada atividade é determinada em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente. Para a atividade no dormitório (dormindo ou descansando), o valor de calor dissipado de 81 W/pessoa. Para a atividade na sala (sentado ou assistido televisão) o valor considerado é de 108 W/ pessoa.

Padrão de uso da iluminação

Considera-se que os usuários utilizam a iluminação artificial no dormitório nas primeiras horas da manhã, entre 6h e 7h, e no período noturno entre 21h e 23, e na Sala de estar das 17h às 21h.

2.4 Método de simulação segundo a NBR 15575/2013

Para a cidade de Salvador, localizada na ZB 8, conforme determina a NBR 15575-1(ABNT, 2013), não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico para inverno. Portanto, as avaliações realizadas foram feitas no dia típico de verão, 21 de dezembro.

Ainda segundo a norma, o desempenho da edificação deve ser avaliado em um ambiente de permanência prolongada (dormitório ou sala de estar) para a condição mais crítica do ponto de vista térmico. O ambiente

selecionado para a análise no verão foi o dormitório com a janela orientada para oeste e a outra parede voltada para norte.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados os resultados - temperatura interna do ar – do ambiente em análise quanto à variação das propriedades termofísicas dos blocos de concreto que compõem a vedação vertical da habitação.

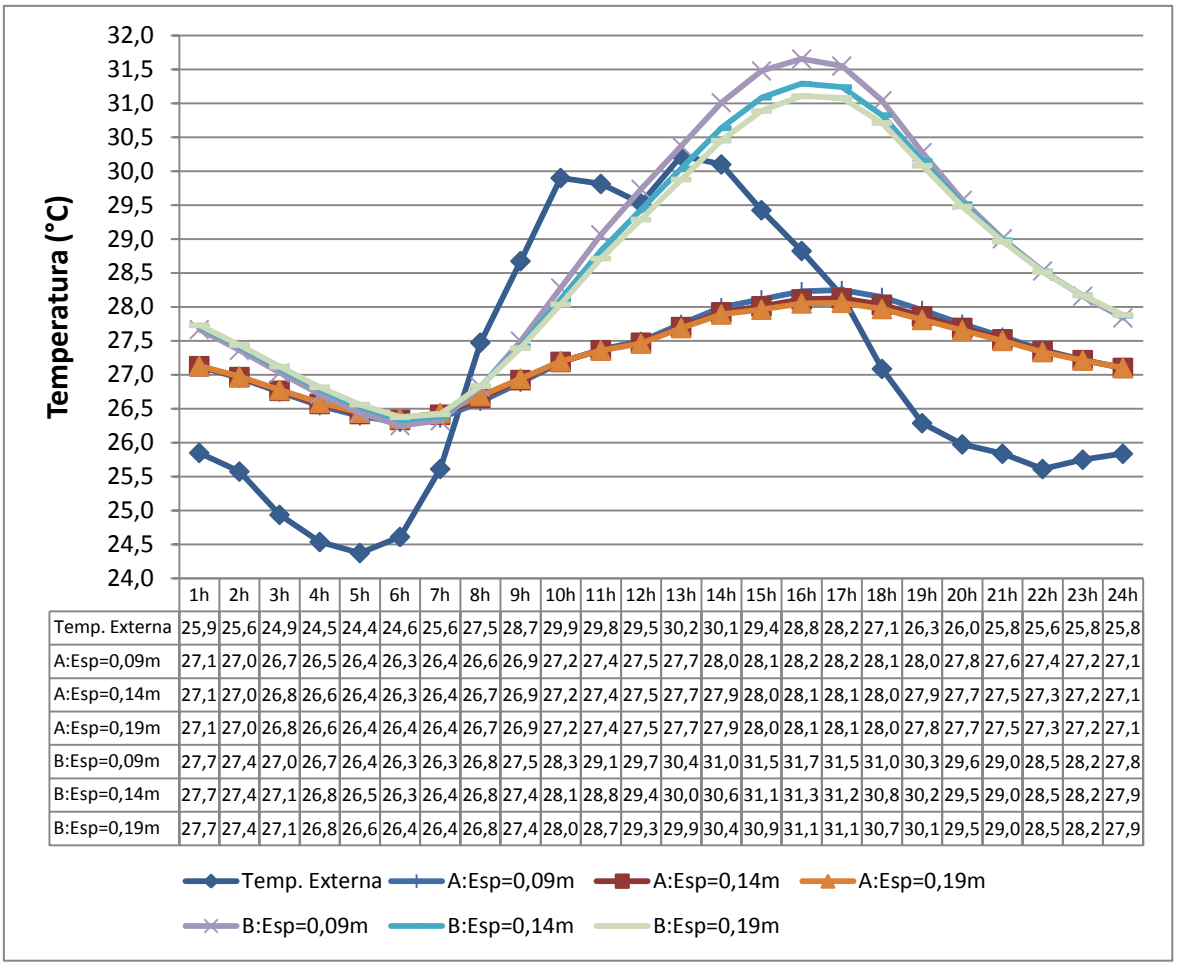
Devido aos resultados da primeira etapa (A), os quais demonstraram que as propriedades que promoveram maior variação da temperatura interna do ambiente quando variados os seus valores foram a absortância e a emissividade, visto que tais propriedades referem-se à argamassa de revestimento do bloco e não ao bloco de concreto, este fato direcionou o estudo para uma segunda etapa (B), na qual a execução da simulação foi configurada considerando a vedação externa sem argamassa de revestimento, de forma que qualquer variação da temperatura interna do ambiente fosse de fato relacionada exclusivamente ao bloco.

De fato, as simulações B apresentaram as maiores temperaturas do ambiente quando comparadas as simulações A, o que demonstra que não apenas a alvenaria irá influenciar quanto ao desempenho térmico global da edificação, mas em proporção bastante significativa o material que estará revestindo estas vedações, apresentando a temperatura do ambiente analisado uma diferença de até 4,5◦C sob a condição das vedações estarem revestidas ou não revestidas.

É importante também ressaltar que a partir dos gráficos apresentados, podem ser feitas diversas análises, que podem abordar desde o sentido do fluxo térmico entre o ambiente interno e o meio exterior e seus intervenientes à quantidade de horas dentro da zona de conforto térmico, quanto a uma maior investigação quanto à influência do revestimento da superfície da vedação no desempenho térmico global da edificação. Porém, a presente pesquisa priorizou a análise da influência das propriedades termofísicas dos blocos de concreto estabelecendo como parâmetro as maiores temperaturas registradas no ambiente, e, portanto, ao reflexo da variação de seus valores no desempenho térmico da edificação.

A seguir são apresentados os resultados das simulações térmicas, em gráficos, e posteriormente a análise dos resultados para cada propriedade:

Gráfico 1 – Variação da Espessura



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26,0	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Esp=0,09m	27,1	27,0	26,7	26,5	26,4	26,3	26,4	26,6	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	28,0	28,1	28,2	28,2	28,1	28,0	27,8	27,6	27,4	27,2	27,1
A:Esp=0,14m	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Esp=0,19m	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,4	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,8	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
B:Esp=0,09m	27,7	27,4	27,0	26,7	26,4	26,3	26,3	26,8	27,5	28,3	29,1	29,7	30,4	31,0	31,5	31,7	31,5	31,0	30,3	29,6	29,0	28,5	28,2	27,8
B:Esp=0,14m	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9
B:Esp=0,19m	27,7	27,4	27,1	26,8	26,6	26,4	26,4	26,8	27,4	28,0	28,7	29,3	29,9	30,4	30,9	31,1	31,1	30,7	30,1	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9

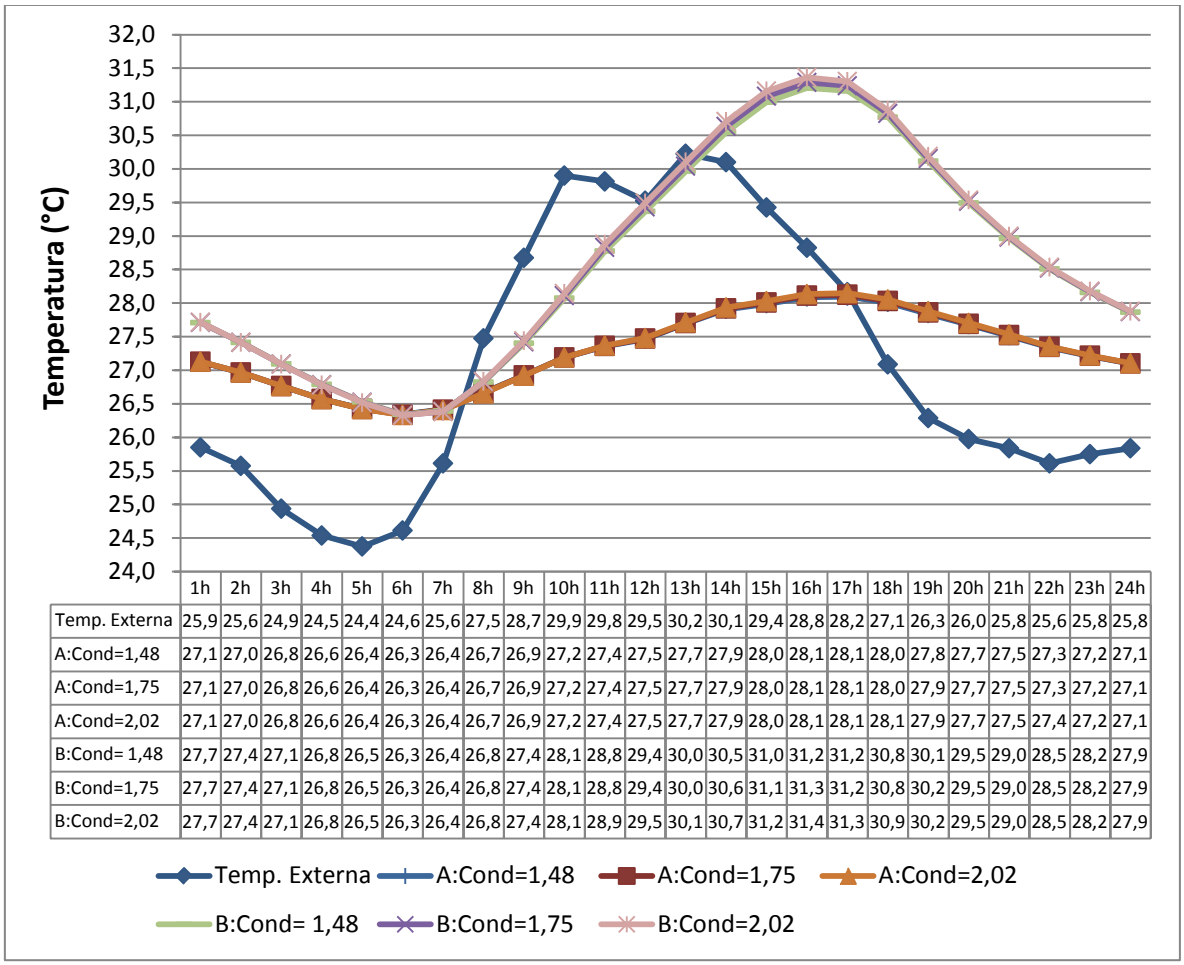
Fonte: Autores

Espessura

Nota-se que quanto maior a espessura do bloco de concreto, considerando as camadas homogêneas e a câmara de ar perpendiculares ao fluxo de calor, menor a densidade de fluxo de calor que irá atravessa-lo passando para o ambiente interno, portanto a temperatura do ambiente tende a ser menor. Isto se explica pelo fato de que quanto maior a espessura, maior a câmara de ar que compõe o bloco de concreto, para os blocos de 9cm, 14cm e 19cm, a espessura da câmara de ar é respectivamente 5cm, 10cm, 15cm. Por ser o ar um ótimo isolante térmico, quanto maior a câmara de ar presente no bloco, maior a resistência térmica do bloco de concreto. Pode ser verificada uma tendência à confirmação do que foi exposto acima na simulação B, esta afirmação pode ser claramente evidenciada ao verificar o aumento da temperatura do ambiente em até 1,5°C quando utilizado o bloco de menor espessura. Entretanto na simulação A esta diferença quase não consegue ser notada, denotando que o revestimento exerce forte

influência neste comportamento. Diante do exposto, nota-se que esta propriedade intrínseca ao bloco de concreto e a sua geometria pode exercer significativa influência no desempenho térmico da edificação quando a superfície da alvenaria não está revestida. Porém, na situação em que se encontra revestida, o revestimento da alvenaria mostra maior influência quanto ao desempenho térmico da edificação analisada.

Gráfico 2 – Variação da Condutividade térmica



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26,0	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Cond=1,48	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,8	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Cond=1,75	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Cond=2,02	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,1	27,9	27,7	27,5	27,4	27,2	27,1
B:Cond= 1,48	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,5	31,0	31,2	31,2	30,8	30,1	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9
B:Cond=1,75	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9
B:Cond=2,02	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,9	29,5	30,1	30,7	31,2	31,4	31,3	30,9	30,2	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9

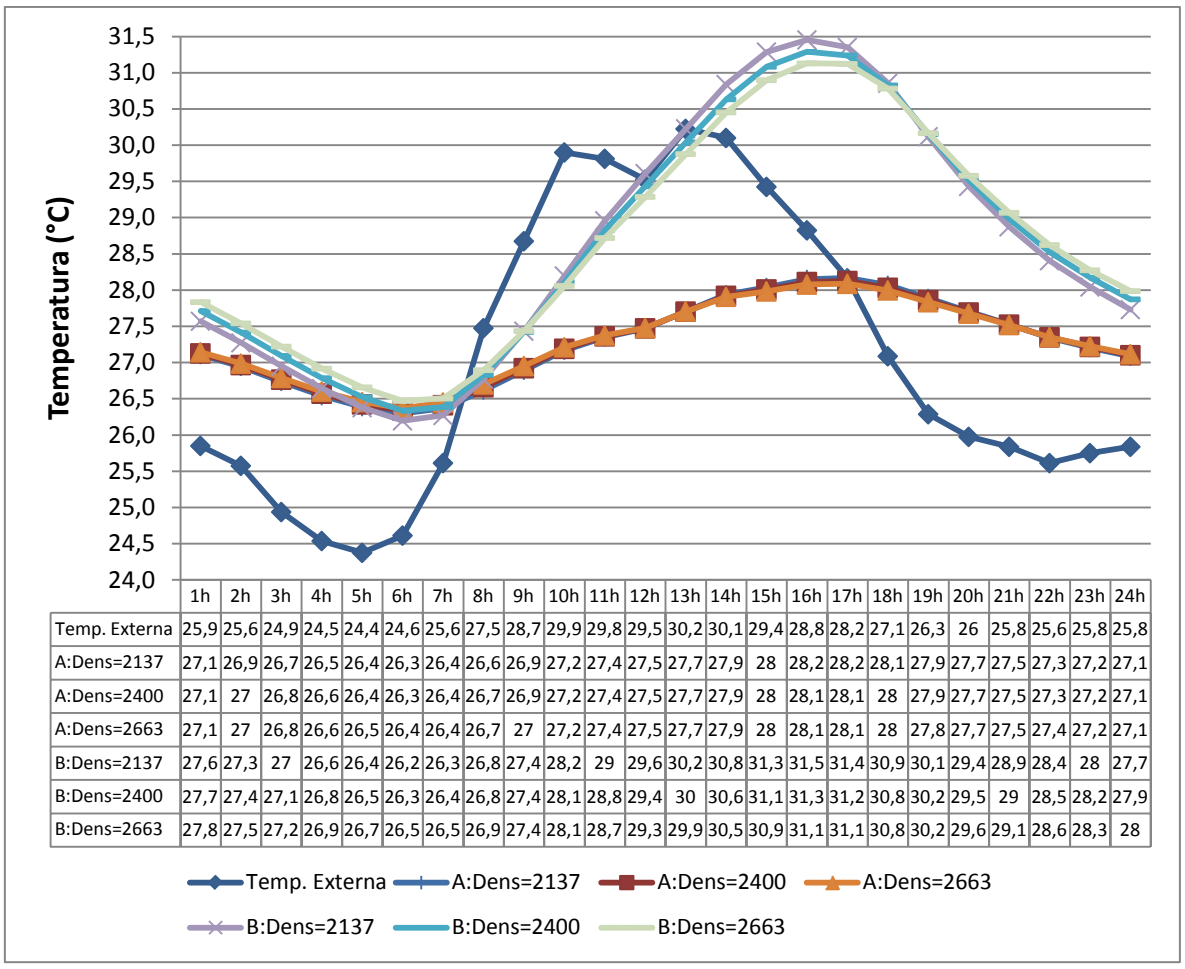
Fonte: Autores

Condutividade

A condutividade térmica de um material representa sua capacidade em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Primeiramente para análise, é necessário identificar o sentido do fluxo de calor, determinado pelo meio de maior temperatura ao meio de menor temperatura. Maior condutividade, e a depender da área e da espessura da parede e da diferença da temperatura entre o interior da edificação e o meio exterior, maior será a taxa de fluxo de calor que atravessará a vedação, e portanto maior tende a ser a temperatura interna do ambiente. Conforme Lamberts et al.(2014) quanto maior for o valor da condutividade térmica, maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies dos

materiais. Esta tendência pode ser verificada no gráfico 2, tanto para as simulações A quanto para a B. Porém, a diferença entre as temperaturas do ambiente quando variados os valores da condutividade foi pequena, menor que 0,5◦C, o que revela influência não muito significativa, neste caso específico, dos valores adotados para a condutividade térmica, quanto ao desempenho térmico da edificação. No entanto, deve ser destacada a forte influência do revestimento da superfície da alvenaria no desempenho térmico, materializando uma diferença de até 3,5ºC no interior da edificação, quando comparada a situação da alvenaria estar ou não revestida.

Gráfico 3 – Variação da Densidade



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Dens=2137	27,1	26,9	26,7	26,5	26,4	26,3	26,4	26,6	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28	28,2	28,2	28,1	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Dens=2400	27,1	27	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28	28,1	28,1	28	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Dens=2663	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,4	26,4	26,7	27	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28	28,1	28,1	28	27,8	27,7	27,5	27,4	27,2	27,1
B:Dens=2137	27,6	27,3	27	26,6	26,4	26,2	26,3	26,8	27,4	28,2	29	29,6	30,2	30,8	31,3	31,5	31,4	30,9	30,1	29,4	28,9	28,4	28	27,7
B:Dens=2400	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29	28,5	28,2	27,9
B:Dens=2663	27,8	27,5	27,2	26,9	26,7	26,5	26,5	26,9	27,4	28,1	28,7	29,3	29,9	30,5	30,9	31,1	31,1	30,8	30,2	29,6	29,1	28,6	28,3	28

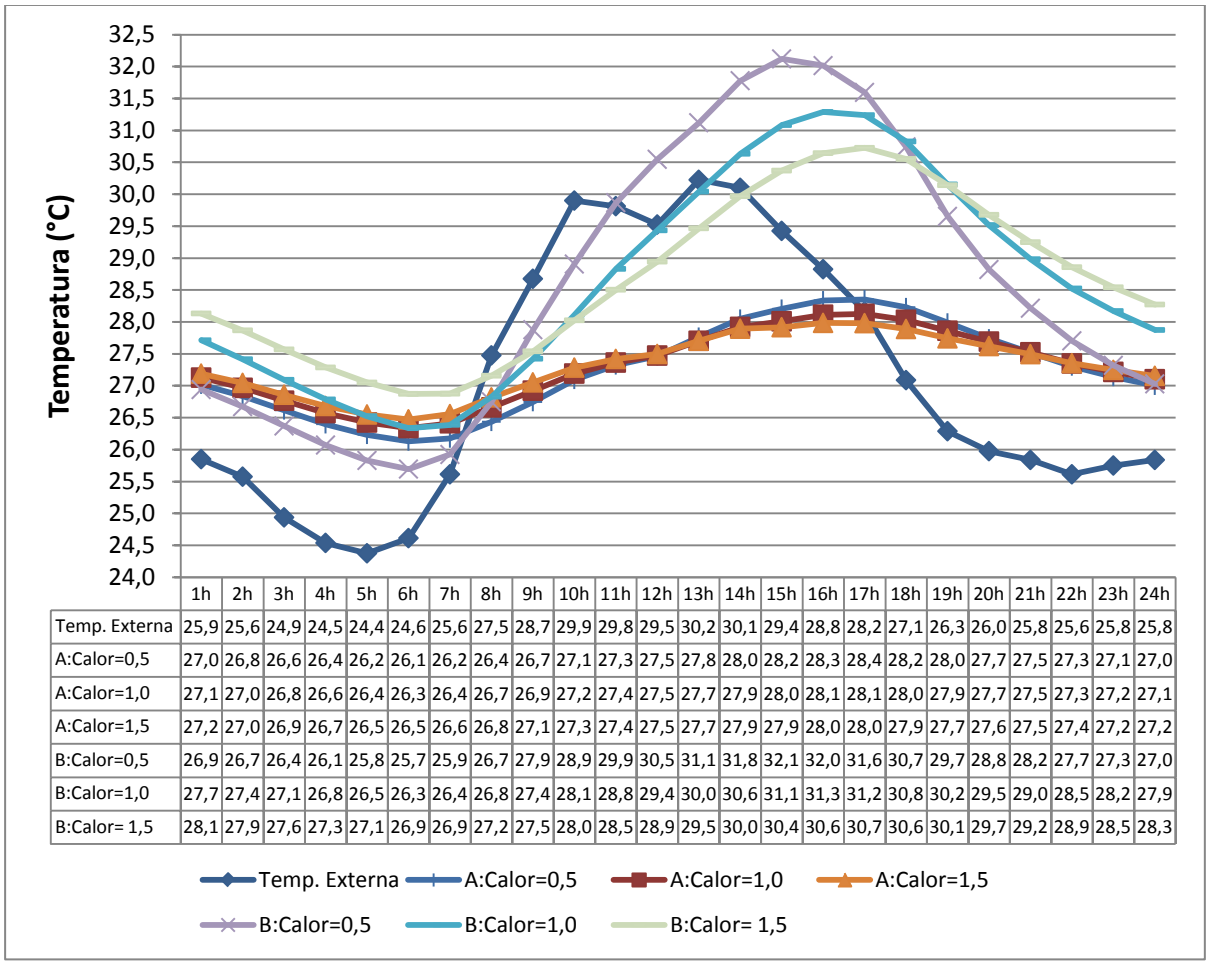
Fonte: Autores

Densidade

De acordo com a NBR 15220-1(ABNT,2005) menor densidade do material, menor condutividade térmica. Porém o que pode ser verificado nas simulações A, e mais notório na B, é um comportamento não linear da temperatura interna do ambiente, a depender do horário e do sentido do fluxo de calor, determinado pela diferença de temperatura entre o meio interno e externo, o menor valor da densidade corresponde a uma menor

temperatura do ambiente e por hora a uma maior temperatura. Tal comportamento é repetido quando adotado o maior valor da propriedade termofísica. Desta forma, não há como estabelecer uma tendência de comportamento, devendo-se o fato à troca de calor entre os meios. O que pode ser mais uma vez destacado, é a forte influência do revestimento da alvenaria no desempenho térmico da edificação em análise.

Gráfico 4 – Variação do Calor específico



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26,0	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Calor=0,5	27,0	26,8	26,6	26,4	26,2	26,1	26,2	26,4	26,7	27,1	27,3	27,5	27,8	28,0	28,2	28,3	28,4	28,2	28,0	27,7	27,5	27,3	27,1	27,0
A:Calor=1,0	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Calor=1,5	27,2	27,0	26,9	26,7	26,5	26,5	26,6	26,8	27,1	27,3	27,4	27,5	27,7	27,9	27,9	28,0	28,0	27,9	27,7	27,6	27,5	27,4	27,2	27,2
B:Calor=0,5	26,9	26,7	26,4	26,1	25,8	25,7	25,9	26,7	27,9	28,9	29,9	30,5	31,1	31,8	32,1	32,0	31,6	30,7	29,7	28,8	28,2	27,7	27,3	27,0
B:Calor=1,0	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9
B:Calor= 1,5	28,1	27,9	27,6	27,3	27,1	26,9	26,9	27,2	27,5	28,0	28,5	28,9	29,5	30,0	30,4	30,6	30,7	30,6	30,1	29,7	29,2	28,9	28,5	28,3

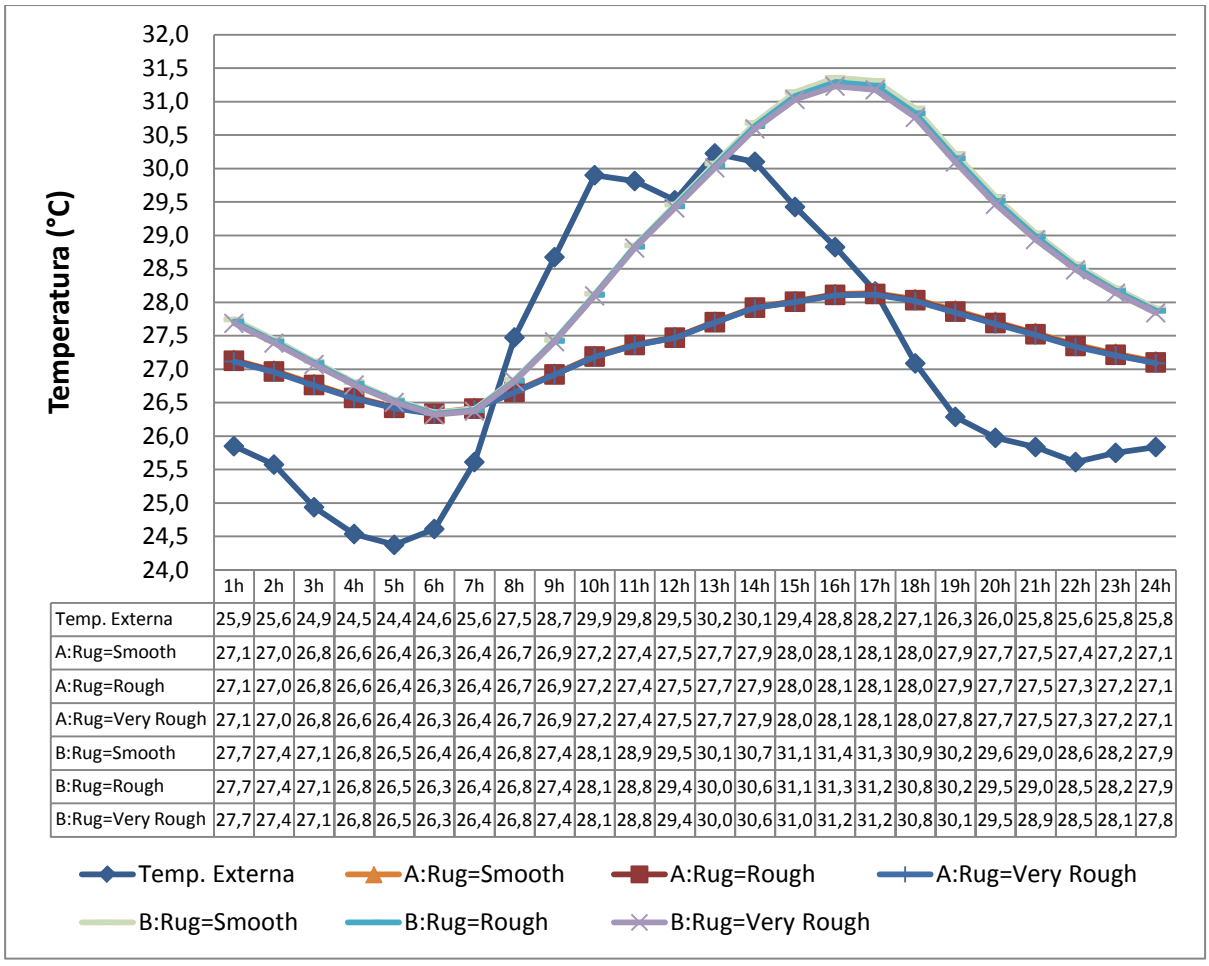
Fonte: Autores

Calor Específico

Segundo definição dada pela NBR 15220-1(ABNT,2003), calor específico é o quociente da capacidade térmica pela massa. A capacidade térmica pode ser definida como a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema, em síntese calor específico é a capacidade de um corpo de armazenar calor. A partir da leitura do gráfico pode-se notar, mais especificamente para as simulações B, que para os três valores adotados, a temperatura do ambiente apresenta comportamentos distintos. No tocante ao atraso térmico (o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de

um componente construtivo) relacionando-o ao tempo transcorrido entre o pico de temperatura máxima externa e a temperatura máxima interna (Gomes, 2015), verifica-se que quanto maior o valor adotado para o calor específico, maior o atraso térmico. O que para a ZB8, de clima quente e úmido, segundo a NBR 15220-3(ABNT, 2005a) as temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem. Porém, ao voltar o foco para o pico de maior temperatura no interior do ambiente, este foi atingido quando adotado o menor valor para o calor específico, revelando uma tendência de quanto menor o calor específico, maior a temperatura do ambiente.

Gráfico 5 – Variação da Rugosidade



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26,0	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Rug=Smooth	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,9	27,7	27,5	27,4	27,2	27,1
A:Rug=Rough	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Rug=Very Rough	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,8	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
B:Rug=Smooth	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,4	26,4	26,8	27,4	28,1	28,9	29,5	30,1	30,7	31,1	31,4	31,3	30,9	30,2	29,6	29,0	28,6	28,2	27,9
B:Rug=Rough	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9
B:Rug=Very Rough	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,6	31,0	31,2	31,2	30,8	30,1	29,5	28,9	28,5	28,1	27,8

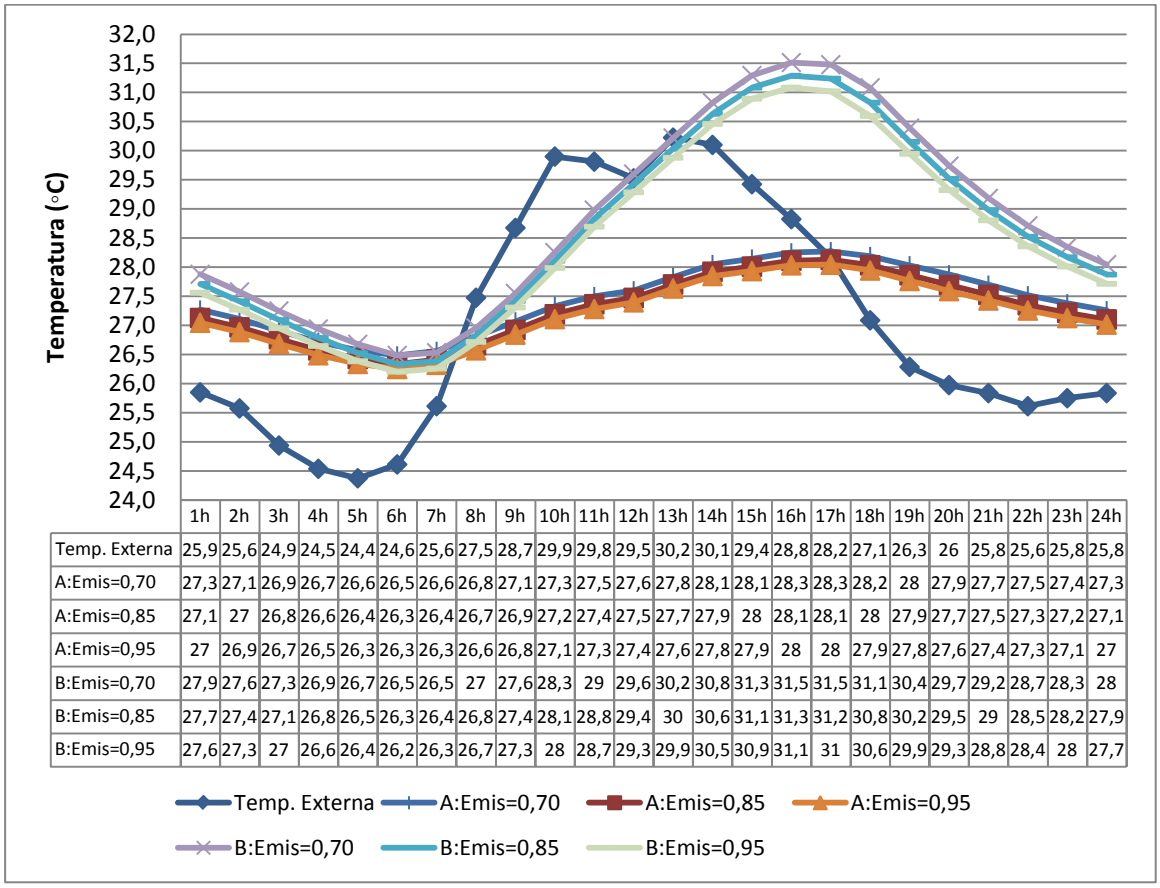
Fonte: Autores

Rugosidade

Não há nenhuma citação na NBR 15220-1(ABNT,2005) relacionando a rugosidade de um componente construtivo ao desempenho térmico da

edificação, porém segundo Coutinho(2005) a troca do calor por convecção é função da velocidade, e densidade do fluido, bem como da forma e da rugosidade da superfície. No caso das vedações os parâmetros mais importantes são a velocidade do ar e o acabamento superficial. Nas simulações, apesar de ínfima a diferença entre temperaturas, a maior temperatura interna do ambiente registrada foi quando o acabamento da superfície da alvenaria, tanto para as simulações A quanto B, ou seja, tanto para a argamassa de revestimento quanto para o bloco de concreto, apresentou a rugosidade suave.

Gráfico 6 – Variação da Emissividade



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Emis=0,70	27,3	27,1	26,9	26,7	26,6	26,5	26,6	26,8	27,1	27,3	27,5	27,6	27,8	28,1	28,1	28,3	28,3	28,2	28	27,9	27,7	27,5	27,4	27,3
A:Emis=0,85	27,1	27	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28	28,1	28,1	28	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Emis=0,95	27	26,9	26,7	26,5	26,3	26,3	26,3	26,6	26,8	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9	28	28	27,9	27,8	27,6	27,4	27,3	27,1	27
B:Emis=0,70	27,9	27,6	27,3	26,9	26,7	26,5	26,5	27	27,6	28,3	29	29,6	30,2	30,8	31,3	31,5	31,5	31,1	30,4	29,7	29,2	28,7	28,3	28
B:Emis=0,85	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29	28,5	28,2	27,9
B:Emis=0,95	27,6	27,3	27	26,6	26,4	26,2	26,3	26,7	27,3	28	28,7	29,3	29,9	30,5	30,9	31,1	31	30,6	29,9	29,3	28,8	28,4	28	27,7

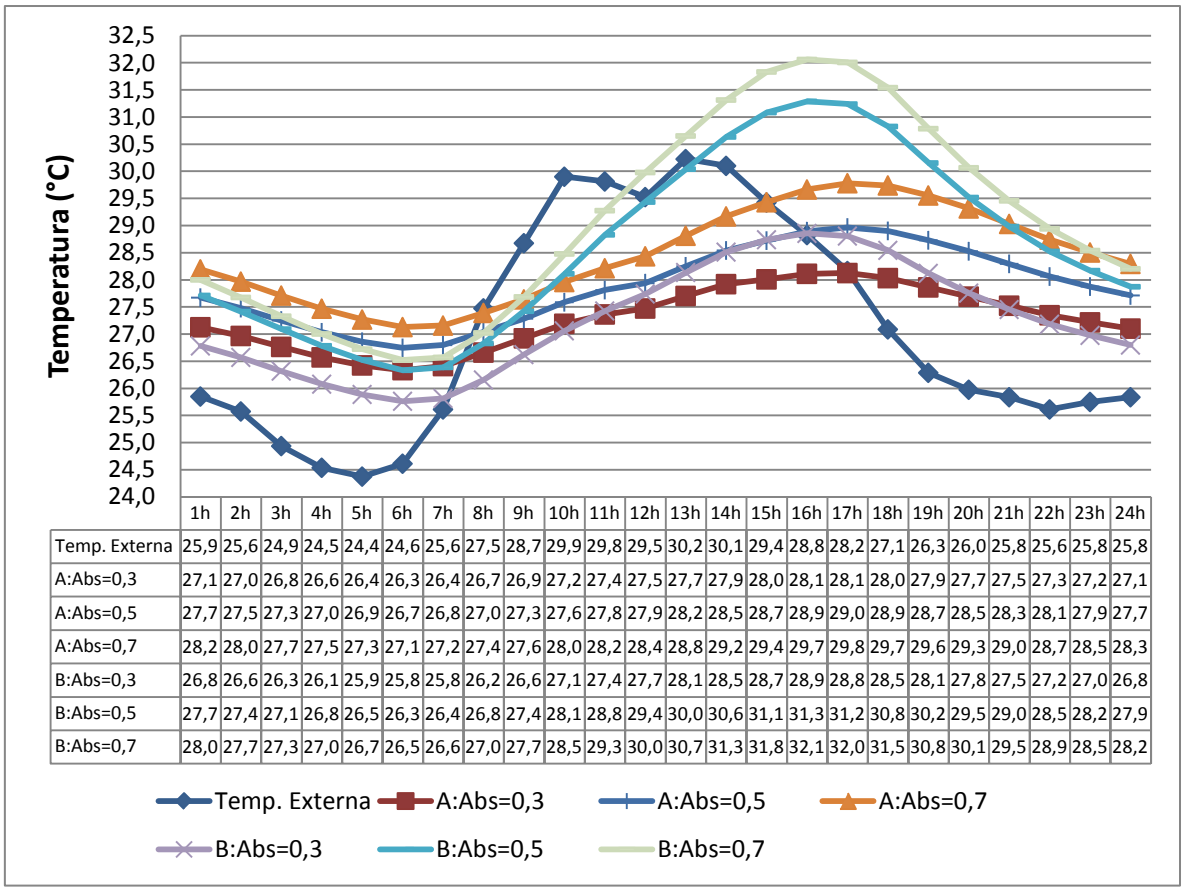
Fonte: Autores

Emissividade

Esta propriedade termofísica rege a emissão da radiação para o ambiente interno, expressa a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo. É importante destacar que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor (Lamberts et al,2014). Para tanto, primeiramente deve-se saber qual o sentido do fluxo de calor, pois a superfície estará emitindo calor para o meio de menor temperatura. O gráfico 6, para ambas as simulações, denota uma tendência de que menor

emissividade da superfície da argamassa de revestimento ou do bloco de concreto, maior a temperatura do ambiente. Tal fato pode ser justificado pelo sentido do fluxo de calor, quando se pressupõe que o ambiente interno está perdendo calor para o meio externo.

Gráfico 7 – Variação da Absortância



	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Temp. Externa	25,9	25,6	24,9	24,5	24,4	24,6	25,6	27,5	28,7	29,9	29,8	29,5	30,2	30,1	29,4	28,8	28,2	27,1	26,3	26,0	25,8	25,6	25,8	25,8
A:Abs=0,3	27,1	27,0	26,8	26,6	26,4	26,3	26,4	26,7	26,9	27,2	27,4	27,5	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1
A:Abs=0,5	27,7	27,5	27,3	27,0	26,9	26,7	26,8	27,0	27,3	27,6	27,8	27,9	28,2	28,5	28,7	28,9	29,0	28,9	28,7	28,5	28,3	28,1	27,9	27,7
A:Abs=0,7	28,2	28,0	27,7	27,5	27,3	27,1	27,2	27,4	27,6	28,0	28,2	28,4	28,8	29,2	29,4	29,7	29,8	29,7	29,6	29,3	29,0	28,7	28,5	28,3
B:Abs=0,3	26,8	26,6	26,3	26,1	25,9	25,8	25,8	26,2	26,6	27,1	27,4	27,7	28,1	28,5	28,7	28,9	28,8	28,5	28,1	27,8	27,5	27,2	27,0	26,8
B:Abs=0,5	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,4	26,8	27,4	28,1	28,8	29,4	30,0	30,6	31,1	31,3	31,2	30,8	30,2	29,5	29,0	28,5	28,2	27,9
B:Abs=0,7	28,0	27,7	27,3	27,0	26,7	26,5	26,6	27,0	27,7	28,5	29,3	30,0	30,7	31,3	31,8	32,1	32,0	31,5	30,8	30,1	29,5	28,9	28,5	28,2

Fonte: Autores

Absortância

Segundo definição disposta na NBR 15220-1(ABNT,2005) a absortância é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Esta propriedade é função da cor da superfície externa (tons claros a escuros), sensível à radiação solar direta. Quanto maior a absortância, maior a condução de calor para o ambiente interno, portanto maior a temperatura do ambiente, o que pôde ser comprovado pelo gráfico. Em relação às demais propriedades analisadas, a simulação térmica desta, similar a do calor específico, registrou a maior temperatura, 32,1°C, o que demonstra sua parcela significativa de contribuição no tocante ao desempenho térmico da edificação.

4 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, amplia-se um leque para diversas observações. Pondera-se primeiramente para o fato de que as temperaturas do ambiente da edificação registradas através das simulações térmicas, são resultantes de um conjunto de variáveis acerca dos componentes construtivos da edificação, não sendo resultantes da ação exclusiva através das trocas de calor da vedação em análise, mas também da composição dos demais elementos da edificação: da cobertura, das esquadrias, bem como das condições da edificação como estar em contato com o solo, quanto a sua orientação à incidência dos raios solares e a sua geometria.

Todavia, foi estabelecido como parâmetro a influência da variação dos valores adotados das propriedades termofísicas no comportamento térmico do ambiente analisado durante o período do dia típico de verão. De acordo com o método utilizado, este comportamento térmico deve-se exclusivamente a esta variação realizada. Diante do exposto, pode-se chegar a algumas afirmativas quanto às propriedades termofísicas da alvenaria em blocos de concreto, ao analisar as simulações da segunda etapa (B). As propriedades que mais influenciaram o desempenho térmico da edificação, onde se obteve uma maior variação da temperatura interna do recinto quando alterados os seus valores, apontando dessa forma uma tendência de comportamento, foram: espessura, calor específico e absortância.

Elucida-se ainda para o fato de que as simulações B apresentaram as maiores temperaturas do ambiente analisado quando comparadas as simulações A, o que demonstra que não apenas a alvenaria irá influenciar quanto ao desempenho térmico global da edificação, mas em proporção bastante significativa a condição de estarem revestidas ou não, apresentando uma diferença de temperatura do ambiente analisado de até 4,5◦C. O que denota que uma edificação construída em blocos de concreto, localizada na ZBR8, apresenta-se mais confortável termicamente quando revestida a alvenaria vertical externa. Portanto ao se propor a melhoria do desempenho térmico da alvenaria em blocos de concreto, pode ser estabelecido um plano de ataque específico para a otimização destas propriedades termofísicas que mais tenderam a influenciar o desempenho térmico da edificação, bem como escolher adequadamente o material de revestimento da envoltória da habitação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 – **Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL - Ministérios das Cidades - Secretaria Nacional de Habitação. **Déficit Habitacional no Brasil 2008.** Brasília, [2008]. Disponível em: http://www.fjp.gov.br/index.php/indicadores-sociais/deficit-habitacional-no-brasil. Acesso em 10 fev. 2015.

COUTINHO, A.S. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho, 2ª edição** – Editora Universitária/UFPB/PPGEP. João Pessoa, PB, 2005.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 4. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2000. 243p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura _3ªedição**. SãoPaulo: Editora: Eletrobras/Procel, 2014.

SACHT, Helenice M.; ROSSIGNOLO, João A. **Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto.** Pesquisa em Arquitetura e Construção, UNICAMP. 2009

SANSÃO, Júlia Hallack; AGUILAR, Maria Teresa Paulino; MARQUES, Aline Calazans; **Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias.** ENTAC, 2012.

SORGATO**,** M. J. et al. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Universidade Federal de Santa Catarina. LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

IDENTIFICAÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA PARA GOIÂNIA - GOIÁS[1]

ABREU-HARBICH, Loyde Vieira (1); CHAVES, Victor Leandro (2)

(1) Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, e-mail: loydeabreu@gmail.com ; (2) Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, e-mail: victorleandro2@hotmail.com;

RESUMO

A identificação do perfil climático de cidades tropicais auxilia no desenvolvimento de diretrizes projetuais que visam à eficiência energética e conforto térmico tanto em ambiente internos como externos. Porém o ano climático de referencia utilizados em simulações nem sempre está disponível para algumas cidades brasileiras com clima tropical com estação seca predominante, como Goiânia – Go. Este artigo visa identificar o ano climático de referência, para a cidade de Goiânia-Go, obtido por meio da metodologia do Test Reference Year (TRY) da ASHRAE. Os dados meteorológicos utilizados foram da Estação Meteorológica do Aeroporto Santa Genoveva para um período de 10 anos (2005 a 2014). Os resultados apontaram que o ano de referência é 2013. A temperatura média anual é 23,59° C e a temperatura base é 24° C. O mês mais quente é o outubro de 2005, com 26,77° C e o mês mais frio é julho de 2008, com 19,83° C. No período seco, amplitude térmica pode chegar até 23° C. A umidade relativa mais baixa encontrada foi em agosto de 2007, 43,56%. Esses resultados poderão ser aplicados por arquitetos e engenheiros em simulações computacionais visando à eficiência energética, conforto térmico e sustentabilidade do ambiente construído.

Palavras-chave: Ano de referencia climática (TRY). Clima tropical (Goiânia). Eficiência Energética.

ABSTRACT

The identification of climatic profile of tropical cities helps on development of projective guidelines aimed at energy efficiency and thermal comfort in both indoor and outdoor environments. However, Test year reference (TRY) used in simulations is not always available for some Brazilian Tropical cities with dry season, such as Goiania - Go. This paper aims to identify the test reference year for Goiania-Go, obtained by using the methodology of Test Reference Year (TRY) ASHRAE. Meteorological data used were the Meteorological Santa Genoveva Airport Station for a period of 10 years (2005-2014). The results showed that the reference year is 2013. The average annual temperature is 23,59° C and the base temperature is 24 C. The warmest month is October 2005, with 26,77° C and the coldest month is July 2008 with 19,83° C. in the dry season, temperature range can reach 23 C. The lowest relative humidity was found in August 2007, 43.56%. These results may be applied by architects and engineers in computer simulations aimed at energy efficiency, thermal comfort and sustainability of the built environment.

***Keywords**: Test Reference Year (TRY). Tropical Climate (Goiânia). Energy efficiency.*

[1] CHAVES, V. C.; ABREU-HARBICH, L.V. Identificação do ano climático de referência para Goiânia – Goiás. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Para que o ambiente construído seja energeticamente eficiente e sustentável é necessário que a arquitetura seja adaptada ao clima. O primeiro passo para o desenvolvimento de uma arquitetura bioclimática é a análise de dados climáticos locais disponíveis para que eles possam ser utilizados no desenvolvimento de diretrizes projetuais (RORIZ, 2012). É importante que os dados meteorológicos sejam direcionados a solução de problemas em projetos de edificações para que eles não sejam ignorados por profissionais da área da construção (GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998).

Inicialmente, dados climáticos de 14 capitais brasileiras obtidos a partir de estações situadas em aeroportos, foram compilados pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento - Instituto Brasileiro do Frio, ABRAVA/IBF junto ao Centro Técnico Aeroespacial - Instituto de Aeronáutica e Espaço, CTA/IAE INFRAERO (GOULART, 1993). Em 2005, esses dados foram atualizados por Carlo (2005) a partir de uma parceria entre empresas como Eletrobrás, PROCEL, LabEEE e outros. Os arquivos climáticos de referência foram atualizados em 2012 e 2015 e estão disponíveis para download no site no Laboratório de eficiência energética (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. Após a norma do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15520) entrar em vigor, mais dados climáticos foram sendo disponíveis possibilitando o seu aperfeiçoamento e discussão no meio acadêmico (RORIZ, 2012). Neste contexto, foi disponibilizado arquivos climáticos de 411 municípios Brasileiros para download. No entanto, os arquivos climáticos para a cidade de Goiânia estão disponíveis no site Roriz Bioclimática (RORIZ, 2012) e contém muitos erros e estão desatualizados, sendo necessária uma atualização dos dados.

Em resumo, três tipos de arquivos climáticos foram produzidos. Os arquivos do tipo bin, para o programa DOE 2.1-E foram renovados, contendo a partir de então dados pré-calculados de radiação solar. Os arquivos com extensão tipo "*epw*" foram gerados pela primeira vez para simulação do desempenho térmico de edificações no programa *EnergyPlus*. Foram também criados arquivos climáticos para consulta de dados, no formato texto, "csv", de forma que o usuário possa não somente consultar mas manipular os dados horário caso seja de seu interesse. Acompanhando estes arquivos, foram também gerados os arquivos estatísticos dos arquivos em extensão "*bin*" e "*epw*", e planilhas com um resumo dos dados do arquivo em extensão "*csv*".

O clima pode ser caracterizado a partir de variáveis como temperatura e umidade, radiação solar, precipitação e ventos (POUEY, 2011). A climatologia analisa os padrões de variabilidade da atmosfera para um longo período (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). As normais climatológicas, forma mais divulgadas dos dados climáticos, se baseiam em médias anuais e mensais das variáveis climáticas que são não palpáveis para os projetistas e pouco úteis para as simulações computacionais.

Existem uma série de metodologias envolvendo o diagnóstico do clima e diretrizes projetais na fase de concepção (CARLO, 2005). Alguns métodos se baseam apenas na diferença de temperatura máximas e mínimas, outros, incluem mais variáveis como vento e radiação solar, entre outros. A partir da determinação de períodos de verão e de inverno com a utilização de valores médios mensais das temperaturas máximas e mínima é possível fazer análises utilizando os seguintes métodos: Rivero (1986), as tabelas de Mahoney (1973), Aroztegui (1995), triângulos propostos por Evans e Schiller (1991). A utilização de dados médios não permite que haja uma análise detalha das horas mais quentes ou mais frias do dia e consequentemente, controlar a utilização de energia elétrica para climatização dos ambientes internos nas horas críticas de calor.

Já com dados climáticos horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos e radiação solar por um período de 10 anos é possível traçar um panorama climático local, mais adaptado às mudanças climáticas. A consideração de dados climáticos realistas e atualizados tem um efeito direto no dimensionamento de sistemas de climatização de edificações e na definição de estratégias de projeto bioclimático (Rossi et al. 2009). Utilizando esses dados, é possível analisar o bioclima térmico, que analisa não só o clima, mas também o conforto térmico no ambiente construído (Abreu et al. 2014). E também, desenvolver o arquivo climático de referencia (TRY) segundo o método da ASHRAE descrito por Goulard et al. (1998) que é um formato compatível com programas computacionais de avaliação termoenergética como *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da America e o DesignBuilder. Goulart, Lamberts e Firmino (1998) sistematizaram dados climáticos para as principais capitais brasileiras e disponibilizaram informações sobre dias típicos de verão e inverno, ano climático de referência, graus-dia e graus-hora.

Para desenvolver o arquivo TRY, exige uma análise qualitativa dos dados meteorológicos utilizados. Devido à falha humana, de equipamentos ou interrupção no fornecimento de energia, os registros de dados climáticos podem conter dados fora do padrão ou não registrados. Neste caso, os dados devem ser corrigidos. Existem alguns métodos de verificação como os testes descritos por Pittigliani (2000): *range* (confere os limites climatológicos máximos e mínimos); *step* (avalia a diferença máxima entre valores de dois dados consecutivos); *persistence* (verifica a persistência de um mesmo valor em uma série temporal); e *spatial* (realiza um exame espacial dos dados). No entanto, esses os dados são nulos por mais de 5h, é necessária a análise de dias anteriores e posteriores ao intervalo para fazer a interpolação a partir de dados no mesmo horário e tendências de variações diárias. Para períodos maiores, é preferível adotar dados de um ano anterior. Se as lacunas forem por vários dias consecutivos, os meses analisados, ou anos deverão ser descartados da compilação dos arquivos climáticos (Guimarães e Carlo, 2010; Abreu-Harbich, 2012).

Baseando na necessidade de atualizar os dados, bem como corrigir os dados faltantes dos arquivos climáticos disponíveis, este artigo visa apresentar resultados de uma análise feita a partir de dados obtidos pela estação meteorológica do aeroporto de Goiânia dos últimos 10 anos. Foi obtido os seguintes dados temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, ponto de orvalho, pressão atmosférica, radiação global. Logo, serão necessários cálculos analíticos para radiação solar difusa e temperatura de bulbo úmido, entre outras variáveis não medidas, para gerar os arquivos *Energy Plus Weather* (EPW) e CSV (*comma-separeted values*).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é identificar o ano climático para a cidade de Goiânia a partir de um banco de dados fornecido pela Estação Meteorológica do Aeroporto Santa Genoveva, utilizando a metodologia da ASHRAE descrita por Goulart (1998).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

Goiânia (16° 40 S; 49° 15 W; 749m) situa-se na região centro-oeste do Brasil, sendo a capital mais próxima da capital federal Brasília (cerca de 200Km). É a segunda capital mais populosa do centro-oeste, superada por Brasília. Na década de 60, a cidade sofreu um acelerado crescimento populacional, e hoje possui cerca de 1 milhao e quatrocentos mil de habitantes (IBGE) e com densidade habitacional igual a 1 782,5 habitantes/km^2.

A cidade de Goiânia apresenta um regime pluviométrico bem definido, configurando uma estação seca (maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a janeiro). Os meses de fevereiro, março e abril possuem uma intensidade razoável de chuvas, caracterizando uma transição entre os períodos. Os índices de umidade relativa variam de 52%, em agosto (mês mais seco do ano), e 82%, no período de dezembro a março (Ochoa; 2010). Neste trabalho, a descrição do clima será atualizada de acordo com os dados dos últimos 10 anos (2005 a 2014).

Figura 1 – Localização de Goiânia- Go



Fonte: Google Earth

3.2. Metodologia de análise de dados

Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, pressão atmosférica, radiação solar e precipitação utilizados neste estudo foram obtidos através da estação meteorológica do aeroporto Santa Genoveva, que se encontra em uma área urbana, livre de obstáculos (lat.: 16.64º S; Long.: 49,22 W, alt. 727 m). O período estudado é de 10 anos (1 janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2014). O intervalo dos dados é horário.

Com auxílio de uma planilha no software Excel, todos os dados foram verificados. O primeiro passo é identificar os dados faltantes no arquivo. Devido às falhas decorrentes de problemas de sensores ou sinais de satélite, os dados são registrados com a "*NULL*". Esta palavra que significa um erro no dado. Os erros identificados devem ser substituídos pela série de dados do mesmo dia e horário de um ano anterior com um comportamento similar ao daquele ano. Caso o ano anterior não tenha um comportamento similar aquele em que o dado está faltando, deve-se observar o comportamento médio dos dados com os anos anteriores. Além disso, as temperaturas negativas ou muito baixas podem ser excluídas da análise, caso não seja apresente inconsistência.

Para identificação do Test Reference Year (TRY) foi utilizada a metodologia desenvolvida pela ASHRAE (1993), descrita por GOULART (1998). O TRY é identificado a partir de um procedimento que utiliza somente as temperaturas médias mensais dois anos estudados. A metodologia consiste 4 passos em:

1. Calcular as temperaturas médias mensais para cada ano disponível (2005a 2014) (Tabela 1).

Tabela 01 – Médias das Temperaturas do ar para os anos de 2005 a 2014

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2005	24.21	24.14	24.11	24.44	21.62	20.99	20.90	23.21	26.39	26.78	25.29	26.18
2006	24.70	24.25	24.52	24.61	22.62	23.68	23.76	25.10	26.07	25.37	24.31	24.21

2007	24.60	23.98	24.57	24.28	21.52	20.93	21.61	22.86	26.14	26.56	24.73	23.69
2008	23.61	23.53	23.40	23.54	21.09	20.50	19.84	22.95	24.66	25.45	24.14	23.85
2009	24.22	24.23	24.25	22.83	21.82	20.29	21.73	22.95	24.95	24.48	24.72	23.73
2010	24.52	24.99	24.44	23.35	21.96	20.67	22.09	22.60	26.39	25.41	24.07	24.15
2011	23.91	23.87	23.46	23.71	21.71	20.56	21.06	23.69	25.69	23.55	23.77	23.27
2012	22.78	23.40	23.74	23.84	21.31	21.78	20.79	22.35	25.29	26.38	24.10	24.84
2013	23.65	24.09	24.47	23.07	22.24	21.98	20.94	22.63	25.12	24.81	23.98	23.84
2014	24.30	24.00	23.40	23.78	21.92	21.20	20.94	23.19	26.07	26.50	24.53	23.72

2. Fazer uma coluna onde será selecionando o mês mais quente (que apresentava temperatura média mais alta) e o mês mais frio (que apresentava temperatura média mais baixa). Por exemplo, nesta análise o mês mais quente foi outubro de 2005 e o mais frio junho de 2008. Os meses escolhidos na etapa 2 foram eliminados, restando 10 meses, ou seja, para a próxima seleção os meses de outubro e junho serão desconsiderados. Destes 10, selecionou-se novamente o mês mais quente e o mês mais frio, e assim sucessivamente.

3. Desta forma, obteve-se uma tabela com os doze meses listados na ordem de seleção: na primeira coluna, os meses estão colocados de acordo com as condições (mais quente ou mais frio) e, na segunda, de acordo com o ano em que iam aparecendo (Tabela 2).

Tabela 02 - Seleção dos meses para determinar o ano climático de referência

2ª etapa	**ano**	**3ª etapa**	**ano**
outubro mais quente	2005	outubro mais frio	2011
julho mais frio	2008	julho mais quente	2006
setembro mais quente	2006	setembro mais frio	2008
junho mais frio	2009	junho mais quente	2006
dezembro mais quente	2005	dezembro mais frio	2011
maio mais frio	2008	maio mais quente	2006
novembro mais quente	2005	novembro mais frio	2011
agosto mais frio	2012	agosto mais quente	2006
fevereiro mais quente	2010	fevereiro mais frio	2012
janeiro mais frio	2012	janeiro mais quente	2014
abril mais quente	2006	abril mais frio	2009
março mais frio	2014	março mais quente	2007

4. Fazer uma coluna com os doze meses selecionados na etapa 3, porém com as condições invertidas.
5. A medida que os anos forem selecionados na sequência dos pares dos doze meses, eles são eliminados. Ou seja, se outubro de 2005 foi considerado o mês mais quente, ele foi desconsiderado da análise. Assim, o último ano que apareceu é o ano climático de referência (TRY).

Esta analise observou que o ano de referência encontrado foi o ano de 2013.

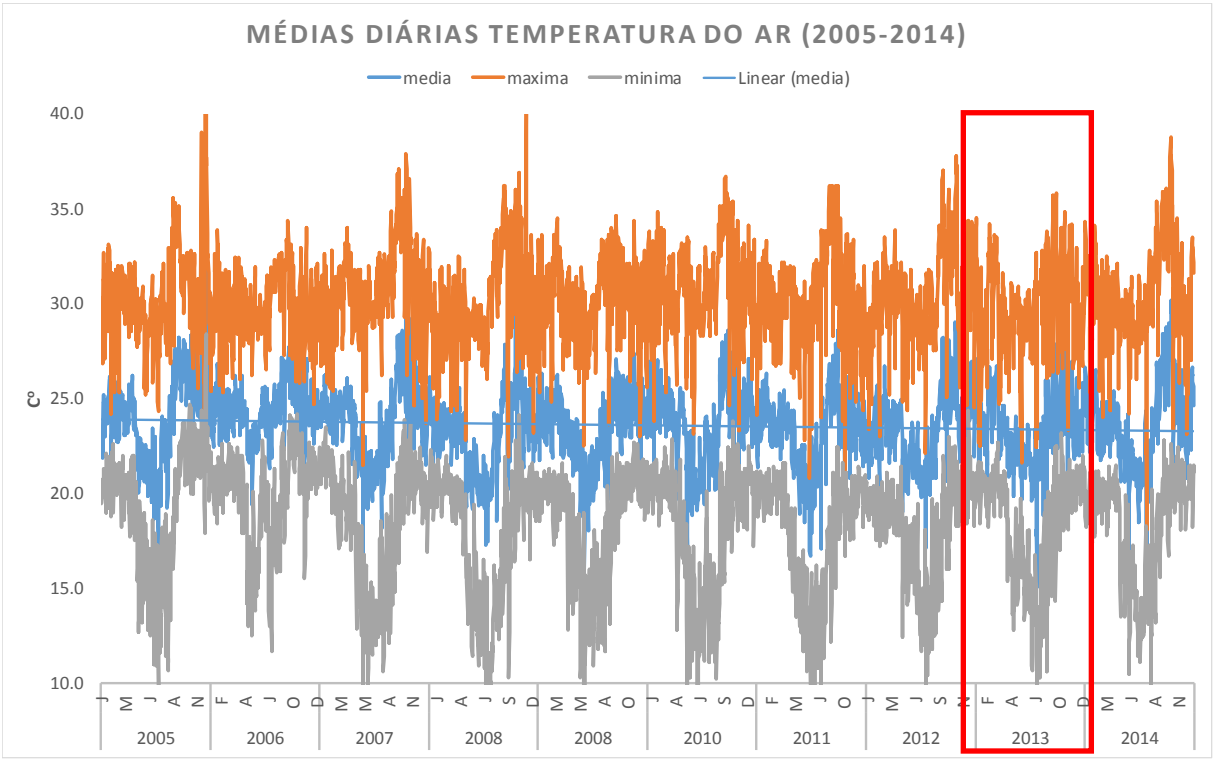
4. RESULTADOS

A figura 02 apresenta as médias, máximas e mínimas da temperatura do ar.

O mês mais quente encontrado nesta análise foi outubro de 2005 e o mês mais frio foi junho de 2008. O ano mais frio foi 2007 e o mais quente, 2006. A média da temperatura do ar para o período estudado encontrada é de 23.59º C. A temperatura do ar máxima das máximas é 41ºC e a mínima das mínimas é 8º C.

A figura 03 apresenta a frequência das temperaturas do ar. A temperatura mais frequente é de 24º C, porém no período da tarde, as temperaturas ficam em torno de 29º C causando um desconforto tanto nos ambientes internos e externo. A tabela 03 apresenta as horas de desconforto mensais e anuais para o ano de 2013. O mês de setembro foi o que apresentou mais horas de desconforto, seguidos pelo mês de outubro e março. Desconforto por frio, ou seja, temperaturas abaixo de 18º C foram encontradas apenas 2 horas no mês de julho.

Figura 2 – Médias, Máximas e Mínimas da Temperatura do ar para o período 2005 a 2014



Fonte: Autor

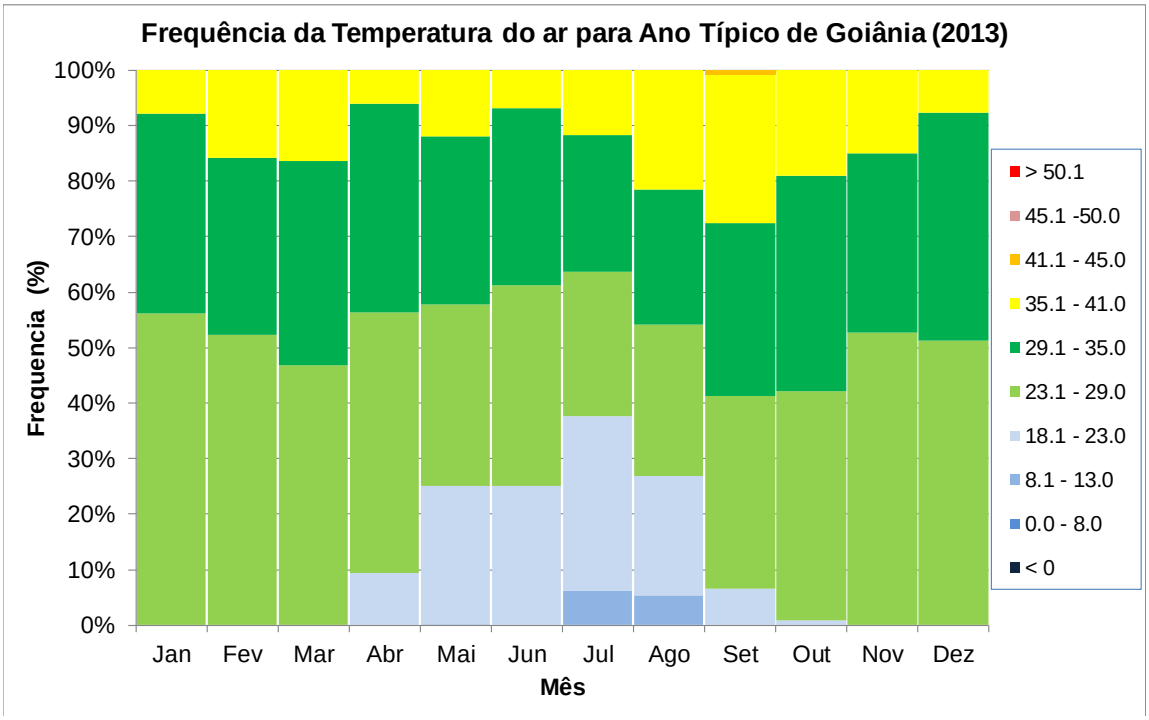
Tabela 03 -Desconforto por calor para o ano de 2013

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
24	13	16	18	4	1	0	0	8	24	18	16	13	131
25	6	10	14	0	0	0	0	4	11	13	6	4	68

26	2	3	8	0	0	0	0	0	10	7	4	1	35
27	1	0	0	0	0	0	0	0	6	3	0	0	10
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

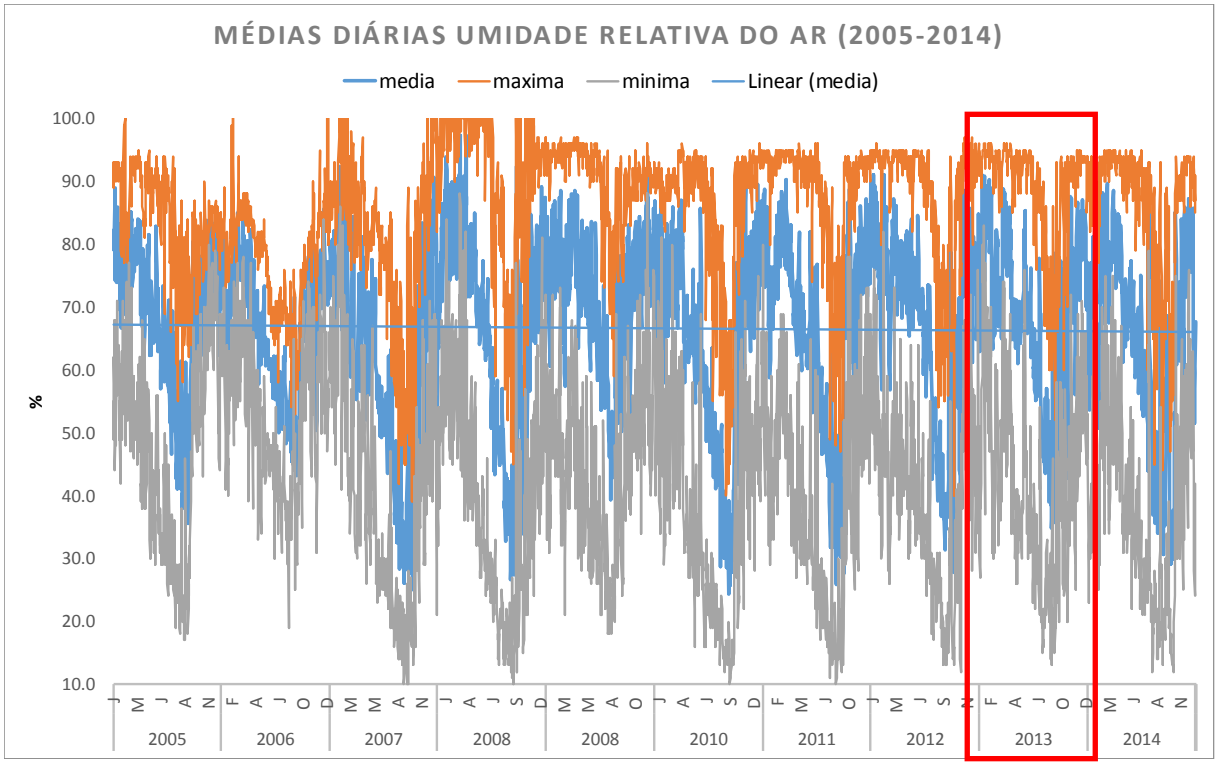
A figura 04 apresenta as médias, máximas e mínimas da temperatura do ar. A média da umidade relativa do ar é de 71.26 %. O mês mais seco é agosto com média mensal de 53,33%, porém a média mais baixa registrada é de 43,56% em setembro de 2007. O mês mais úmido é dezembro com a média mensal de 88,1% e o mês mais úmido do período estudado é dezembro de 2009, com 91%. Observou-se que o clima tropical com estação seca predominante, onde amplitude térmica varia entre 10 a 17° C.

Figura 3 – Frequência da Temperatura do ar para o período de 2005 a 2014



Fonte: Autor

Figura 4 – Médias, Máximas e Mínimas da Umidade Relativa do ar para o período de 2005 a 2014



Fonte: Autor

4 CONCLUSÕES

A identificação do perfil climático de cidades tropicais auxilia no desenvolvimento de diretrizes projetuais que visam à eficiência energética tanto de ambiente internos como externos, porém nem sempre estão disponíveis para algumas cidades brasileiras como Goiânia, Goiás. Este artigo visa identificar o ano climático de referência, para a cidade de Goiânia-Go, obtido por meio da metodologia do Test Reference Year (TRY). Também, analisa os dados históricos de temperatura do ar, umidade relativa, radiação Solar, precipitação e velocidade do ar.

A metodologia que consiste na seleção de um ano climático a partir da eliminação de anos de dados com temperaturas médias mensais extremas (altas e baixas) permanecendo apenas um ano, constatou que o ano climático de referência é o ano de 2013. A partir disso, pode-se fazer uma série de análises para a descrição do clima envolvento temperatura e umidade. Identificou que as horas de desconforto no ano típico se deve mais por calor do que por frio. Salienta-se que o intervalo de temperaturas confortáveis considerada neste analise é baseada na ASHRAE, (1993). No entanto é necessário um estudo mais aprofundado, incluindo entrevistas com pessoas em ambientes internos e externos para se identificar a temperatura de confortável para as pessoas que vivem na cidade de Goiânia.

Salienta-se que o desenvolvimento do arquivo climático para Goiânia é necessário, porém ainda está em desenvolvimento. Os próximos passos será, organizar os dados em um arquivo incluído o cálculo de dados não medidos como a radiação difusa, entre outros.

O desenvolvimento de um arquivo climático atualizado ajudará no desenvolvimento de pesquisas sobre eficiência energética desenvolvidos na Universidade Federal de Goiás, bem como no desenvolvimento de projetos de edificaçõe que se apoiam em simulações computacionais para a tomada de decisões em projeto.

AGRADECIMENTOS

A CAPES e FAPEG pelo apoio financeiro da pesquisa de Pós-Doutorado e Mestrado

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V., LABAKI, L.C., MATZARAKIS, A. Thermal Bioclimate as factor in urban and architectural planning in tropical climates – The case of Campinas, Brazil. **Urban Ecosystems,** v. 17, n. 2, p. 489-500, Jun. 2014.

AKUTSU, M., VITTORINO, F., KANACIRO, C. (1993): Tratamento estatístico de dados climáticos para a definição dos períodos de verão e de inverno. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, 1993, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: ANTAC, ABERGO, SOBRAC.

AROZTEGUI, J. M. (1995): El Proyecto para la eficiencia térmica de los edificios. III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado/RS. (apostila de curso)

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 1993 **Handbook of Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE. Cap. 24. p. 24.1-24.23.

CARLO, J. C. AET N. 02/04 - ELABORAÇÃO DE REGULAMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES EFICIENTES. PROCESSAMENTO DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS PARA SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES. Relatório: LabEEE-200504. 2005

EVANS, J.M., SCHILLER S.D. Climate and urban planning: the example of the planning code for Vicente Lopez, Buenos Aires. Energy and Buildings 15–16: 35–41. 1991

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção; UFSC, 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contagem da população 2015.

INMET – Instituto Nacional de Meteogologia. Arquivos Climáticos. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/ >

KOTTEK, M., GRIESER, J. , BECK, C. , RUDOLF, B. , RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift,** v. 15, n.3,p. 259-263, Jun. 2006

PITTIGLIANI, M. Controle de Qualidade De Dados Hidrometeorológicos Do Simepar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIAM, 11., Rio de Janeiro, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2012a.

RORIZ, M. **Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 2012b.

TAVARES, L. R., AMORIM, C. N. D. Identificação do ano climático de referência para a cidade de Uberlândia - Mg . In: Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído, 2010, Fortaleza. **Anais...** ANTAC 2010.

ROSSI, F.; DUNKE, E; KRÜGER, E. Atualização do ano climático de referência para Curitiba. In: Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, 2009, Natal. **Anais...** ANTAC 2009.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** 2. ed. Porto Alegre: DC Luzzato/UFRGS. 1986

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A INFLUÊNCIA DA FORMA DE PRATELEIRAS DE LUZ NA CAPTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO INTERNA DA VENTILAÇÃO NATURAL EM UM AMBIENTE[1]

ACCIOLY, Luísa (1); OLIVEIRA, Poliana (2); BITTENCOURT, Leonardo (3)

(1) UFAL, e-mail: luisa_patury@hotmail.com; (2) UFAL, e-mail: polianalopes.ufal@gmail.com; (3) UFAL, e-mail: lsb54@hotmail.com

RESUMO

Entre as estratégias bioclimáticas para o clima quente e úmido, a promoção do movimento do ar no interior das edificações é a mais recomendada. O fluxo do ar nos ambientes depende de uma série de variáveis projetuais, entre elas a localização e formato de componentes nas proximidades das aberturas, que proporcionam maior ou menor resistência à passagem do vento e o direcionam. A prateleira de luz é um deles, usado a fim de aperfeiçoar o direcionamento de luz natural em ambientes, e dependendo de sua forma pode influenciar na distribuição interna de ar. Diante desse contexto este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente o comportamento da ventilação natural no interior de um ambiente com ventilação cruzada, com aplicação de prateleiras de luz em quatro formatos: superfície plana, plana com curvatura na extremidade externa, plana com curvatura na extremidade interna e plana com curvatura nas extremidades externa e interna. Foram realizados ensaios na mesa d'água utilizando o método de visualização analógica com escoamento do vento em modelos físicos reduzidos. Os resultados sugerem que o desempenho do modelo de prateleira de superfície plana com curvatura nas extremidades externa e interna é superior aos demais para a ventilação natural do ambiente estudado.

Palavras-chave: Ventilação natural. Conforto térmico. Prateleira de luz. Mesa d'água.

ABSTRACT

Among the bioclimatic strategies for the hot humid climate, promoting natural ventilation inside buildings is the most recommended one. The air flow inside a room depends on a number of architectural variables, including the location and shape of building components near openings, which can offer more or less resistance to wind, affecting the flow direction. A light shelf is one of those components, used to improve the lighting inside buildings, and may also affect the internal air distribution depending on its form. In this context, this study intends to compare the natural ventilation performance inside a room with cross ventilation with the application of light shelves where four different shapes were used: flat surface, flat surface with external curved chamfer, flat surface with internal curved chamfer, and flat surface with internal and external curved chamfer. Simulations were performed on a water table with use of analog display method with wind flow in reduced physical models. Results suggest that better air flow distribution and higher air speed inside the studied model is obtained with the light shelf model with a flat surface with curvature the outer and inner ends.

***Keywords**: Natural ventilation. Thermal comfort. Shelf light. Water table.*

[1] ACCIOLY, Luísa; OLIVEIRA, Poliana; BITTENCOURT, Leonardo. A influência da forma de prateleiras de luz na captação e distribuição interna da ventilação natural em ambiente. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ENTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Para regiões que sofrem os efeitos da alta temperatura e da umidade, considera-se que a estratégia bioclimática mais importante é a de evitar ganhos de calor através do sombreamento das aberturas e promover o movimento do ar. A manipulação da ventilação natural é uma das soluções mais eficazes para proporcionar o conforto térmico em edifícios neste clima (HERTZ, 1998).

A configuração do fluxo do ar no interior das edificações está sujeita aos efeitos produzidos por algumas variáveis arquitetônicas, que é determinada por três fatores principais: tamanho e localização das aberturas de entrada, tipo das esquadrias e a localização de outros componentes nas proximidades das aberturas. Estes componentes são comumente criados para proteção solar, captação de vento ou direcionamento da luz natural. São eles: beirais, brises, peitoris ventilados, prateleiras de luz, marquises, entre outros. A tipologia das aberturas, em conjunto com a forma destes elementos externos, afetam a distribuição do fluxo de ar interno e influencia diretamente na ventilação dos ambientes onde são utilizados estes componentes, podendo oferecer maior ou menor resistência à passagem do vento (OLGYAY; 1998).

Estudos vêm sendo realizados no que se refere à variação da geometria desses elementos externos, para conhecer seus desempenhos e melhor aplicação. Bittencourt (1995) desenvolveu um estudo que avalia o efeito da forma de elementos vazados (cobogós) no comportamento de ventilação natural, e percebeu que a forma desse elemento influencia no fluxo e velocidade do vento. Bittencourt e Candido (2007) analisaram a utilização de peitoris ventilados em formatos ortogonais, inclinados e curvos e concluiram que os curvos apresentam maior eficácia que os outros na ventilação.

Existe uma lacuna, na literatura, quanto à abordagem da influência da geometria da prateleira de luz no desempenho da ventilação, elemento muitas vezes usado a fim de aperfeiçoar o direcionamento de luz natural no interior dos ambientes. Pesquisas afirmam que dependendo do formato de projeções horizontais da prateleira de luz, o vento pode ter sua velocidade reduzida ou aumentada (OLGYAY; 1998). A distribuição interna do fluxo de ar passa a ser influenciada por campos de pressão gerados no entorno das aberturas da construção pelo vento e pelas pressões existentes ao redor da abertura (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008).

Em estudo realizado por Taufner, Maioli e Alvarez (2014), foi analisada uma comparação entre o desempenho luminoso das prateleiras de luz curvas e prateleiras de luz planas, a fim de investigar o efeito destas diferentes formas na iluminância no interior de um ambiente. Foi constatado que as prateleiras curvas, em comparação com as planas, foram mais eficazes no redirecionamento da luz para dentro do ambiente. No entanto, não há conhecimento de como esta prateleira de luz curva interfere na ventilação natural.

Para este estudo foram realizados ensaios na mesa d'água, com o intuito de investigar qualitativamente a ventilação natural em ambientes com prateleiras de luz de diferentes formatos, através do método de visualização analógica do comportamento da ventilação natural de modelos físicos reduzidos. Este equipamento se apresenta como uma alternativa interessante para este fim, devido ao seu baixo custo e fácil operacionalidade (TOLEDO; PEREIRA, 2003).

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo comparar o comportamento de quatro formatos de prateleira de luz na captação e distribuição do fluxo de ar no interior de um ambiente.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas descritas a seguir:

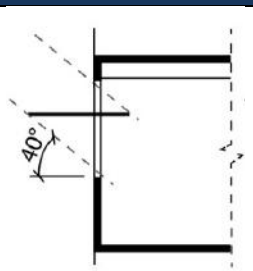
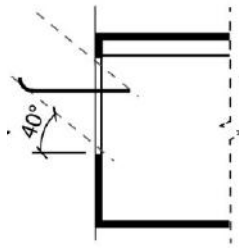
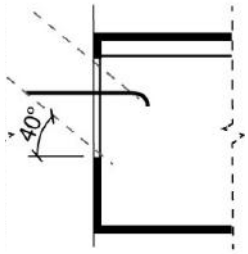
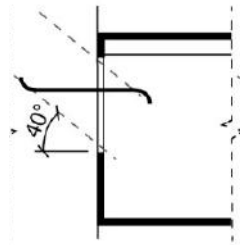
1. Definição dos modelos a serem avaliados;
2. Confecção das maquetes;
3. Realização dos ensaios analógicos na mesa d'água;
4. Análise dos resultados.

3.1 Definição dos modelos a serem avaliados

Foram adotados quatro modelos de prateleira de luz, dos quais dois deles foram previamente propostos e estudados por Taufner, Maioli e Alvarez (2014), onde investigaram a distribuição de luz natural no ambiente de acordo com a forma do elemento. Os dois modelos possuem mesmo comprimento no plano horizontal com um ângulo de 40º em relação ao peitoril da janela inferior. Os formatos adotados para este experimento foram: superfície plana, plana com curvatura na extremidade externa, plana com curvatura na extremidade interna e plana com curvatura nas extremidades externa e interna (ver tabela 01).

O modelo 01 é plano em toda sua superfície, o modelo 02 possui curvatura na extremidade externa, no modelo 03 a curvatura é na extremidade interna, e por fim, o modelo 04 possui curvatura na extremidade interna e externa (Tabela 01). O ambiente adotado para os ensaios com a utilização das prateleiras de luz possui 9m², com dimensões 3,00 x 3,00m, 2,70m de pé-direito, peitoril padrão de 1,10m e janelas de 1,20 x 1,00m em lados opostos, proporcionando a ventilação cruzada.

Tabela 01 - Modelos a serem avaliados no ensaio analógico na mesa d'água

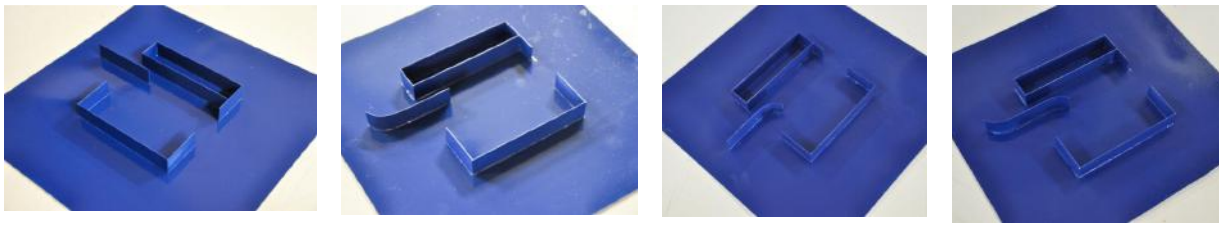
Elemento	Modelo	Configuração		Representação (corte)	Escala
Prateleira de luz	**1**	Extremidade reta	180°		1/25
	2	Extremidade externa curva	R= 50cm		1/25
	3	Extremidade interna curva	R= 50cm		1/25
	4	Extremidade externa e interna curva	R= 50cm		1/25

Fonte: Os autores. Imagens adaptadas de Taufner, Maioli e Alvarez (2014).

3.2 Confecção das maquetes

Para realização dos ensaios analógicos na mesa d'água foram confeccionados modelos reduzidos (maquetes) utilizando uma placa branca de PVC, escolhida por ter boa resistência e ser impermeável. Devido à cor clara do material, as maquetes foram coloridas com tinta spray azul escuro a fim facilitar a visualização da espuma durante o ensaio na mesa d´água. Os modelos foram produzidos na escala de 1/25 com uma base de 30cmx30cm e altura de 2 cm (Figuras 01, 02, 03 e 04).

Figuras 01, 02, 03 e 04 - Maquetes físicas dos modelos de prateleira de luz, da esquerda para direita: de superfície plana, plana com extremidade externa curva, plana com extremidade interna curva e extremidade externa e interna curvas.

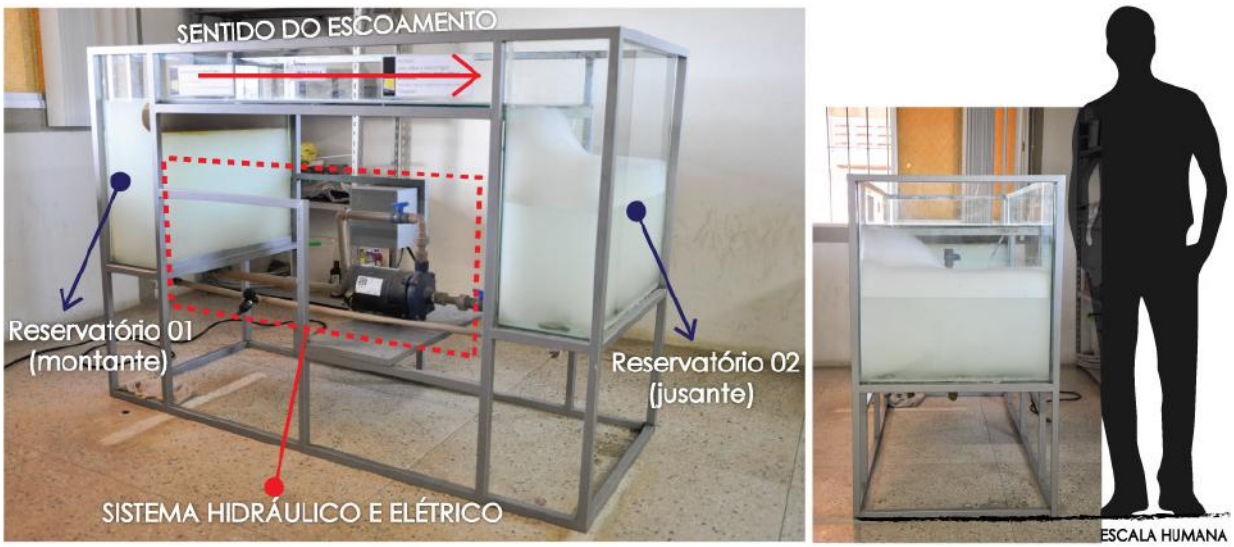


Fonte: Os autores

3.3 Realização dos ensaios analógicos na mesa d'água

A mesa d'água é composta por uma placa horizontal de vidro transparente montada em uma estrutura de perfis metálicos, sobre a qual a água escoa em velocidade uniforme, ao longo de sua largura, e que constitui o campo de observação e ensaio (TOLEDO; PEREIRA, 2003) (ver Figura 05). Com a maquete fixada no centro, o equipamento é acionado levando a água do reservatório montante para o reservatório jusante. A operação utiliza detergente lava-louça para a formação da espuma, para uma melhor vizualização do escoamento. O fluxo de ar é estimado através do escoamento da água com espuma, indicando o comportamento do vento ao atravessar a maquete (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

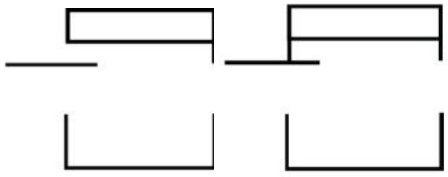
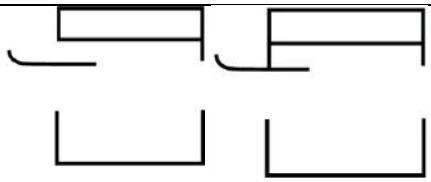
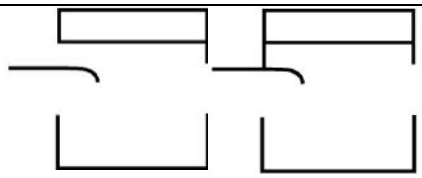
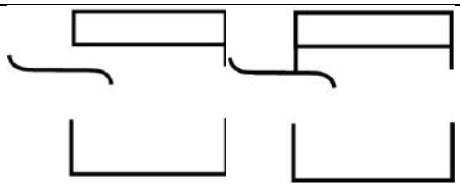
Figura 05 – Mesa d´água



Fonte: Os autores

Foram realizados oito ensaios, dois para cada modelo com variações das aberturas de entrada do vento. As aberturas de saída do ar foram mantidas abertas em todos os ensaios. As janelas de entrada do ar foram voltadas para a captação da ventilação predominante, no quadrante leste.

Tabela 02 - Variações dos ensaios realizados na mesa d'água

Modelo	Ensaios - Variações
 **01** - Prateleira de luz plana	1. Janelas superiores e inferiores **abertas**. 2. Janela superior **fechada** e janela inferior **aberta**.
 **02** - Prateleira de luz curva na extremidade exterior	1. Janelas superiores e inferiores **abertas**. 2. Janela superior **fechada** e janela inferior **aberta**.
 **03** - Prateleira de luz curva na extremidade interior	1. Janelas superiores e inferiores **abertas**. 2. Janela superior **fechada** e janela inferior **aberta**.
 **04** - Prateleira de luz curva nas duas extremidades	1. Janelas superiores e inferiores **abertas**. 2. Janela superior **fechada** e janela inferior **aberta**.

Fonte: Os autores

3.4 Tabulação para análise dos resultados

Para realização desta etapa, foram utilizadas fotografias e filmagens dos ensaios analógicos na mesa d'água. A análise realizada apenas com fotografias limita a precisão do movimento do ar percorrido no interior dos ambientes, podendo gerar interpretações distorcidas. Portanto uma melhor análise foi realizada através da visualização de vídeos e elaboração de imagens gráficas com vetores para simular o percurso do vento.

4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para efeito de análise, os resultados de simulações dos quatro modelos foram agrupados em duas variações para as prateleiras de luz na captação

de vento: janelas superiores e inferiores abertas, e janelas superiores fechadas e inferiores abertas.

4.1 Janelas superiores e inferiores abertas

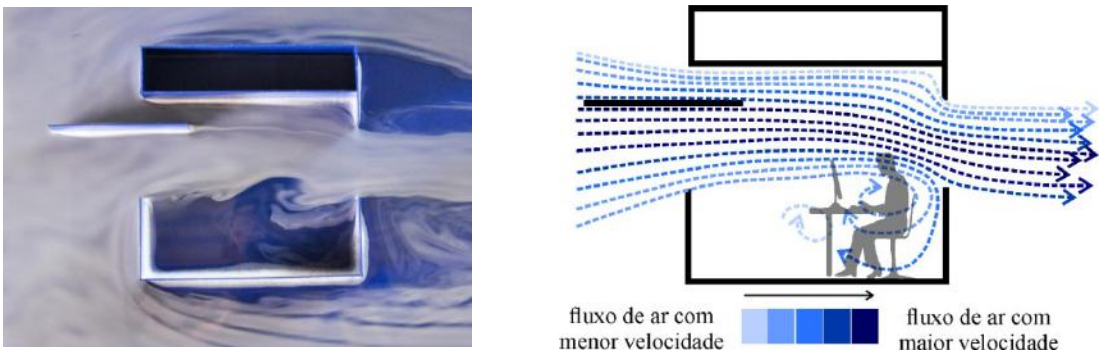
Para a situação em que as janelas inferiores e superiores estão abertas, observa-se que o modelo 01 apresenta um fluxo de ar uniforme, que permeia o ambiente de forma contínua com maior velocidade que os outros modelos. A geometria da prateleira, nesse caso, não tem interferência significativa na entrada do vento como tem nos demais modelos (Figuras 06 e 07).

No caso do modelo 02, nota-se um comportamento mais turbulento na captação do vento, formando zonas mais significativas de recirculação tanto na janela inferior quanto superior. Verificou-se que a geometria curva da prateleira age como uma obstrução na janela superior, dificultando a captação e reduzindo o volume de ar que entra pela mesma (Figuras 08 e 09).

As prateleiras dos modelos 03 e 04 (Figuras 10, 11, 12 e 13), por apresentarem a extremidade interna curva, fazem com que haja uma diminuição na velocidade do ar no interior.

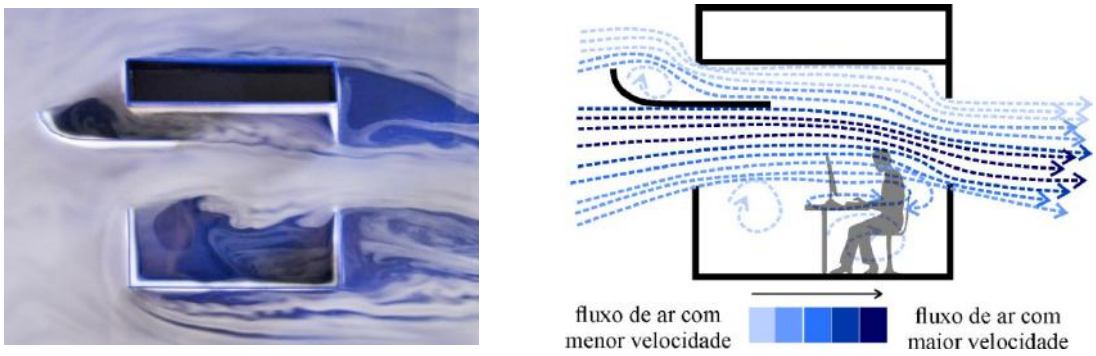
Percebe-se que para estas condições onde ambas as janelas estão abertas, o modelo 01 propicia uma ventilação mais fluida com maior uniformidade na distribuição de vento e menor ocorrência de zonas de recirculação, enquanto que os modelos 02 e 04 oferecem maior resistência à entrada de ar na janela superior. Os modelos 03 e 04 direcionam o vento para a altura do usuário, o que é interessante.

Figuras 06 e 07 – Escoamento do ar no interior do modelo 01



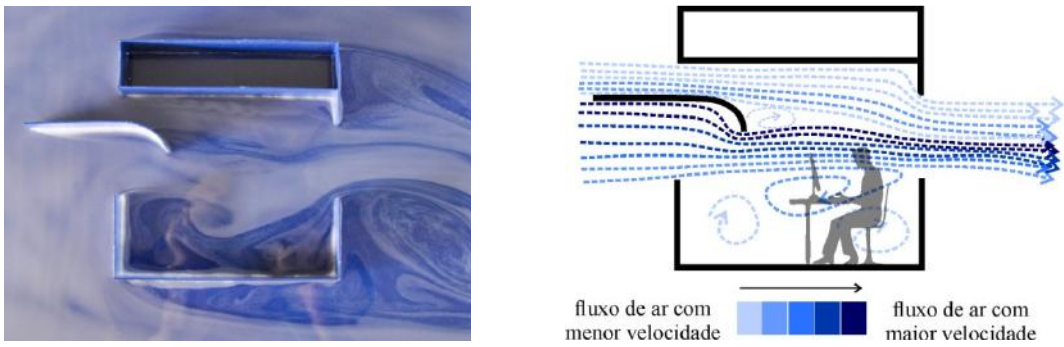
Fonte: Os autores

Figuras 08 e 09 – Escoamento do ar no interior do modelo 02



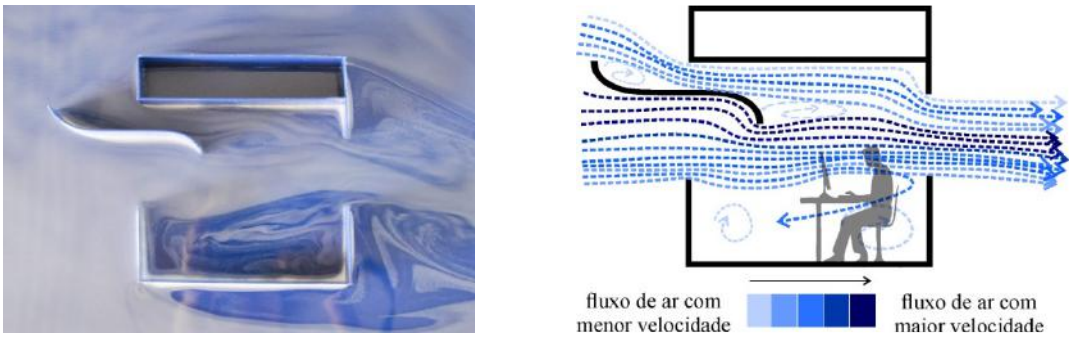
Fonte: Os autores

Figuras 10 e 11 – Escoamento do ar no interior do modelo 03



Fonte: Os autores

Figuras 12 e 13 – Escoamento do ar no interior do modelo 04



Fonte: Os autores

4.2 Janelas superiores fechadas e inferiores abertas

Com o fechamento da janela superior, a ventilação cruzada ocorre através de aberturas alinhadas de entrada e saída iguais, e é possível perceber com maior clareza a interferência direta da forma da prateleira de luz no desempenho da ventilação no interior do ambiente.

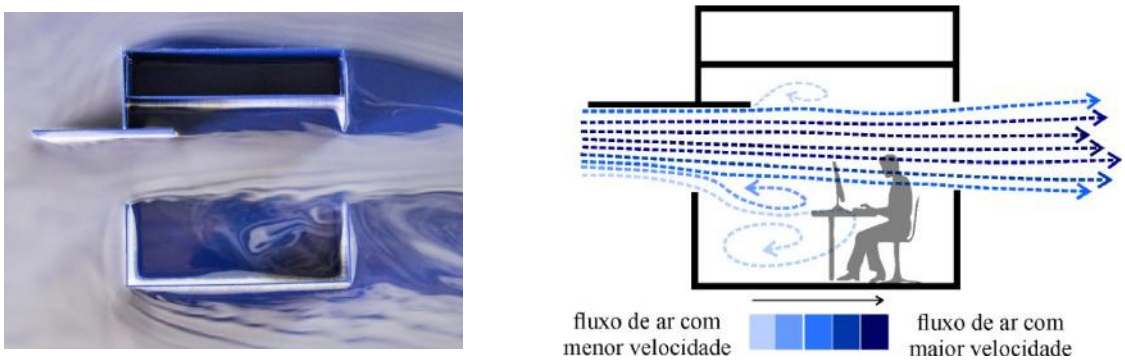
O escoamento do ar dentro do ambiente do modelo 01 (Figuras 14 e 15) ocorre uniformemente, sem resistência. A forma da prateleira não causa interferência no movimento do ar, e deixa que o mesmo atravesse o ambiente sem alteração na sua direção.

Já os modelos 02 e 04 (Figuras 16, 17, 20 e 21) exercem um papel de potencializar a captação de ar, pois o formato curvo da extremidade da

prateleira redireciona para dentro uma porção maior da corrente de ar que seria desviada acima do edifício. No entanto, este maior volume de ar captado no exterior tem sua velocidade reduzida no interior, apresentando uma formação de zona de recirculação mais significativa próxima à saída do ar, do que no caso do modelo 01 (Figuras 14 e 15).

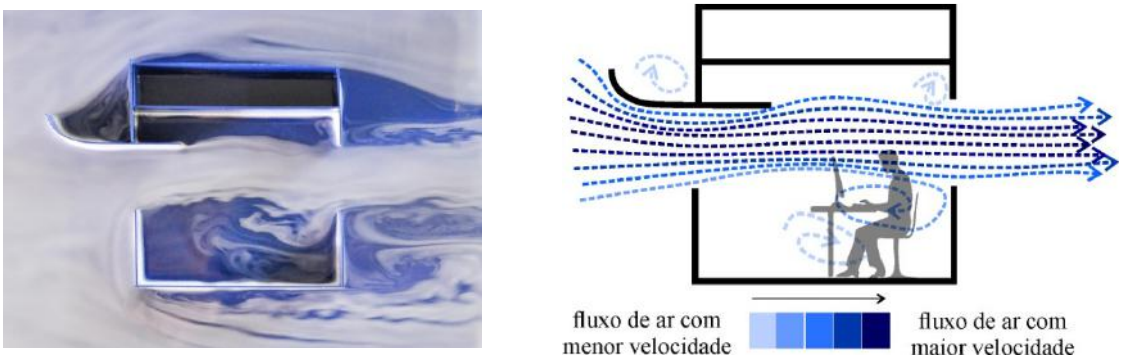
Pode-se verificar que os modelos 03 e 04, assim como já citado na variação anterior, também direcionam o fluxo de ar na altura do usuário, porém em menor velocidade do que quando as duas janelas estavam abertas (Figuras 18, 19, 20 e 21).

Figuras 14 e 15 – Escoamento do ar no interior do modelo 01



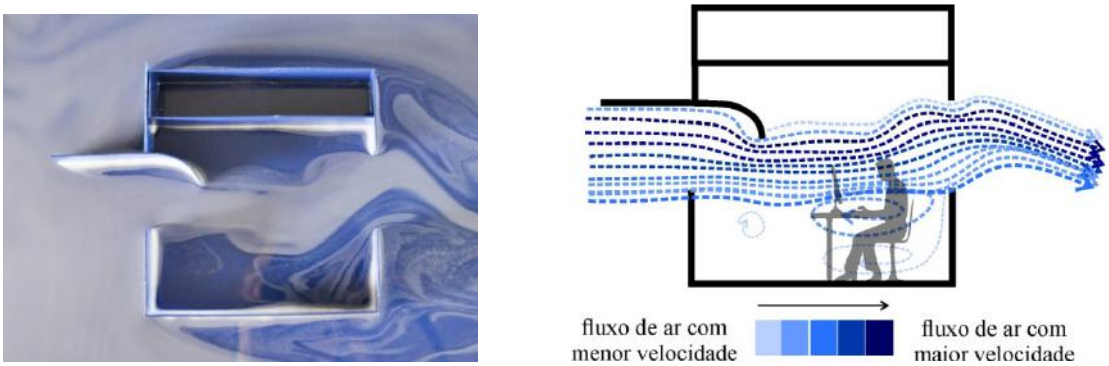
Fonte: Os autores

Figuras 16 e 17 – Escoamento do ar no interior do modelo 02



Fonte: Os autores

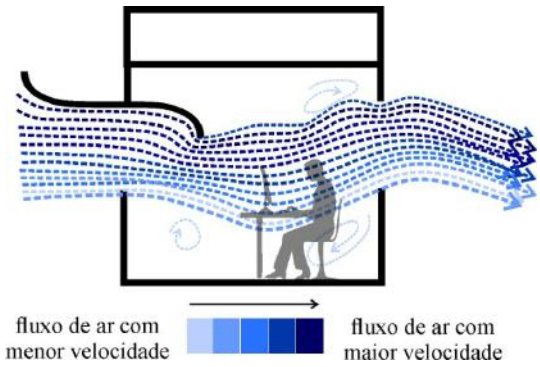
Figuras 18 e 19 – Escoamento do ar no interior do modelo 03



Fonte: Os autores

Figuras 20 e 21 – Escoamento do ar no interior do modelo 04





Fonte: Os autores

Comparando-se as quatro tipologias de prateleiras de luz analisadas, plana, curva na extremidade inferior, curva na extremidade exterior e curva nas duas extremidades, observou-se que as superfícies curvas produzem uma redução na velocidade do vento e geram mais zonas de recirculação do ar no ambiente, comparado à prateleira de luz plana que promove maior uniformidade na velocidade e fluxo do vento, onde seu formato potencializa o escoamento do ar. A utilização da prateleira de luz curva na extremidade interna foi mais eficiente na ventilação por ser uma boa alternativa quando se pretende redirecionar o fluxo do vento para a altura do usuário.

5 CONCLUSÕES

O estudo realizado por Taufner, Maioli e Alvarez (2014) comprovou que o modelo de prateleira de luz curva na extremidade externa obteve o melhor desempenho lumínico quando comparado à prateleira plana. Porém não se mostrou tão eficaz quando utilizado como elemento para melhorar a ventilação natural.

Portanto o modelo de superfície plana com extremidades internas e externas curvas, dentre os modelos analisados, é a tipologia que oferece melhor desempenho, pois atende ambas as funções (iluminação e ventilação natural). A variação da janela superior aberta seria mais interessante quando há a necessidade de troca de calor junto ao forro, eliminando o ar mais quente do ambiente. Já a variação da janela superior fechada apresenta uma configuração do ar mais direcionada à altura do usuário, sendo uma alternativa bem apropriada.

Este trabalho busca contribuir para diminuir a lacuna existente na literatura à respeito da forma da prateleira de luz e sua influência no comportamento da ventilação natural. Para futuros trabalhos recomenda-se uma análise comparativa entre os dois novos formatos aqui propostos (plana com curvatura na extremidade interna e plana com curvatura nas extremidades externa e interna) quanto seu desempenho lumínico no interior do ambiente.

REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, Leonardo S.; CÂNDIDO, Christina. **Introdução à Ventilação Natural.** Maceió: Edufal, 2008. 3ed. 173p.

BITTENCOURT, Leonardo S. Efeito da forma dos elementos vazados na resistência oferecida à passagem da ventilação natural. **Ambiente Construído**, Gramado, 1995. Disponível em: < http://www.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/3979 >. Acesso em: novembro 2015.

BITTENCOURT, Leonardo S.; SACRAMENTO, Alexandre da S.; CÂNDIDO, Christina; LEAL, Thalianne. Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 59-69, jul/set. 2007. Disponível em: http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3742/2095. Acesso em: dezembro 2012.

HERTZ, John. **Ecotécnicas em arquitetura : como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo : Pioneira, 1998.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima. Manual de Diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Editoriais Gustavo Gili: Barcelona, 1998.

TAUFNER, Mariani; MAIOLI, Ricardo; ALVAREZ, Cristina**. Desempenho de diferentes prateleiras de luz em edifício com entorno construído.** In: ENTAC 2014 - XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014. Disponível em: < http://lpp.ufes.br/desempenho-de-diferentes-prateleiras-de-luz-em-edif%C3%ADcio-com-entorno-constru%C3%ADdo >. Acesso em: novembro 2015.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F.O.R. **O potencial da mesa d´água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios.** In: ENCAC 2003- Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Curitiba, 2003. Anais ENCAC/COTEDI, 2003. Curitiba: 2003.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PALMAS, TO[1]

ALMEIDA, Ygor Feitas de (1); REINALDO, Raydel Lorenzo (2); SILVA, Liliane Flávia Guimarães da (3)

(1) UFT, e-mail: ygorfreitas@hotmail.com; (2) UFT, e-mail: rlorenzo@uft.edu.br; (3) UFT/IFTO, e-mail: lilianeg@ifto.edu.br

RESUMO

Diante da necessidade de assegurar ambientes que estejam alinhados às exigências dos usuários, a NBR 15575/2013 estabelece requisitos mínimos de segurança e conforto a serem atendidos na execução de empreendimentos da construção civil. Nesta ótica, esta pesquisa teve como objetivo estudar e analisar o desempenho térmico à luz da referida norma, através de um estudo de caso na cidade de Palmas, TO, a qual possui registro de altas temperaturas durante todo o ano. Os resultados encontrados, apesar de atenderem integralmente aos requisitos e critérios contidos na referida norma para a unidade estudada, evidenciaram a necessidade de uma revisão deste arcabouço normativo, na medida em que revelaram temperaturas internas maiores que temperaturas externas na maior parte do dia. Neste sentido, a contribuição deste estudo é, além de caracterizar o ambiente estudado, compreender os requisitos e critérios atribuídos, e a partir desta compreensão inferir sobre sua aplicabilidade e a necessidade de adequá-los às verdadeiras necessidades dos usuários.

Palavras-chave: Conforto térmico. Desempenho térmico. NBR 15575/2013. Palmas, TO.

ABSTRACT

Towards the need to ensure environments that are aligned with the requirements of users, the NBR 15575/2013 establishes minimum requirements for safety and comfort to be met in the execution of projects of construction. In this perspective, this research aimed to study and to analyze the thermal performance in accordance with this standard, through a case study in the city Palmas, TO, which has record of high temperatures throughout the year. The results, although fully attendance the requirements and criteria contained in that standard for the unit studied, show the need for a revision of this regulatory framework, because revealed higher indoor temperatures than outdoor temperatures for most of the day. In this sense, the study's contribution is to characterize the studied environment, and to understand the requirements and criteria assigned to infer its applicability and the need to adapt them to the real needs of users.

***Keywords**: Thermal comfort. Thermal performance. NBR 15575/2013. Palmas, TO.*

1 INTRODUÇÃO

A experiência brasileira na construção civil apresenta uma série de

[1] ALMEIDA, Ygor Feitas de; REINALDO, Raydel Lorenzo; SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas, TO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

patologias, inclusive acidentes e sinistros nas edificações. Tais problemas são geralmente ocasionados pela redução de custos e consequentemente pelo uso de materiais e métodos de baixa qualidade, como também pela falta de requisitos mínimos de construção. Além disso, os consumidores pautam-se normalmente por fatores estético-funcionais na escolha do imóvel, tanto pelo desconhecimento de critérios técnicos, como também pelo longo período em que muitas patologias demoram a surgir nas edificações, o que não ocorre na maioria dos produtos de consumo.

Diante da necessidade de nortear os critérios de qualidade da edificação, foi desenvolvida a primeira norma de desempenho no Brasil, a NBR 15220 (ABNT, 2003), no entanto, apenas de desempenho térmico. Esta norma estabeleceu requisitos construtivos de acordo com parâmetros climáticos da realidade brasileira para atender edificações unifamiliares de interesse social.

Posteriormente, em razão da limitação da primeira norma, deu-se início ao processo de desenvolvimento da norma de desempenho para edificações residenciais, a NBR 15575 (ABNT, 2008). Publicada em 2008, porém, para entrar em vigor em maio de 2012, esta norma buscou estabelecer requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações. No entanto, em 2012, perante uma discussão corrente quanto à sua aplicabilidade, e sob forte pressão do setor da construção civil, a norma foi revisada e republicada em fevereiro de 2013, com entrada em vigor a partir de julho de 2013 (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2013).

A versão final da NBR 15575 (ABNT, 2013) foi estabelecida com os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais, tanto de forma isolada, para um ou mais sistemas específicos, bem como de forma integrada, avaliando a edificação como um todo. Segundo a referida norma, desempenho diz respeito ao comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, e sua determinação é dada por meio da definição clara de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, para permitir a sua mensuração.

Tal demanda deve estar em conexão com outros requisitos, inclusive de viabilidade técnica e econômica, além da conexão necessária com as partes envolvidas tanto na análise *in loco* da obra, como em todo setor da construção civil. Ou seja, a aplicação da norma, embora clara pela determinação dos métodos especificados, não é tarefa fácil por envolver agentes com interesses muitas vezes divergentes, incluindo nesta discussão aspectos técnicos, econômicos e políticos.

Diversas pesquisas surgiram no Brasil com o objetivo de avaliar a adequabilidade da NBR 15575 (ABNT, 2013) para diferentes cenários, desde o uso de diferentes tipos de materiais, até a aplicação às diferentes zonas climatológicas no país. O presente estudo tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de uma edificação no Município de Palmas, TO, à luz da NBR 15575 (ABNT, 2013). A cidade de Palmas localiza-se na zona climatológica 7, e possui registro de altas temperaturas durante todo ano

(INMET, 2015). Por este motivo, um olhar mais atencioso deve ser lançado sobre a região, tendo em vista as suas características climáticas, sobretudo a temperatura, fator limitante ao atendimento dos padrões mínimos de conforto térmico.

2 METODOLOGIA

Para aplicar a metodologia descrita pela NBR 15575 (ABNT, 2013), é necessário entender quais são estes critérios e como estes podem ser analisados. A referida norma estabelece dois procedimentos de avaliação de desempenho térmico. O primeiro, chamado de simplificado (normativo), verifica o atendimento dos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas. Em caso de atendimento insatisfatório, a norma recomenda a aplicação de simulação computacional. O segundo procedimento é a Medição *in loco* na obra já concluída ou protótipo. Optou-se por desenvolver a análise com base no procedimento 1 e 2, porém, sem a utilização do método computacional, em virtude da ausência de algumas informações climáticas para a cidade de Palmas, como também por recomendação de outros estudos, como Grigoletti; Sattler (2010), Loura; Assis; Bastos (2011), Brito *et. al*. (2012), Oliveira; Souza; Silva (2013), Marques; Chvatal (2013), Sorgato; Melo; Lamberts (2013).

2.1 Método simplificado

Neste método verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação vertical interna e externa (SVVIE) e para os sistemas de coberturas. Para o SVVIE, é necessário o atendimento de três critérios: transmitância térmica (U) de paredes externas, capacidade térmica (CT) de paredes externas e aberturas para ventilação. Para os sistemas de coberturas, só há um requisito de atendimento: transmitância térmica (U).

De forma resumida, os valores dos dois primeiros critérios (U e CT) são obtidos por meio de uma tabela da NBR 15220 (ABNT, 2003), em que constam valores de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica para diferentes geometrias de blocos e espessuras de argamassas, assim como para diferentes tipos de coberturas. Já as aberturas de ventilação devem possuir dimensões efetivas mínimas de acordo com a relação com a área de piso do ambiente.

2.2 Medição *in loco*

A medição *in loco* prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios por meio da realização de medições de temperatura em edificações existentes ou mesmo em protótipos construídos para esta finalidade.

Segundo a norma, o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor(ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual

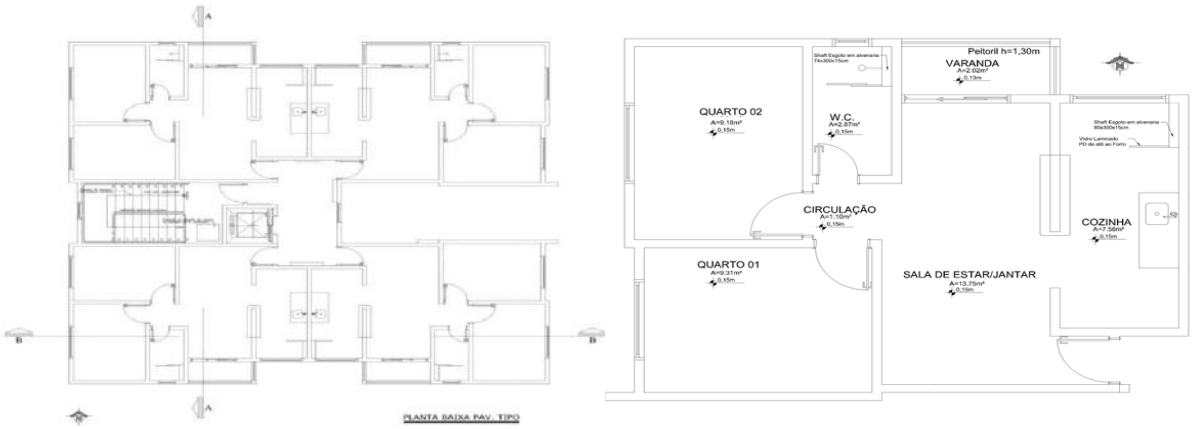
ao valor máximo diário de temperatura do ar exterior.

Os critérios apresentados pela norma são considerados para um dia típico de verão, com medições à sombra. Para as condições de inverno, a norma não especifica a necessidade de adotar critérios de desempenho térmico para a zona climática 7, onde localiza-se a cidade de Palmas.

2.3 Caracterização do edifício estudado

O Edifício[2] em estudo está situado no Plano Diretor Sul da cidade de Palmas, tendo área total 1882,18 m². É constituído por dois blocos de seis pavimentos, com quatro apartamentos cada, incluindo o térreo. Cada apartamento possui área total de 53,17 m² (Figura 1), em cujo programa constam: sala de estar/jantar (13,75 m²); varanda (2,01 m²); cozinha / área de serviço (7,56 m²); circulação (1,10 m²); banheiro social (2,88 m²); e dois quartos (quarto 1 com 9,31 m² e quarto 2 com 9,18 m²).

Figura 1 – Planta Baixa do Pavimento Tipo e Apartamento em estudo



Fonte: Os autores.

Para conjuntos habitacionais multipiso, a norma exige a seleção de uma unidade do último andar, cujas janelas de dormitório ou sala estejam voltadas para o oeste e a outra parede voltada para o norte. Optou-se pelo estudo do apartamento 601 do bloco B, que, além destes requisitos, possui a varanda orientada para o norte (Figura 2).

[2] Não identificado por solicitação da empresa construtora proprietária do empreendimento.

Figura 2 – Identificação da unidade de estudo



Fonte: Foto Almeida (2015).

2.4 Instrumentos

Para aplicação do procedimento simplificado, foi utilizado o memorial descritivo fornecido pela construtora, em razão da edificação encontrar-se concluída. Já para a aplicação do procedimento 2, a norma orienta que o período de medição deve corresponder à análise de um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes, e ainda, avaliar uma sequência de três dias e analisar os dados ao terceiro dia. Foi avaliado o período das 10h da manhã do dia 11/03/2015, às 10h da manhã de14/03/2015, totalizando 72 horas de coleta de dados.

Os equipamentos foram instalados conforme orientações da ISO 7726 (1998), no centro dos dormitórios e sala a 1,20 m do piso, conforme exigência da NBR 15575 (ABNT, 2003).

Para medição das temperaturas do ambiente interno (quartos e salas) foi utilizado Data Logger U12-013 da marca Hobo (Figura 3), que faz a leitura de temperatura e umidade. Este equipamento possui ainda dois canais externos para sensores de temperatura, utilizados para levantamento nos quartos. Trabalha na faixa de medição de temperatura entre -20°C a +70°C e umidade ente 5% a 95%. Possui precisão de +/- 0,35°C, com resolução de 0,03%. Para a realização do estudo, foi programado o armazenamento de dados a cada um minuto.

Já para medição de temperatura externa, foi utilizado o Data Logger UA-001-64, também da marca Hobo (Figura 3), que faz a leitura de temperatura e suporta submersão em água, podendo ficar exposto à chuva. Opera na faixa de medição entre -20°C a +70°C com precisão de +/- 0,47°C e resolução de 0,1°C.

Figura 3 – Instalação do equipamento interno (sala e quarto) e externo (varanda)



Fonte: Foto Almeida (2015).

3 RESULTADOS

3.1 Método simplificado

De acordo com o memorial descritivo, o edifício em estudo possui vedações internas e externas com blocos cerâmicos de 2 furos, com 14,0 x 29,5 x 19,0 cm, cuja espessura da argamassa de assentamento é de 1,0 cm e de emboço de 2,5 cm. Segundo especificações das tabelas da NBR 15220 (ABNT, 2003), com estes materiais temos U= 2,45 W/(m².K) e CT= 203 kJ/(m².K). Para a zona climática 7, a norma define a necessidade de Transmitância Térmica menor que 3,7 W/(m².K) e Capacidade Térmica maior ou igual a 130 kJ/(m².K).

Para as aberturas de ventilação, a norma exige aberturas efetivas maiores ou iguais a 7% da área de piso. O Edifício estudado possui sala com esquadria de correr com duas folhas de 1,65 x 2,10m, proporcionando 13,75 m² de área efetiva de ventilação, 12,58% em relação ao piso. Os quartos também possuem esquadria de correr com duas folhas de 1,50 x 1,20m, proporcionando 0,90 m² de área efetiva de ventilação, 9,67% em relação ao piso do quarto 1 e 9,8% em relação ao quarto 2.

Para o caso de cobertura com telha de fibro-cimento de 0,7 cm e forro de laje mista de 12,0 cm de espessura (Rt_{laje} = 0,0900 m².K/W e CT_{laje} = 95 kJ/(m².K), a norma apresenta U = 1,93 W/(m².K). Para a zona bioclimática 7, é definido pela NBR 15220 (ABNT, 2003) que, para valores de absortância menor[3] ou igual a 0,4, a transmitância térmica[4] para os sistemas de coberturas deverá ser menor ou igual a 2,3 W/(m²K).

O Quadro 1, abaixo, demonstra o atendimento do Edifício estudado a todas as exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) pelo método simplificado.

[3] A absortância térmica é tabelada pela norma em razão da cor do edifício. Neste caso, para o edifício estudado (verde claro). o valor da absortância é de 0,40.

[4] Adotando Fator de Ventilação igual a 1 (átrios não ventilados).

Quadro 1 – Atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013) no método simplificado

Item avaliado		Exigência da norma	Itens verificados	Resultado
SVVIE	Parede	U < 3,7 W/(m².K) CT ≥ 130 kJ/(m².K)	U = 2,45 W/(m².K) CT = 203 kJ/(m².K)	Atende
	Aberturas Sala	$A_{ventilação} \geq 7\% A_{piso}$	$A_{ventilação} = 12,58\% A_{piso}$	Atende
	Aberturas Quarto 1	$A_{ventilação} \geq 7\% A_{piso}$	$A_{ventilação} = 9,67\% A_{piso}$	Atende
	Aberturas Quarto 2	$A_{ventilação} \geq 7\% A_{piso}$	$A_{ventilação} = 9,8\% A_{piso}$	Atende
Cobertura		U ≤ 2,3 W/(m².K)	U = 1,93 W/(m².K)	Atende

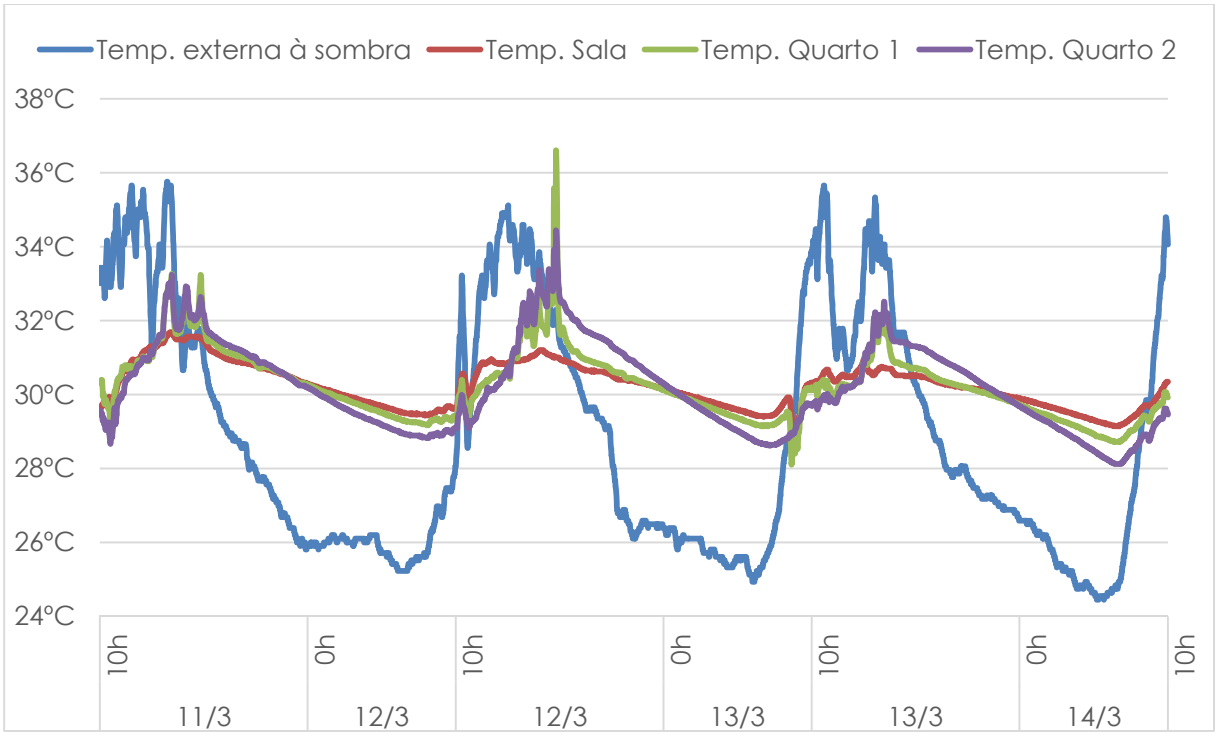
Fonte: Os autores.

3.2 Medição *in loco*

Como exigência da norma, a temperatura foi registrada por três dias consecutivos, iniciando às 10h do dia 11/03/2015 e encerrando às 10h do dia 14/03/2015. Os registros de temperatura encontram-se na Figura 4.

A máxima temperatura registrada durante os três dias de medições ocorreu no dia 12/03/2015 no quarto 1, às 16h45, com 36,61°C. A temperatura externa à sombra atingiu o máximo de 35,76°C no primeiro dia do levantamento, às 14h31. Dentre os ambientes internos, a mínima foi registrada também no quarto 1, com 28,10°C às 08h37 do dia 13/03/2015. A mínima externa foi de 24,45°C às 05h13 do último dia do levantamento. Além disso, notam-se baixas amplitudes térmicas nos ambientes internos.

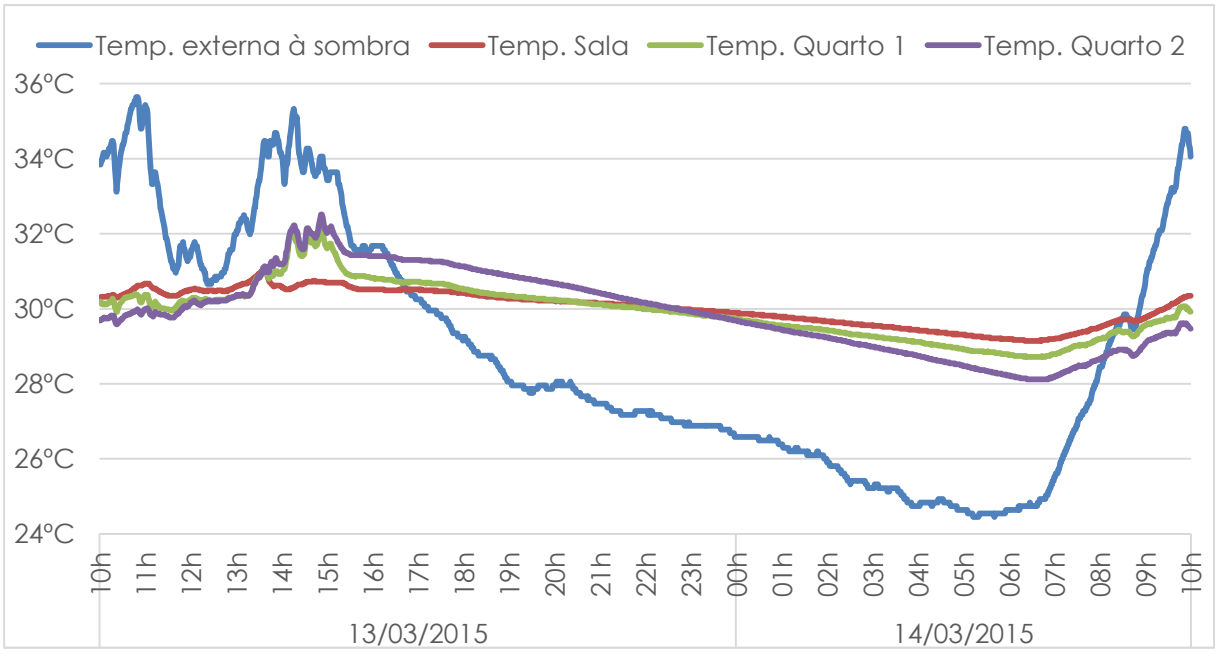
Figura 4 - Temperatura interna e externa durante os três dias de medição



Fonte: Os autores.

No entanto, para efeito de avaliação e classificação de desempenho, conforme recomendação da norma, são avaliados somente os valores do último dia, demonstrados na Figura 5.

Figura 5 - Temperatura interna e externa no último dia de medição



Fonte: Os autores.

No último dia de medição, a máxima temperatura foi registrada no exterior do edifiício, às 10h48 com 35,65°C, assim como a mínima, com 24,45°C às 05h13 (também identificado na Figura 4). Além disso, percebeu-se uma variação não linear na temperatura externa à sombra, ocasionada por uma chuva rápida, com início às 11h, reduzindo a temperatura em aproximadamente 5°C, chegando a 30,66°C entre as 12h22 e 12h27. É necessário registrar que a temperatura máxima do sensor externo à sombra foi registrada pouco antes do início desta chuva, evento explicável através dos fenômenos hidrológicos de precipitação. Após a chuva, a temperatura voltou a subir, atingindo o máximo de 35,33°C às 14h16, bem próximo à máxima anterior.

As temperaturas máximas registradas nos ambientes internos foram: 31,03°C às 13h35 na sala; 32,15°C às 14h52 no Quarto 1; e 32,51°C às 14h52 no quarto 2. As mínimas temperaturas internas registradas foram: 29,14°C das 06h21 às 06h43 na sala; 28,72°C das 06h20 às 06h48 no Quarto 1; e 28,12°C das 06h24 às 06h52 no quarto 2.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define como requisito mínimo (M) de desempenho que a temperatura interna máxima seja menor ou igual à temperatura externa máxima. Como requisito intermediário (I), a temperatura interna máxima deve ser 2°C menor que a temperatura externa máxima e como requisito superior (S), a temperatura interna máxima deve ser 4°C menor que a temperatura externa máxima. O Quadro 2, abaixo, demonstra o

atendimento do Edifício estudado a todas as exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) pela medição *in loco*.

Quadro 2 – Atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013) pela medição *in loco*

Item avaliado		**Exigência da norma**	**itens verificados**		**Resultado**
			T_{imax}	**T_{emax}**	
Recintos de permanência prolongada	Sala	M → $T_{imax} \leq T_{emax}$	31,03ºC	35,65 ºC	Atende – nível Superior de desempenho
	Quarto 1	I → $T_{imax} \leq (T_{emax} – 2ºC)$	32,15ºC		Atende – nível Intermediário de desempenho
	Quarto 2	S → $T_{imax} \leq (T_{emax} – 4ºC)$	32,51ºC		Atende – nível Intermediário de desempenho

Fonte: Os autores.

4 CONCLUSÕES

Evidenciou-se o atendimento integral dos critérios de desempenho térmico para o Edifício estudado, considerando os dois procedimentos realizados: Método Simplificado e Medição *in loco*. No entanto, foram identificadas algumas lacunas no que diz respeito à aplicação da norma e até mesmo em relação aos critérios que esta apresenta.

Entre as lacunas, no método simplificado, percebeu-se que a classificação geral das zonas climáticas não considera especifidades locais e regionais do clima. Na medição *in loco,* pode-se citar como dificuldade a utilização de uma única variável, a temperatura. Para o dia típico de verão ou inverno, a norma não especifica a influência de outras variáveis, como a precipitação, que influenciou sobremaneira nesta pesquisa. A sequência de três dias, e ainda a avaliação apenas do último dia, também é muito reduzida para uma análise de desempenho. Embora o Edifício estudado tenha apresentado desempenho térmico satisfatório, percebeu-se que no segundo dia de medição a edificação não obteria êxito. Seriam necessários, pois, mais dias de coleta, considerando outras variáveis envolvidas.

Mesmo que seja tomado como parâmetro apenas a variável temperatura, a norma considera apenas a máxima diária, sem considerar as mínimas e as médias, assim como o tempo de duração de cada uma delas. Nesta pesquisa, verificou-se que o interior da edificação manteve-se com temperatura superior à temperatura externa na maior parte do tempo, em quase 70% do dia, durante o período noturno, quando é provável que a edificação possua maior utilização pelos moradores.

Outra lacuna diz respeito à forma de coleta da temperatura, principalmente a externa. Os dados meteorológicos seguem rigorosos padrões de controle, em que os sensores de temperatura devem estar acondicionados em abrigos padrão, dentre outras exigências, enquanto na referida norma não há qualquer observação a respeito. Também não há informação se pode ser utilizada a temperatura fornecida pelas instituições de estudos

meteorológicos, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional de Águas (ANA), entre outros.

Verificou-se também, a necessidade de divulgação e esclarecimento quanto à norma de desempenho e sua obrigatoriedade. Na fase preliminar da medição, diversas tentativas de realização de estudo *in loco* foram frustradas em diversas empresas, pelo receio do não atendimento aos critérios da norma.

Considerando a norma em seu texto atual, sugere-se ainda a realização de mais pesquisas, considerando um maior número de dias de análise, além da utilização também de protótipos com materiais de diferentes propriedades térmicas.

AGRADECIMENTOS

Grande contribuição foi realizada em consulta aos profissionais do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (Labee), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a quem deixamos nosso agradecimento.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITO, A. C. et al. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Método de Avaliação Global de Desempenho Higrotérmico de Habitações de Interesse Social Para Porto Alegre, RS, Brasil. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, abr./jun. 2010, p. 101-114.

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 jan. 2015.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environments: Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S.; BASTOS, L. E. G. Análise Comparativa Entre Resultados de Desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes

normas brasileiras. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2011.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. A Review of the Brazilian NBR15575 Norm: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance. In: Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, 4, 2013, San Diego. **Proceedings…** Vista, CA, EUA: SCS Society for Modeling & Simulation International, 2013.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; SILVA, R. M. Desempenho Térmico: qual valor devemos atender para a legislação brasileira? In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12, 2013, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12, 2013, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA HABITAÇÃO POPULAR EM ALVENARIA E EM MADEIRA NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO DAS NEVES – MG[1]

AMORIN, Silvia (1); VIEIRA, Roberta (2)

(1) UFMG, e-mail: silviataamorim@gmail.com; (2) UFMG, e-mail: robertavgs2@gmail.com

RESUMO

O objetivo do trabalho é a comparação de um projeto padrão de um conjunto habitacional de baixa renda do programa MCMV construído em alvenaria convencional quanto à eficiência energética de sua envoltória comparado ao projeto utilizando painéis de madeira nas paredes de fechamento da edificação (considerada uma solução construtiva mais sustentável). Aplicou-se o Método Prescritivo para etiquetagem do sistema de envoltórias com base no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R, avaliando o desempenho de uma unidade habitacional. Os resultados do trabalho para as paredes em alvenaria demonstraram que o nível de eficiência energética obtido para a Unidade Habitacional foi nível B, tendo sido este considerado satisfatório para este tipo de empreendimento popular. Para o sistema construtivo *wood frame* obteve-se o nível C devido ao não cumprimento do pré-requisito da relativo à Capacidade Térmica. No entanto este sistema apresentou melhor desempenho tanto para verão quanto para inverno se comparado ao sistema de alvenaria. Recomendam-se, portanto, estudos mais aprofundados para a determinação da sua possível utilização no projeto estudado através de simulação computacional.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-R. painel de madeira. *wood frame*.

ABSTRACT

The aim of the work is to compare the energy efficiency level obtained by the envelope of a standard low-income housing project of the Brazilian government housing program built in conventional masonry with the use of wood panels walls (considered to be a more sustainable constructive solution). The Prescriptive Method for labeling the envelope based on the Technical Quality Regulation for the Level of Energy Efficiency of Residential Buildings - RTQ-R, was applied. The results for the prototype in masonry walls pointed to a B level of energy efficiency which was considered to be satisfactory for this type of popular housing. For the wood frame system a level C was obtained because one of the prerequisites was not fulfilled, but presented a better performance both for summer and winter when compared to the walls built in masonry. The study recommends further studies to determine if it is possible to use the system in this Bioclimatic Zone trough computer simulations.

***Keywords**: Energy efficiency. RTQ -R. wood panel. wood frame*

[1] AMORIN, Silvia; VIEIRA, Roberta. Estudo comparativo da eficiência energética de uma habitação popular em alvenaria e em madeira no município de Ribeirão das Neves – MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório do Balanço de Energia Nacional, BEN (2015), o consumo de energia elétrica nos setores residencial, comercial e público corresponde a 50% do consumo total de energia no país no ano de 2014, sendo o setor residencial responsável por 50% dessa parcela consumida.

Geller (2003) mostra que o consumo de energia no Brasil cresceu de 250% no período de 1975 a 2000 e que o uso energético residencial foi uma das principais causas desse aumento. O autor ressalta a importância de medidas para a eficiência energética por parte das edificações residenciais. Ainda segundo Ludgero e Assis (2005) a necessidade da redução do consumo de energia nas edificações é um aspecto presente tanto nos projetos de novos edifícios como também na discussão de políticas públicas.

O presente trabalho apresenta a análise da eficiência energética de uma habitação de interesse social com sua construção recentemente concluída enquadrada no programa do governo federal Minha Casa Minha Vida, financiado pela CAIXA (2015), que faz parte de um conjunto de casas geminadas no município de Ribeirão das Neves, Minas Gerais. Além disso, analisa-se o projeto executado utilizando outro sistema construtivo para as paredes, os painéis de madeira, *wood frame*, comparando as duas soluções e propondo melhorias para sua eficiência. Pretende-se com essa melhoria que este projeto possa ser replicado em outras áreas dentro de uma mesma zona bioclimática de forma a contribuir para uma engenharia sustentável na redução de impactos ambientais.

O estudo do sistema em *wood frame* se justifica por ser a madeira um recurso natural renovável e sua utilização na construção cumprir um papel importante para o meio ambiente: armazenar o CO_2 e utilizar baixa energia para sua manufatura e aplicação quando comparada aos materiais convencionais utilizados na construção como o aço, concreto e alumínio(FOREST PRODUCTS SOCIETY - 2009), sendo assim uma alternativa mais sustentável que os materiais traicionais de construção no Brasil.

Segundo Laroca (2007), o Brasil é um país de evidente vocação florestal, pois além das florestas tropicais, possui a segunda maior área de reflorestamento de eucalipto do mundo. A maior utilização da madeira na construção, associada a uma gestão sustentável da floresta, pode contribuir significativamente para a inversão do atual processo de degradação acelerada dos recursos naturais do país.

No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para Edifícios Residenciais (RTQ-R) é regulamentado pela Portaria INMETRO nº 18, de 2012 e específica os requisitos técnicos, bem como os métodos para a classificação de edifícios residenciais quanto à eficiência energética. Avlaia em seu sistema de classificação a envoltória e o aquecimento de água das Unidades Habitacionais. A envoltória está diretamente relacionada com os níveis de conforto da edificação e é avaliada para verão e inverno.

O programa governamental Minha Casa Minha Vida (MCMV) foi criado em

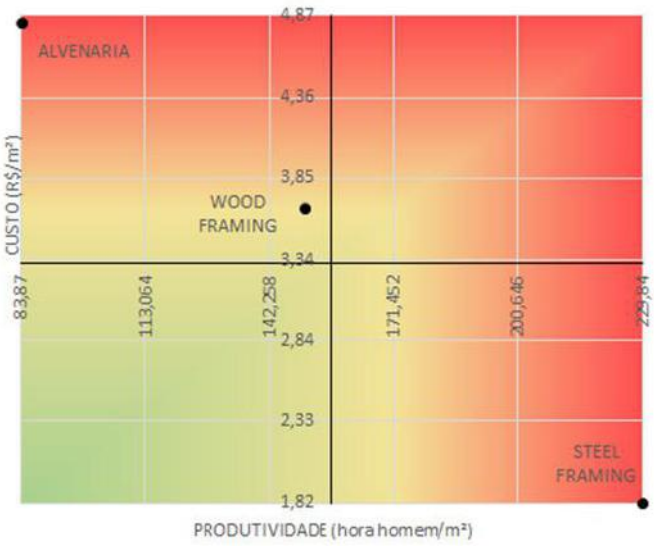
2009 e propõe a construção de unidades habitacionais voltadas para o atendimento à população de baixa renda como objetivo de cobrir ao déficit habitacional brasileiro que segundo CBIC (2012) é da ordem de 5.430.562. Além disso, a distribuição percentual do déficit habitacional urbano por faixas de renda média familiar mensal é corresponde a 80% do total para as famílias com renda até 3 salários mínimos.

Para esse tipo de imóvel o fator custo é de fundamental importância e no programa MCMV o valor de venda do imóvel é um limitador para o financiamento pelo banco responsável, a CAIXA. Desde que foi fundado o programa, diversas moradias foram construídas empregando sistemas construtivos variados, como paredes de concreto, blocos, de concreto, steel frame, *wood frame* e alvenaria cerâmica.

Spindola (2010) apresenta um trabalho que adequou os componentes dos painéis de madeira utilizados atualmente nos países da América do Norte e da Europa à coordenação modular decimétrica, isto é adaptado ao Brasil, para propor uma Habitação de Interesse Social. Tonelli e Grimaldo (2014), que avaliaram a eficiência térmica dos painéis de madeira recomendam a utilização de materiais pesados no interior dos painéis de madeira para melhorar sua capacidade térmica.

Em Silveira (2014) foram comparados em termos de custo, produtividade, impactos ambientais e desempenho térmico e acústico métodos construtivos distintos: alvenaria de tijolos cerâmicos, steel frame e o wood frame, para a execução de obras do programa MCMV. O gráfico da Figura 1 ilustra a comparação entre custo e produtividade para os três sistemas construtivos, levando em conta a composição de insumos e mão de obra de cada sistema baseando-se no TCPO (Tabela de Composições de Preços para Orçamentos) e pesquisas de preços de mercado. Os paineis de madeira tinham a transmitância térmica e capacidade térmica equivalentes a U= 0,657 W/m^{2}K CT=37,35 kJ/m^{2}K respectivamente, que correspondia a um conjunto bastante isolante devido ao uso dos enchimentos como a lã de rocha.

Figura 1: Comparação dos painéis referentes a cada sistema construtivo com base na produtividade e custo



Fonte: Silveira (2014)

Verifica-se pela Figura 1 que este é um sistema que pode ser economicamente viável, pois apesar de seu custo ser mais elevado que o da alvenaria comum, apresenta maior produtividade em relação a esta e não é tão oneroso quanto o sistema *steel frame*, apresentando a vantagem do uso de utilizar recurso renovável e de baixo impacto ambiental.

2 METODOLOGIA

2.1 Apresentação do Projeto e do Método

O projeto em análise de eficiência da envoltória consiste em uma casa geminada que faz parte de um conjunto habitacional de baixa renda dentro do programa Minha Casa Minha Vida da Caixa, faixa 2 (referente a uma renda mensal de 3 a 6 salários mínimos) no município de Ribeirão das Neves, Minas Gerais.

Este conjunto é formado de casas geminadas composto de 5 blocos de 02 pavimentos com 4 unidades habitacionais por pavimento, totalizando 20 apartamentos e cada um de aproximadamente 50m^2 de área. Os apartamentos são compostos de 02 dormitórios, banheiro, cozinha integrada com sala de estar/ jantar, área de serviço, varanda, sacadas e circulação e uma vaga de garagem por unidade. A fachada principal do conjunto de casas está voltada para o sudeste, e está mostrada na Figura 2.

Figura 2: Conjunto habitacional em estudo



Fonte: Scenarium (2015)

Aplicou-se o método prescritivo do RTQ-R, para verificar o nível de eficiência da envoltória de duas Unidades Habitacionais (UH), uma no andar térreo e outra no andar superior, ambas pertencentes ao bloco intermediário, bloco B, com ambas as fachadas voltadas para a rua de acesso, voltadas para o sudeste como indicado na Figura 3.

Figura 3: Layout do conjunto habitacional



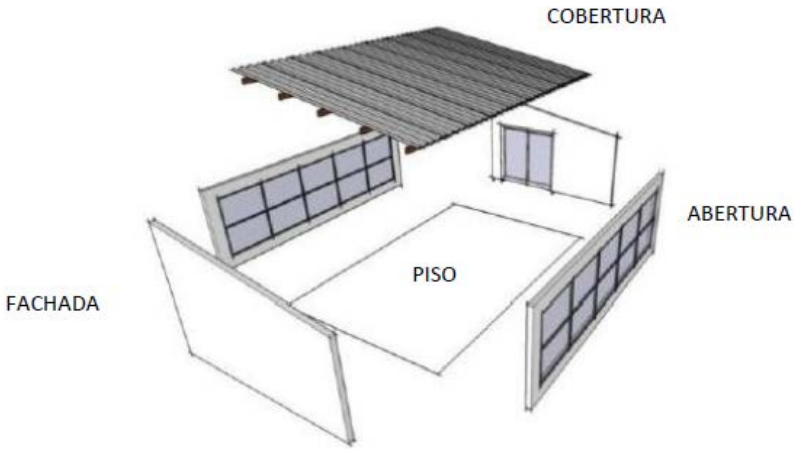
Fonte: Scenarium (2015)

A análise foi primeiramente realizada para o projeto executado em alvenaria convencional e em seguida realizou-se uma avaliação para o projeto utilizando painéis de madeira nas paredes externas da edificação.

A envoltória segundo o RTQ-R é o conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas,

cobertura, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem, excluindo pisos, estejam eles ou não em contato com o solo conforme demonstra a Figura 4.

Figura 4: Partes da edificação que compõem a envoltória



Fonte: Manual RTQ-R – PBE Edifica

O método prescritivo RTQ-R avalia a envoltória através de equações, tabelas e pré-requisitos, fornecendo uma pontuação que indica o nível de eficiência parcial de cada ambiente de permanência prolongada, como dormitórios, salas de estar e cozinha conjugada, e total da envoltória de acordo com a zona bioclimática (ZB) em que a edificação está localizada.

O município de Ribeirão das Neves se enquadra na Zona Bioclimática 2 e esta classificação foi obtida através do software ZBBR do LABEEE que apresenta uma análise do clima de acordo com as recomendações contidas na parte 3 da NBR 15.220/2005 – Desempenho Térmico de Edificações da ABNT, a partir da análise do clima local.

Para os cálculos propostos pelo método utilizou-se a planilha eletrônica desenvolvida no LABEEE (2015b) e fornecida pelo site do PBE Edifica (2015).

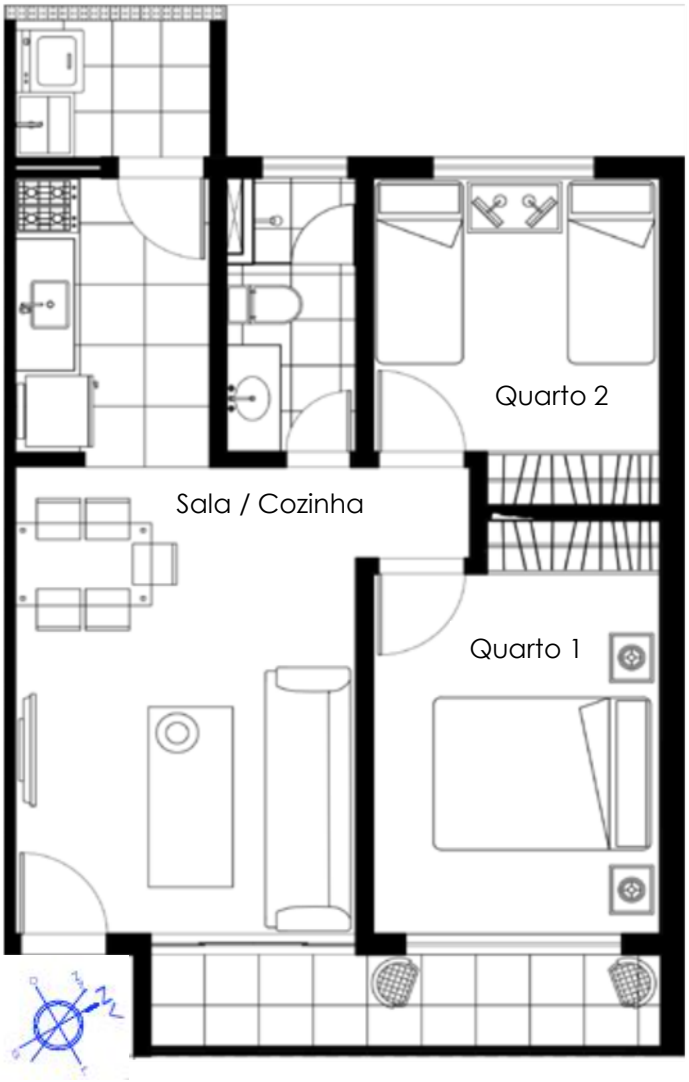
No método utilizando o RTQ-R a envoltória é avaliada sob três parâmetros: Eficiência para resfriamento - GHR (Graus horas de resfriamento, medido em ^{o}C.h) que representa o somatório anual de graus hora para a temperatura base de 26o para resfriamento, Eficiência para aquecimento – CA (Consumo relativo anual para aquecimento, medido em kWh/m^2) que representa o consumo anual para aquecimento do ambiente durante o período de 21h as 8h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22º e CR (Consumo relativo anual para refrigeração) para ambientes condicionados artificialmente, sendo este último somente indicativo e não entrando na ponderação do desempenho da envoltória. São consideradas as seguintes variáveis: orientação e área das aberturas, área de paredes externas e internas, área útil dos ambientes, transmitância térmica das paredes, coberturas e vidros, capacidades térmicas de paredes e coberturas, abertura para ventilação, isolamento térmico, pé-direito e sombreamento. Analisou-se a envoltória de verão e inverno, correspondentes a GHR e a CA.

A classificação da eficiência energética da envoltória pelo método RTQ-R varia do nível inferior E ao nível superior A.

2.2 Avaliação da envoltória para o projeto construído

Avaliou-se primeiramente o projeto executado para os ambientes de permanência prolongada conforme a definição do RTQ-R: quarto 1 (voltado para a fachada principal, sudeste) sala/cozinha, e quarto 2 voltados para a fachada oeste, tanto do pavimento térreo quanto do pavimento superior. A planta do pavimento tipo está mostrada na Figura 5.

Figura 5: Planta do pavimento tipo

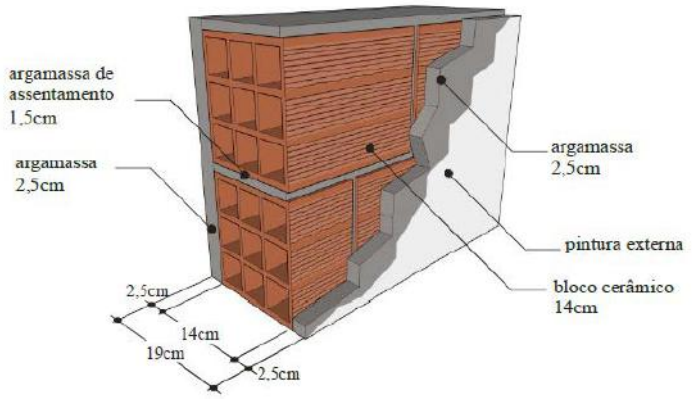


Fonte: Scenarium (2015)

As paredes foram executadas com tijolos cerâmicos vazados nas dimensões indicadas em plantas baixas do projeto arquitetônico. As alvenarias de 15cm de espessura serão com tijolos de cutelo formando fiadas e contrafiadas. As paredes externas com 20cm de espessura foi executada em tijolos de seis furos assentados deitados formando fiadas e contrafiadas. A transmitância

térmica das paredes utilizada no cálculo foi de Upar = 1,85 W/m²K e da capacidade térmica CT= 161 kJ/m²K, conforme os dados da Figura 6. Como revestimento das paredes externas foi utilizada a textura na cor marfim. O coeficiente de absortância adotado para essa textura foi de α = 0,3, segundo a tabela b do Anexo I da Portaria 18 do INMETRO, disponível em PBE Edifica.

Figura 6: Propriedades térmicas da alvenaria



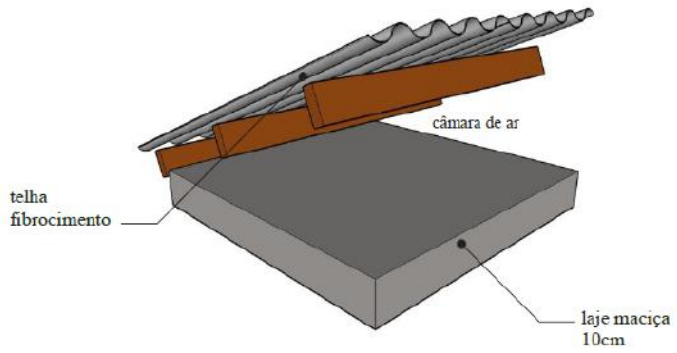
Argamassa interna (2,5cm)
Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm)
Argamassa externa (2,5cm)
Pintura externa (α)

U [W/(m²K)]	C_T [kJ/m²K]
1,85	161

Fonte: PBE Edifica

A estrutura do telhado foi executada em madeira e como material de cobertura foram utilizadas telhas de fibrocimento onduladas de 6mm de espessura e cor cinza e suas propriedades térmicas estão mostradas naFigura 7. A cobertura com telha de fibrocimento possui absortância alta devido a sua cor escura e seu escurecimento e tem um valor de α = 0,82.

Figura 7: Propriedades térmicas da cobertura



Descrição:

Laje maciça (10,0cm)
Câmara de ar (> 5,0 cm)
Telha fibrocimento

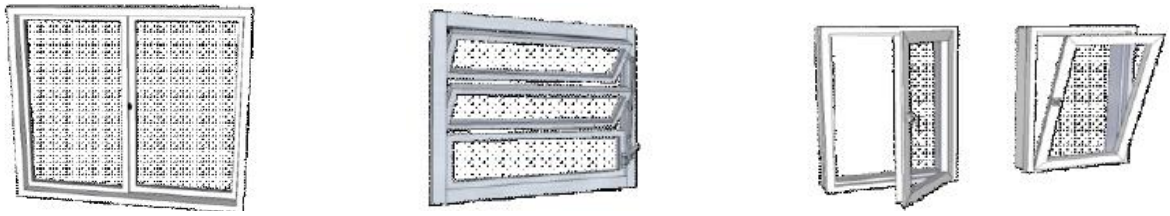
U [W/(m²K)]	C_T [kJ/m²K]
2,06	233

Fonte: PBE Edifica

Para cálculo das aberturas utilizou-se a tabela de descontos das esquadrias do Anexo I da Portaria 18 do INMETRO e as aberturas utilizadas estão mostradas na Figura 8. O primeiro tipo de esquadria foi utilizado nos dormitórios e os valores das áreas de abertura para iluminação foi de 1,92 m² e 1,44 m² e para os dormitórios 1 e 2 respectivamente e para ventilação foi de 0,81 m² e 1,08 m². O ambiente sala/cozinha apresentava os três tipos de esquadrias e o valor da área de abertura para iluminação foi de 5,33 m² e

3,94 m² de abertura para ventilação.

Figura 8: Esquadrias utilizadas no projeto



a)De correr de duas folhas b) Basculante c) Oscilobatente (de tombar e abrir)

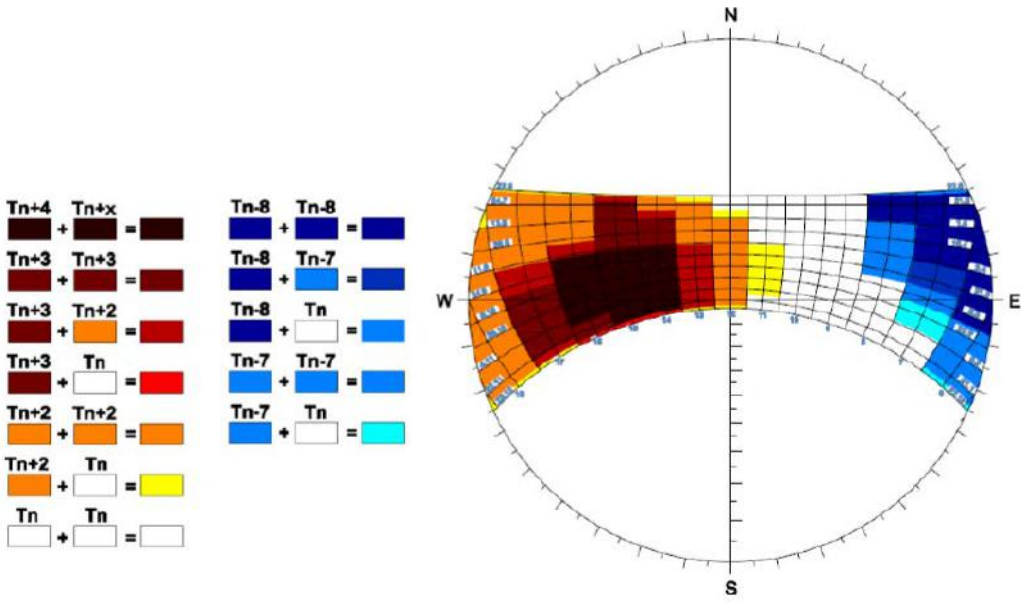
Fonte: PBE Edifica

A transmitância do vidro utilizado foi informada pelo fornecedor e seu valor é de U_{vid} = 5,7 W/m²K, inserido na planilha de cálculo desenvolvida no LABEEE (2015b).

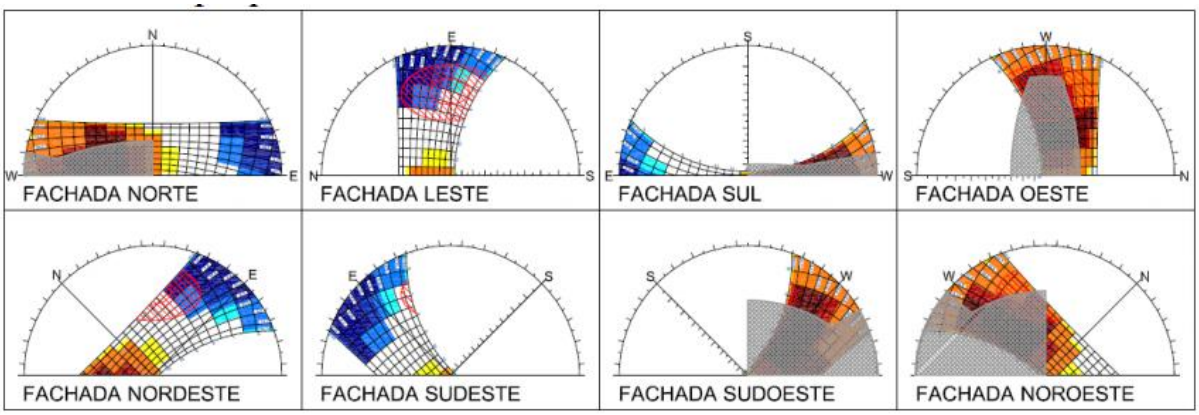
No cálculo do sombreamento, pelo método prescritivo, e como não estava disponível a carta solar da região em estudo foi utilizada a da cidade de Ibirité por ser o município que mais se aproximava das características climáticas de Ribeirão das Neves e pela proximidade a este.

Conforme a carta solar não havia ângulos para dispositivos de sombreamento recomendados para a fachada sudeste, isto é a fachada frontal, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: a) Carta solar utilizada e b) recomendações de sombreamento.



a) Carta solar de Ibirité - Zona Bioclimática 2, latitude 20,1 Sul



b) Cartas solares para as fachadas – recomendações de sombreamento para pequenas aberturas.

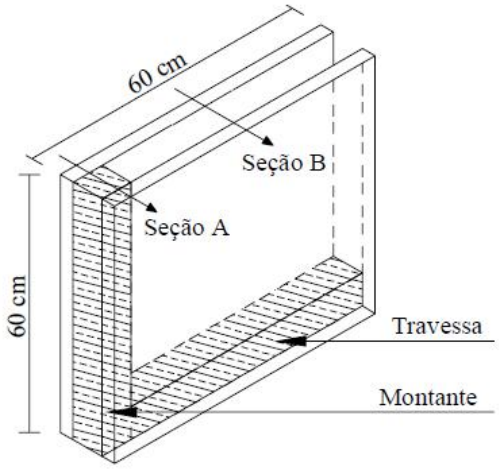
Fonte: PBE Edifica.

As aberturas com sombreamento analisadas foram a do quarto 1, considerada pequena, e as aberturas da sala/cozinha com valores de aberturas grandes segundo o RTQ-R. Verificou-se que para a fachada sudeste não havia indicação de dispositivos de proteção solar e como as aberturas do quarto 1 e da sala se encontram na fachada sudeste, o sombreamento assumiria um valor nulo, conforme a Figura 12. O sombreamento para as aberturas da cozinha voltadas para a fachada noroeste obtiveram o valor de 0,23 para a variável sombreamento, sendo os ângulos de utilizados no cálculo α = 70°, β_e = 50° e γ_e = 10°.

2.3 Envoltória utilizando *wood frame*

No fechamento lateral da casa, considerou-se a parede em *wood frame* estudada no trabalho de Giglio (2005), mostrado na Figura 10. Este painel é constituído de placas de madeira e câmara de ar, e a escolha se deu pela simplicidade e matéria prima de baixo custo quando comparado a outras composições de painéis de *wood frame*, como em Silveira (2014). A transmitância térmica do painel é de U_{par} =1,55 W/m².K e capacitância térmica de CT= 33 kJ/ m².K.

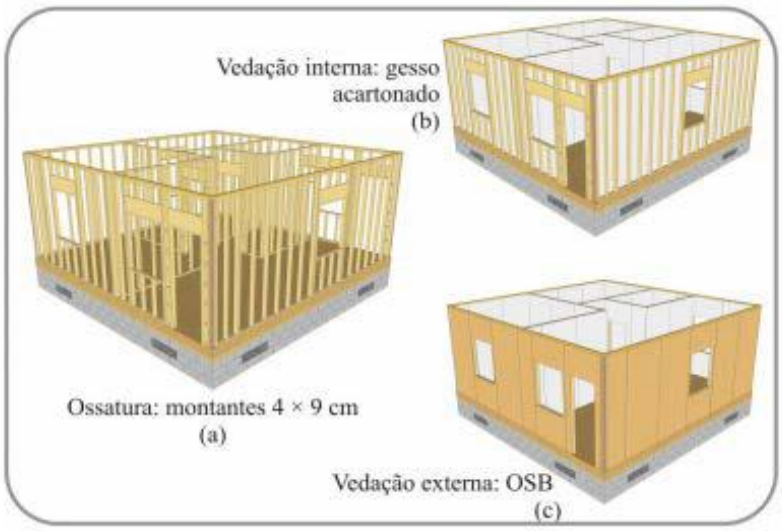
Figura 20: Painel de madeira utilizado na simulação.



Fonte: Giglio (2005)

A Figura 11 abaixo mostra um desenho esquemático da metodologia *wood frame*.

Figura 11: Perspectiva mostrando a estrutura em WLF e as vedações internas e externas.



Fonte: Espíndola (2010)

A cobertura utilizada no modelo de simulação foi a mesma da edificação em alvenaria.

3 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados do estudo da eficiência da envoltória considerando o projeto construído, a utilização de painéis de madeira, *wood frame*, e a avaliação contendo estratégias de melhorias de projeto adicionadas ao modelo em *wood frame*.

Na análise dos pré-requisitos do desempenho da envoltória do RTQ-R, para a Capacidade Térmica do painel, este mostrou-se inadequado para a zona bioclimática 2 por uma diferença (92,65 kJ/m²K) em relação ao nível mínimo

de desempenho exigido para a parede (130 kJ/m²K), conforme a Tabela 1. O painel *wood frame* atendeu apenas ao pré-requisito de transmitância térmica, U.

Tabela 1: Parâmetros de avaliação da envoltória.

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	U ≤ 2,50	CT ≥ 130
	Cobertura	Sem exigência	U ≤ 2,30	Sem exigência

Fonte: PBE Edifica.

Os resultados de GHR e CA obtidos para cada ambiente para a método construtivo em alvenaria e *wood frame* para os dois pavimentos estudados foram classificados conforme o método RTQ-R, e estão mostrados nas tabelas Tabela 2 e Tabela 4.

Tabela 2: Eficiência da envoltória para GHR - 1o pavto

Sistema Construtivo	Descrição	Quarto 1	Quarto 2	Sala/ cozinha
Alvenaria	GHR	6004	6603	5356
		C	D	C
	CA	20,22	20,206	16,43
		B	B	B
Wood frame	GHR	5223	6125	4859
		C	C	C
	CA	10,515	7,691	11,806
		A	A	A

Fonte: Produzida pela autora

As variáveis GHR e CA, mostradas na Tabela 2 foram calculadas independentemente do atendimento ou não aos pré-requisitos do RTQ-R, uma vez que a madeira é um bom isolante apesar da baixa capacidade térmica CT.

De acordo com a Tabela 2 verifica-se que a utilização dos painéis de madeira para as paredes externas no 1° pavimento melhorou a eficiência energética para todos os ambientes, uma vez que o nível de eficiência considerando a nota obtida do quarto 2. Quanto à análise de CA para este pavimento também houve uma melhora nos resultados de conforto térmico.

A Tabela 3 apresenta o nível de eficiência da unidade habitacional

considerando os pré-requisitos do RTQ-R.

Tabela 3: Eficiência da envoltória da unidade habitacional - 1o pavto

Sistema Construtivo	Alvenaria	Wood frame
Envoltória da UH	Nível B	Nível C

Fonte: Produzida pela autora.

A obtenção do nível C para o painel de madeira se deve ao fato do não atendimento ao pré-requisito do RTQ-R de capacidade térmica das paredes, onde CT dever ser maior ou igual a 130kJ/m²K para a zona bioclimática 2, conforme a Tabela 1.

A Tabela 4 a seguir mostra os resultados de GHR e CA para o pavimento superior.

Tabela 4: Eficiência da envoltória para GHR e CA - 2o pavto

Sistema Construtivo	Descrição	Quarto 1	Quarto 2	Sala/ cozinha
Alvenaria	GHR	6004	10431	5356
		C	E	C
	CA	14,469	21,287	13,552
		A	B	A
Wood frame	GHR	5872	10302	5207
		C	E	C
	CA	15,27	22,233	14,19
		A	B	A

Fonte: Produzida pela autora.

Analisando Tabela 4, referente ao 2º pavimento e comparando-a com a Tabela 2 do 1º pavimento verifica-se que os valores de GHR para a sala/cozinha e o quarto 1 se mantiveram os mesmos que para a alvenaria. Para o quarto 2, com abertura voltada para a fachada oeste, e grande incidência solar, o nível de eficiência energética para GHR foi inferior em relação ao pavimento inferior que apresentou nível D, atingindo no nível E. Verifica-se então a influência da cobertura na análise.

Assim como no pavimento térreo, para todos os ambientes o nível de eficiência para GHR, houve um incremento quando se adota a solução em *wood frame* para as paredes externas. A melhora é atribuída ao isolamento mais eficiente dos painéis de madeira quando comparado à alvenaria convencional, considerando a zona bioclimática 2. No entanto, avaliando o consumo para aquecimento, envoltória de inverno representada pela

variável CA, verifica-se que a solução em alvenaria convencional apresenta melhor performance. Percebe-se que a troca térmica proporcionada pela cobertura aliada a uma capacidade térmica CT do *wood frame* inferior a da alvenaria influenciaram nesse resultado.

A classificação geral para a eficiência da unidade habitacional do pavimento de cobertura teve uma piora ao utilizar o painel *wood frame*, como aconteceu no 1o pavimento, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Eficiência da envoltória da unidade habitacional - 2o pavto.

Sistema Construtivo	Alvenaria	Wood frame
Envoltória da UH	Nível B	Nível C

Fonte: Produzida pela autora.

A obtenção do nível B para o projeto construído em alvenaria foi um resultado que pode ser considerado bastante satisfatório para uma habitação de interesse social com restrições orçamentárias e tecnológicas.

A utilização do painel wood frame trouxe uma piora no resultado geral da envoltória da UH devido a sua baixa capacidade térmica e consequente não atendimento ao pré-requisito do regulamento RTQ-R desta variável. No entanto o emprego do *wood frame* melhora o conforto térmico do apartamento para a envoltória de verão para ambos os pavimentos e inverno para o pavimento térreo, provendo menos horas de desconforto anuais. Vale dizer que a análise do problema utilizando a formulação RTQ- R é uma análise simplificada e que uma verificação mais detalhada de simulação computacional da edificação construída poderia trazer resultados mais precisos.

Com o intuito de melhorar o conforto térmico da habitação, são propostas estratégias de melhorias como a utilização de dispositivos de sombreamento nas aberturas e para o 2º pavimento a utilização de materiais alternativos para a cobertura da edificação, com maior isolamento térmico e boa capacidade térmica. Realizando a simulação através da planilha de cálculo do LABEEE (2015) verificou-se que estas melhorias trariam o nível A segundo o RTQ-R.

Para a adoção das soluções arquitetônicas e de materiais alternativos deve-se levar em conta a analise de viabilidade econômica, uma vez que o fator custo é um limitador para esse tipo de empreendimento de interesse social.

4 CONCLUSÕES

Através do estudo da eficiência energética de uma habitação de baixa renda existente e a hipótese de utilização do *wood frame*, pelas características sustentáveis da madeira, alternativa à alvenaria de tijolos, para ZB 2, verificou-se a possibilidade de melhora dos resultados para os parâmetros estudados. No entanto como o sistema não atende os pré-

requisitos do método RTQ-R utilizado, recomenda-se uma análise mais aprofundada do caso utilizando-se simulação computacional.

Foram propostas medidas arquitetônicas ou de materiais alternativos para melhorar a eficiência energética da residência para obtenção do nível A de eficiência. Tais propostas devem ser avaliadas quanto à facilidade de execução gestão e viabilidade econômica.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro à este trabalho.

REFERÊNCIAS

BEN – Balanço Energético Nacional, 2015. Disponível em: www.ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015 Acesso em: Janeiro de 2016.

BRASIL. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. INMETRO, 2012. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf Acesso em: Outubro de 2015.

CAIXA - Minha Casa Minha Vida – Disponível em: http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/. Acessado em set de 2015.

CBIC – Câmera Brasileira da Indústria da Construção, 2012, disponível em http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil, , acessado em novembro de 2015.

ESPÍNDOLA, L. R. Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FOREST PRODUCTS SOCIETY. Wood as Sustainable building material. Forest Products Journal, 59.9- p6, 2009.

GELLER, H. Revolução energética: Políticas para um futuro sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid. 2003.

GIGLIO, T. G. F. Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina - PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Florianópolis, f.128-134, 2005.

LABEEE: Disponível em < http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr>. Acesso em nov.2015a.

LABEEE: Disponível em < http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem>. Acesso em nov.2015b.

LAROCA, Cristiane. Desenvolvimento de protótipo de habitação social em madeira de reflorestamento e avaliação do desempenho termo-acústico. Tese. Engenharia Florestal, Curitiba, 2007.

LUDGERO, J.; ASSIS, E. Avaliação Preliminar do Consumo Energético Desagregado da Escola Arquitetura da UFMG. In: Anais do Primeiro Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. 2005.

PBE Edifica - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM –. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial. Acessado em out de 2015.

SCENARIUM - Estudos e Negócios Imobiliários, Relatório de Vendas. Material Fornecido em Out. 2015.

SILVEIRA, R.R. - Analise comparativa de sistemas construtivos – alvenaria, steel framing e wood framing – em unidades habitacionais de interesse social. Monografia de Especialização, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 140p, 2014.

TONELLI, C., GRIMALDO, M. - Timber buildings and thermal inertia: Open scientific problems for summer behavior in Mediterranean climate - *Energy and Buildings* - 83, p 89–95, 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

UTILIZAÇÃO DE TORRE DE VENTO COMO ESTRATÉGIA DE VENTILAÇÃO NATURAL EM SALA DE AULA[1]

ANDRADE, Nixon Cesar (1); CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva (2); MATHEUS, Carla (3); LABAKI, Lucila Chebel (4)

(1) IAU/USP, e-mail: deandraden@bol.com.br; (2) FEAU/UNIMEP, FEC/UNICAMP, e-mail: dripasc@uol.com.br; (3) FEC/UNICAMP, e-mail: matheuscarla@hotmail.com; (4) FEC/UNICAMP, e-mail: llabaki@gmail.com

RESUMO

A utilização de torres de vento situadas acima do nível da cobertura, funcionando como captadores, pode potencializar a ventilação natural em salas de aula, onde a disposição das salas com um corredor central só permite que sejam instaladas janelas em uma das paredes. O objetivo deste trabalho é propor a construção de uma torre octogonal em uma sala de aula universitária, a fim de promover um maior conforto térmico no interior do ambiente através da ventilação cruzada, e analisá-la por meio de simulações no *software CFX®*, as quais permitem estudar os seus efeitos sobre a ventilação interna da edificação. Como metodologia, foram aplicadas as seguintes etapas: construção da geometria, *parts*, malha; contorno no *CFX Pre®*; processamento no *CFX Solver®*; resultados no *CFX Post®*: velocidade e coeficiente de pressão. Os resultados obtidos permitiram concluir que o captador de vento é eficiente, pois proporciona maiores valores de velocidade do ar interno na maioria das posições consideradas, e, embora apresente limitações em função da incidência de ventos no ambiente urbano, poderá favorecer condições adequadas de ventilação no interior da edificação em estudo.

Palavras-chave: Torre de vento. Ventilação natural. Simulação computacional

ABSTRACT

The use of wind towers located above the level of the roof, functioning as catchers, can enhance natural ventilation in classrooms where the layout of the rooms with a central corridor only allows them to have windows installed in one of the walls. This paper aims to propose the construction of an octagonal tower in an university classroom, in order to promote greater thermal comfort inside the environment through cross ventilation and analyse it through simulations in CFX® software, which allow studying its effects on the internal ventilation of the building. The methodology was divided into the following stages: the geometry construction, parts; mesh; boundary in CFX Pre®; processing in CFX Solver®; results in CFX Post®: speed and pressure coefficient. The results showed that the wind catcher is efficient because it provides greater speed values of the internal air in most considered positions, and, although it presents some problems depending on the wind speed value in the city, it might allow adequate internal ventilation in the building.

***Keywords**: Wind tower. Natural ventilation. Computational simulation*

[1] ANDRADE, Nixon Cesar; CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva; MATHEUS, Carla; LABAKI, Lucila Chebel. Utilização de torre de vento como estratégia de ventilação natural em sala de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Devido à crise energética, medidas comuns para a redução e a avaliação do consumo de energia em edificações têm sido investigadas e adotadas em todo o mundo (CHIESA *et al.*, 2010). Isso porque o alto consumo de energia para aquecimento e resfriamento de edificações é um dos maiores problemas do setor de energia e tem um impacto ambiental importante (JIMÉNEZ *et al.*, 2010).

A maneira como o projeto é desenvolvido pode levar a grandes economias energéticas tanto durante a obra como durante o funcionamento dos edifícios, sendo a ventilação natural uma das estratégias mais adequadas para o resfriamento passivo das edificações, principalmente em climas quentes e úmidos, e para a manutenção da qualidade do ar interno.

A aplicação de elementos que proporcionem conforto térmico é importante principalmente em edifícios escolares, onde a eficiência do processo de aprendizagem pode ser diretamente prejudicada pelo desconforto. As dimensões das salas de aula e da edificação como um todo têm grande influência nas variáveis ambientais, visto que interferem diretamente nos fluxos de ar e na quantidade de luz e calor recebidos.

O trabalho de Krüger, Adriazola e Michaloski (2001) evidencia que para um projeto atender a todas as especificidades necessárias ao conforto ambiental, deve ser baseado na orientação solar, no dimensionamento adequado das aberturas, na escolha dos materiais e levar sempre em consideração o clima local. Portanto, se essa abertura for mal dimensionada ou mal posicionada, pode resultar em desconforto térmico, reduzindo diretamente a eficiência das atividades desempenhadas.

Em relação ao comportamento da ventilação natural, para Araújo e Pedrini (2013), este é influenciado por elementos arquitetônicos, como orientação e tipo das aberturas, geometria das fachadas e layout interno, que interagem com as características urbanas, climáticas e comportamentais do usuário. Os diversos recursos arquitetônicos estão presentes principalmente na envoltória e as chances de sucesso aumentam quando o elemento é inserido no início do processo projetual.

Segundo Allard (1998), na maioria dos casos as taxas mínimas de ventilação necessária para a qualidade interna do ar são facilmente alcançadas e as taxas de ventilação máxima necessárias para o controle térmico na construção no verão são facilmente identificadas. Projetar uma edificação tem o desafio duplo de oferecer bom desempenho da ventilação além de conservação de energia. A redução do consumo de energia em edificações, sem afetar o conforto térmico, pode ser obtida ao se projetar um sistema apropriado de ventilação (CHIESA *et al.*, 2010).

Os edifícios das instituições de ensino no Brasil apresentam, geralmente, um corredor central, com salas de aulas distribuídas nas laterais, na intenção de haver um maior aproveitamento de área. Esse modelo de projeto apresenta apenas uma possibilidade de parede com aberturas voltadas ao exterior,

favorecendo a ventilação natural; com isso, as salas, ficam pouco ventiladas e não se consegue ter uma ventilação cruzada, ponto importante para se obter conforto ambiental em várias regiões bioclimáticas do Brasil. Uma solução de projeto para essa tipologia de edifícios educacionais seria a instalação de torres de vento, que funcionariam como captadores de vento e permitiriam a ventilação cruzada nas salas de aula.

As características do clima brasileiro apontam o aproveitamento da ventilação natural como um dos instrumentos mais eficientes na obtenção de conforto térmico nos períodos de calor. Entretanto, no Brasil, a estratégia das torres de vento ainda não está amplamente divulgada, provavelmente devido ao pouco conhecimento científico dessa estratégia por parte dos projetistas (LÔBO e BITTENCOURT, 2003).

Este trabalho tem como objetivo a avaliação da ventilação natural de uma sala de aula universitária situada em Santa Bárbara D'Oeste (SP), com a utilização de torre de vento, atuando como captador, empregando simulações no *software CFX®*, como proposta para tornar o ambiente termicamente confortável.

2 MÉTODO

2.1 Características gerais de Santa Bárbara d'Oeste

O município de Santa Bárbara D'Oeste está localizado no interior do estado de São Paulo, a aproximadamente 140 km da capital, na região metropolitana de Campinas. Suas coordenadas geográficas são 22°44´57 de latitude sul, 47°24´49 de longitude oeste e 560 metros de altitude. A população é de 180.148 habitantes (IBGE/2010) e possui área de aproximadamente 270km². A classificação climática de Köppen é do tipo Cwa (Clima Temperado Úmido com Inverno Seco e Verão Quente), que, segundo o CEPAGRI (2011), é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

O clima possui as estações de inverno e verão bem definidas com inverno seco e ameno e verão úmido e quente, sendo este último mais duradouro, indicando a predominância de calor durante o ano. O verão compreende os meses de novembro a março e o inverno de maio a agosto. A precipitação média anual é de 1466,1mm, sendo julho o mês mais seco e frio, com temperatura média de 19°C e os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, com temperatura média de 25°C. A umidade relativa do ar é de 80% em dezembro e 63% em setembro (CEPAGRI, 2011).

O município tem predominância de relevo ligeiramente ondulado. O campus encontra-se em uma área descampada com amplas áreas verdes ocupadas e de intensa ventilação e insolação devido à altitude.

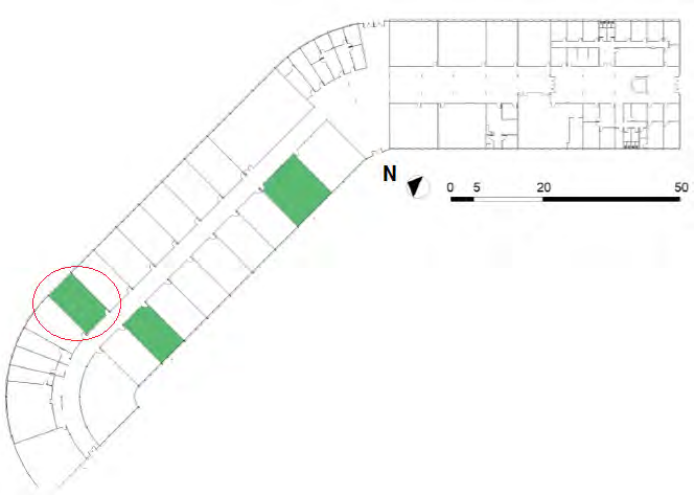
2.2 Caracterização da área de estudo

Nesse trabalho é utilizado como modelo uma das salas analisadas por Souza, Vieira e Castro (2012), que realizaram um estudo de conforto térmico e visual em três salas de aula universitárias, no verão e no inverno, em horários pré-determinados. A instituição segue o padrão de corredor central, com salas de aulas distribuídas nas laterais.

A sala selecionada possui orientação sudoeste, área de aproximadamente 78m^2, dimensões de 11,65m x 6,75m e pé direito de 3,90m. Há ventiladores fixos no teto e nas paredes e janelas basculantes de vidro liso com total transparência. Na parede oposta às janelas, há uma área envidraçada fixa, horizontal, na parte superior em toda sua extensão, voltada para o corredor do bloco, na intenção de se propiciar iluminação natural, pois no corredor há uma cobertura de material transparente. As Figuras 1, 2 e 3 ilustram a sala de aula estudada.

O trabalho de Souza, Vieira e Castro (2012) concluiu que, no geral, a sensação térmica nessa sala de aula foi de desconforto, sendo o período mais crítico o das 15h00, com níveis próximos a +2 na escala de Fanger. Os dados de PEI (Porcentagem Estimada de Insatisfeitos: é impossível obter em um ambiente, combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente todos os integrantes de um grande grupo) e VME (Voto Médio Estimado: representa a sensação térmica de um grupo de pessoas quando expostas a determinada combinação das variáveis pessoais e ambientais de conforto) demonstram que, no geral, o ambiente é termicamente desconfortável, pois no período das 15h00 a porcentagem de insatisfeitos chega a 94%, e com base na escala de Fanger, o voto médio estimado se aproxima de + 2, definido como calor. Apenas às 9h00, o ambiente estava confortável, com VME de aproximadamente + 0,5 (Fanger) e cerca de 15 % de usuários insatisfeitos.

Figura 1 – Planta baixa do bloco 01, com a identificação das salas analisadas por Souza, Vieira e Castro (2012) e a sala analisada nesse trabalho à esquerda



Fonte: Souza, Vieira e Castro (2012), adaptado

Figura 2 – Vista da sala de aula analisada



Fonte: Souza, Vieira e Castro (2012)

Figura 3 – Vista das áreas envidraçadas fixas



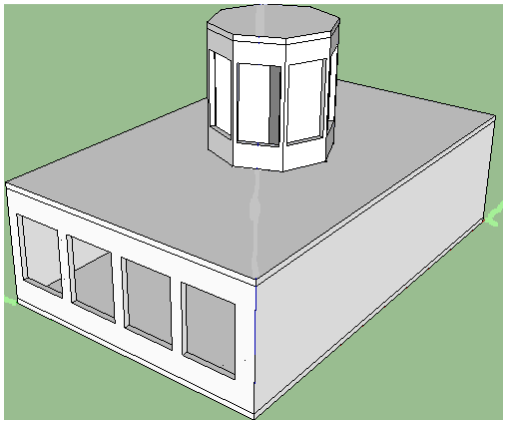
Fonte: Souza, Vieira e Castro (2012)

Diante desses resultados, justifica-se a escolha dessa sala de aula, ocupada durante os três períodos (manhã, tarde e noite), como modelo para implantação de torre de vento utilizada como estratégia de ventilação.

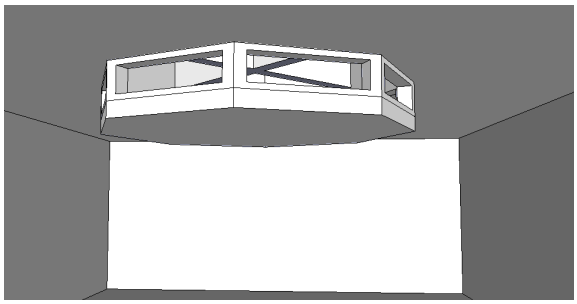
Especificamente para este trabalho a sala de aula foi adaptada, colocando um captador de vento octogonal desenvolvido no artigo de Andrade *et al*. (2014), sendo essa geometria comprovadamente mais viável por apresentar oito aberturas e divisórias distanciadas, captando o ar em várias direções. O modelo proposto possui uma torre de 3m de largura e 3m de altura, com duas divisórias internas, acoplada no centro da laje da edificação. Cada uma das oito aberturas da torre tem a dimensão de 1,15m de largura e 1,90m de altura na parte externa e 1,15m de largura e 0,25m de altura na parte interna à edificação (Figura 4).

As simulações foram realizadas com o conjunto edificação+torre formando ângulos de 0°, 90° e 180° em relação à direção Norte.

Figura 4 – Sala de aula adaptada com a torre de vento (esquerda) e detalhe no interior da sala (direita)



Fonte: Os autores



Fonte: Os autores

2.3 Simulações no *software CFX®*

Segundo Oliveira, Mariano e Quadri (2009) o pacote computacional ANSYS CFX® é um software de simulação para resolução numérica de problemas envolvendo mecânica dos fluidos e transferência de calor (CFD). O programa emprega a metodologia de volumes finitos utilizando estruturas espaciais e gerando malhas correspondentes.

Software ICEM®

Descrição da geometria

O modelo foi realizado com todos os elementos de interesse (coberturas, paredes, aberturas e divisórias) e suas características reais foram construídas com o máximo de precisão, de acordo com as dimensões da sala de aula. Após a finalização da geometria do edifício, elaborou-se o domínio fluido, que é o volume de um espaço determinado por onde o fluxo escoa, e é modelado para simular o escoamento que é externo à edificação, devendo ser estanque, ou seja, sem aberturas. Finalizando, o edifício e o domínio foram unidos em um único modelo, eliminando todos os elementos externos às fronteiras do domínio. O formato de exportação mais adequado é o *ACIS®*, compatível para ser aberto no *Icem CFX®*, para que o modelo seja exportado como um bloco único, sendo possível, caso necessário, separar as superfícies posteriormente no *ICEM®*.

Definição das *Parts*

Antes da geração da malha, agruparam-se as superfícies que receberam tratamento semelhante no pré-processamento. Tais grupos recebem o nome de *Parts*, que de acordo com as condições de contorno são: parede (*wall*); entrada (*inlet*); saída (*outlet*) e abertura (*opening*). Parede é uma condição de contorno que se refere a uma fronteira sólida, não permitindo a entrada ou a saída de fluido do domínio. Já os termos entrada (*inlet*), saída (*outlet*) ou abertura (*opening*) são condições de contorno referentes às fronteiras pelas quais o fluido entra ou sai do domínio.

Determinação da malha

A malha é a discretização do espaço fluido dentro do domínio, definindo os pontos e volumes para os quais as equações de Navier-Stokes (equações diferenciais que descrevem o escoamento de fluidos, baseadas em derivadas parciais que permitem determinar os campos de velocidade e de pressão num escoamento), são resolvidas, e é gerada automaticamente pelo programa, através de um método iterativo, após a determinação dos parâmetros máximos e mínimos dos elementos.

Software CFX Pre®

Condições iniciais

As simulações foram realizadas em regime permanente, uma vez que as condições de contorno se mantêm constantes, considerando-se a velocidade de entrada de ar no modelo de 5,77km/h (aproximadamente

1,60m/s). Essa velocidade foi adotada baseada nas medições de velocidade de vento realizadas pela estação meteorológica da Esalq (Piracicaba) (2015). Em seguida, especificou–se o tipo de domínio como fluido, sendo que para fins de trabalho o ar é considerado como gás ideal e a pressão de referência como a pressão atmosférica local, desprezando-se as variações de temperatura. Por fim, definiu-se o modelo de turbulência, o modelo k-ε (*k-Epsilon*), por oferecer a melhor relação custo (tempo de processamento) benefício (precisão) e as funções turbulentas de superfície se tornaram como *scaleble* (padronizadas), para se ajustarem às interações entre o fluido e as superfícies sólidas.

Condições de contorno

Deu-se o tratamento diferenciado às paredes "reais" (como as do edifício e do piso, que são classificadas como sem escorregamento) e às paredes "para fins de simulação" (como o teto e as bordas laterais do domínio, que são classificadas como com escorregamento).

Controle de solução

O controle de solução determinou os parâmetros para a solução matemática do modelo pelo módulo de cálculo, nos quais foram estabelecidos: o intervalo de tempo, o número máximo de iterações e o critério de convergência a ser adotado. As simulações foram interrompidas quando se atingiu ou o número máximo de iterações ou o critério de convergência.

Software CFX Solver®

Após as etapas de elaboração do modelo, criação da malha e definição dos parâmetros no *CFX-Pre®*, iniciou-se a simulação propriamente dita no *CFX-Solver®*. Quando a simulação começou a ser realizada observou-se a evolução do critério de convergência adotado para massa, momento, energia e turbulência.

Software CFX Post®

Convergência

A confiabilidade dos resultados gerados na simulação foi observada através da convergência, considerando a convergência de 10^{-4} como meta das simulações. No fim do processamento da simulação, o *CFX®* gerou um arquivo de resultados e para visualizá-lo em forma de imagens, este arquivo foi importado para o *CFX-Post®*, última etapa do processo do *CFX®*.

Visualização dos Resultados

Quando a simulação foi concluída, o *software* gerou um arquivo de resultados, que permitiu a obtenção de diferentes informações do escoamento, e os resultados puderam ser analisados de forma qualitativa e quantitativa.

O *software* disponibilizou como resultado uma tabela para cada ponto discreto do escoamento, com um conjunto de valores que representam as

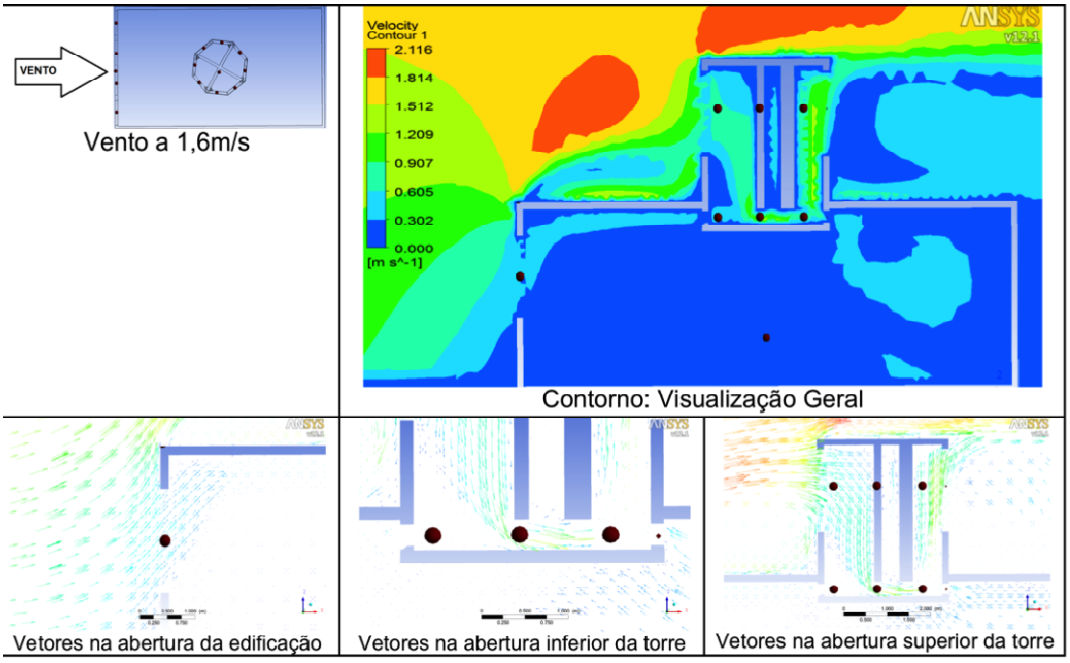
grandezas calculadas, como velocidade e pressão, as quais foram apresentadas de forma gráfica, utilizando imagens em escalas de cores apropriadas. Neste trabalho são mostradas as imagens de contorno e de vetores, as quais permitiram fazer uma análise qualitativa do escoamento de forma rápida e direta. Importantes detalhes do escoamento puderam ser convenientemente visualizados, como as zonas de recirculação devido à separação da camada limite.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Simulações de Velocidade

As imagens de contorno e vetores das simulações de velocidade realizadas no *software CFX®* encontram-se representadas nas figuras de 5 a 7.

Figura 5 - Contorno e Vetores de velocidade do vento para a torre a 0°

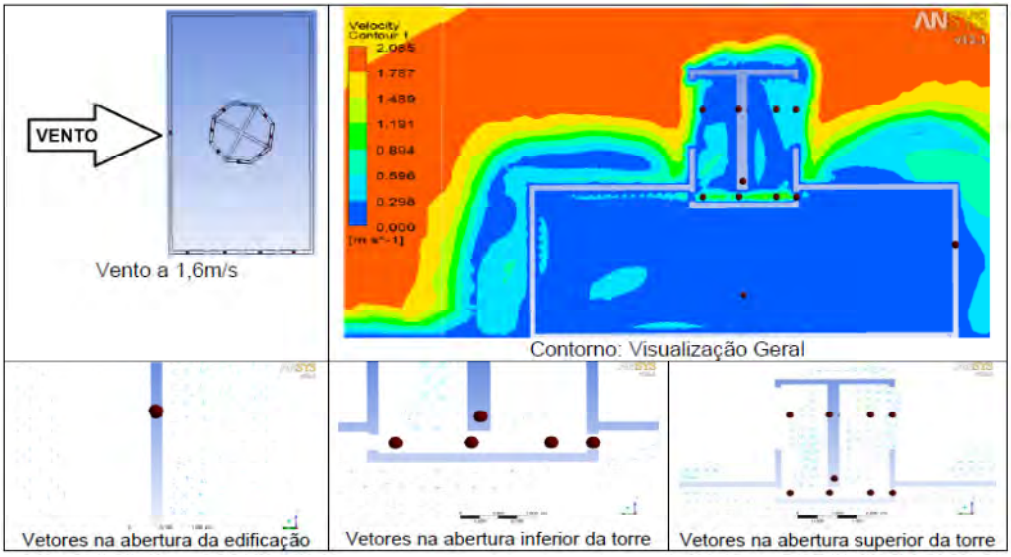


● Posições dos pontos onde foram simuladas as velocidades no *software CFX®*

Fonte: Os autores

Na torre a 0°, para a velocidade simulada (V=1,6m/s), percebe-se que há uma menor distribuição interna do ar, pois na torre a velocidade do ar atinge 1,2m/s próximo a abertura inferior da torre e no interior da edificação chega a 0,09m/s, fato provocado pela entrada do ar nas janelas da edificação, o qual aumenta a extração do ar captado pela torre, colocando-o para o exterior, através das outras aberturas da torre, embora próximo ao teto atinja 0,6m/s (Figura 5).

Figura 6 - Contorno e Vetores de velocidade do vento para a torre a 90º

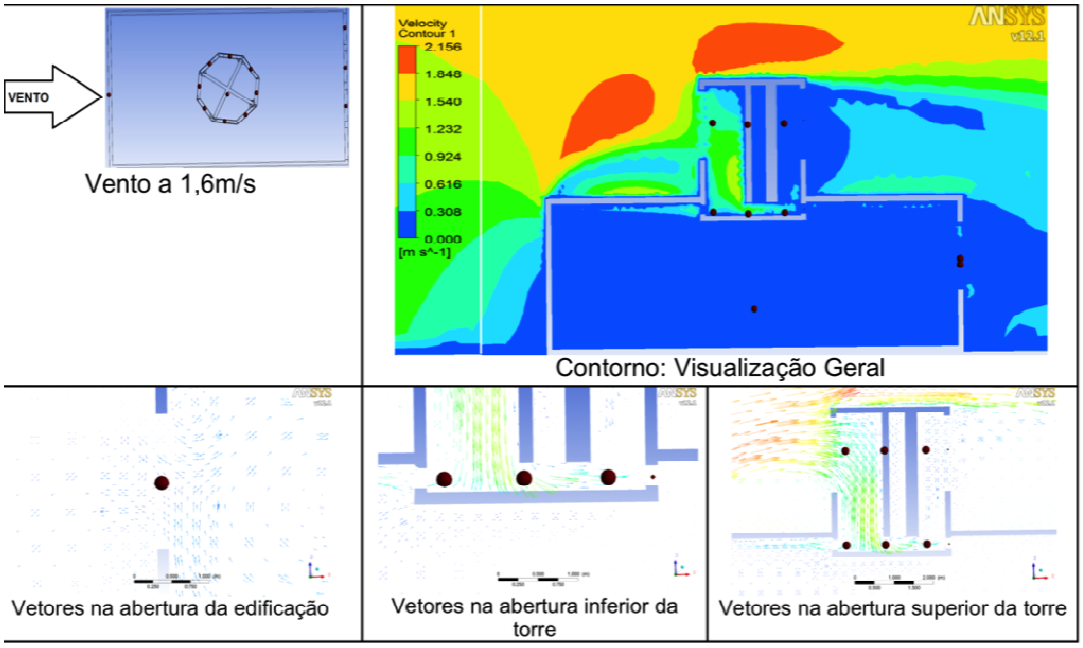


- Posições dos pontos onde foram simuladas as velocidades no *software CFX*®

Fonte: Os autores

Considerando a velocidade simulada (V=1,6m/s), para a torre a 90°, observa-se que não ocorre uma boa circulação de ar interno na edificação, em comparação à de 0°, pois embora as velocidades do ar atinjam 1,2m/s no interior da torre, elas ficam próximas a 0,3m/s próximo ao teto e 0,07 m/s no interior da edificação, devido à dificuldade do ar em passar pela abertura inferior da torre, como é percebido na Figura 6.

Figura 7 - Contorno e Vetores de velocidade do vento para a torre a 180º



- Posições dos pontos onde foram simuladas as velocidades no *software CFX*®

Fonte: Os autores

Ao analisar a velocidade simulada (V=1,6m/s), na torre a 180°, observa-se que não há uma ventilação interna adequada, porque ocorre uma concentração de ar no interior da torre próxima a parte inferior das divisórias, onde as velocidades atingem 1,5m/s, dificultando a sua passagem ao interior da edificação, na qual a velocidade se aproxima a 0,08m/s, gerando concentração de ar perto do teto com velocidade 0,6m/s (Figura 7).

3.2 Simulações de Pressão

Os valores das pressões computadas nas simulações realizadas no *software CFX®* permitiram calcular o coeficiente de pressão (Cp), utilizando a seguinte fórmula inserida no *CFX Post®*:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2} \quad (1)$$

Onde:

p é a pressão estática do fluido no ponto em que o coeficiente de pressão é avaliado (Pa).

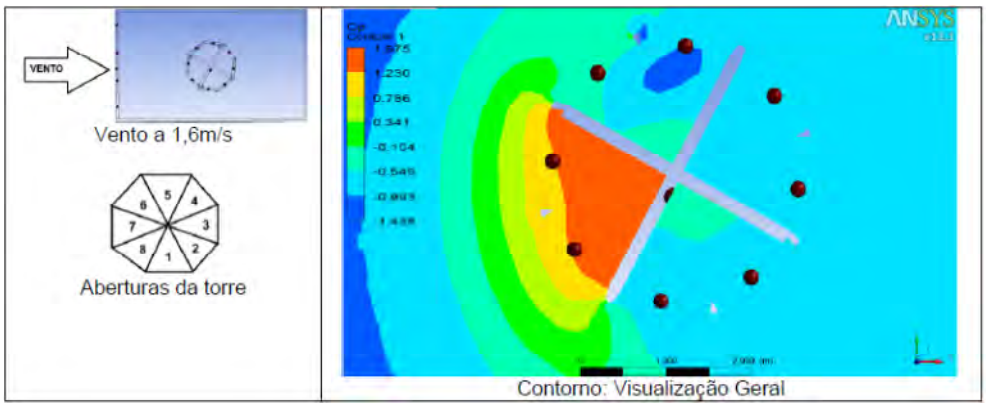
p_∞ ou PR (pressão de referência) é a pressão do fluxo livre, ou seja, que se encontra fora de qualquer perturbação criada pelo corpo estranho (Pa).

ρ_∞ é a densidade do fluido no fluxo (a do ar ao nível do mar e 15 °C é 1.225 Kg/m³)

V_∞ é a velocidade de fluxo livre do fluido, ou a velocidade do corpo através do fluido (m/s).

Os valores de Cp encontram-se representados nas figuras de 8 a 10.

Figura 8 - Contorno do coeficiente de pressão para a torre a 0°

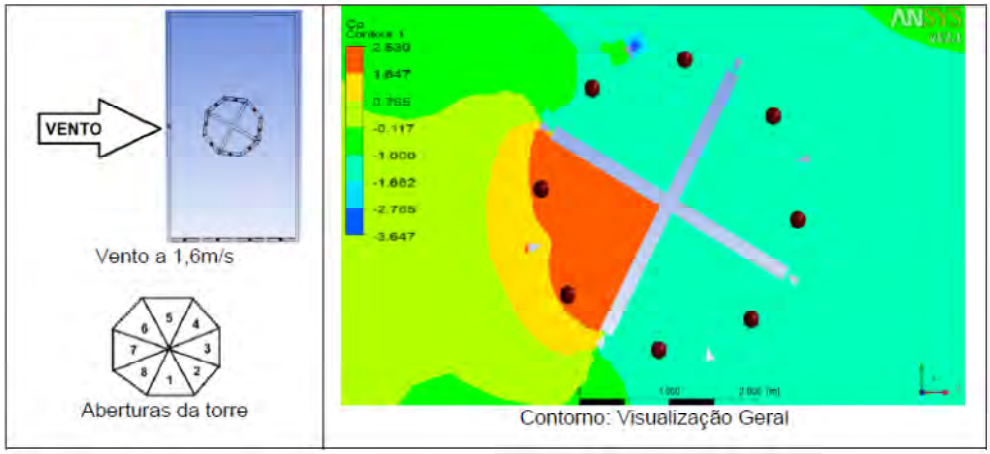


- Posições dos pontos onde foram simulados os coeficientes de pressão no *software CFX®*

Fonte: Os autores

Na torre a 0°, os valores dos coeficientes de pressão das aberturas de 1 a 6 (Cp1 a Cp6) apresentaram menores valores quando comparados aos de 7 e 8 (Cp7 e Cp8), pois esses coeficientes aumentam à medida que os valores das velocidades de ensaio se elevam (Figura 8).

Figura 9 - Contorno do coeficiente de pressão para a torre a 90°

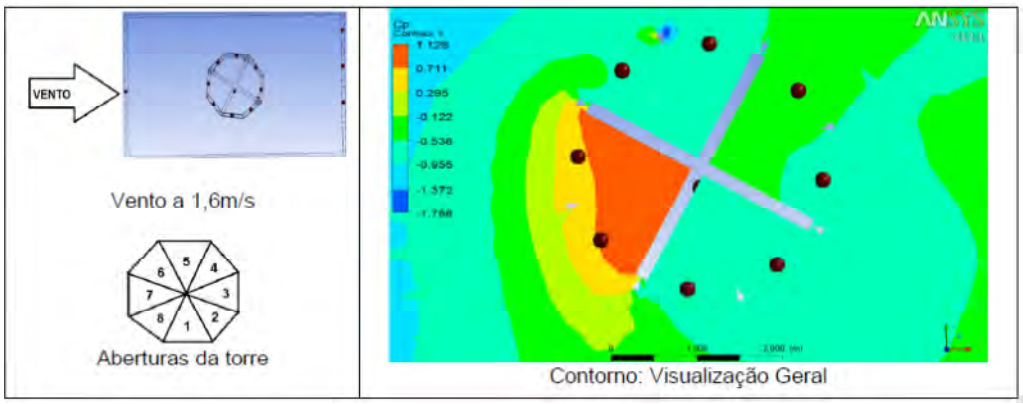


- Posições dos pontos onde foram simulados os coeficientes de pressão no *software CFX®*

Fonte: Os autores

Considerando a torre a 90°, os valores dos coeficientes de pressão das aberturas de 1 a 6 (Cp1 a Cp6) diminuem mesmo com o aumento das velocidades, porém os coeficientes de pressão das aberturas 7 e 8 (Cp7 e Cp8) aumentam com o crescimento dessa velocidade por estar em uma posição favorável ao vento (Figura 9).

Figura 10 - Contorno do coeficiente de pressão para a torre a 180°



- Posições dos pontos onde foram simulados os coeficientes de pressão no *software CFX®*

Fonte: Os autores

Na torre a 180°, os valores dos coeficientes de pressão das aberturas de 1 a 6 (Cp1 a Cp6) diminuem à medida que ocorre o crescimento das velocidades, mas os coeficientes de pressão das aberturas de 7 e 8 (Cp7 e Cp8) apresentam maiores valores pelo fato das aberturas se posicionarem perpendiculares ao vento (Figura 10).

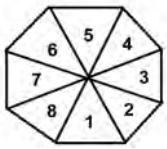
3.3 Relação entre os valores do coeficiente de pressão e de velocidade na ventilação da edificação

No Quadro 1 mostra-se os sinais dos coeficientes de pressão (Cp) para a velocidade simulada no *software CFX®*, os quais indicam barlavento, quando

a torre funciona como captador (Cp positivo), ou sota-vento, quando a torre atua como extrator (Cp negativo), ocorrendo ambos sistemas para uma mesma posição.

Analisando-se os valores mostrados nesse quadro observa-se que as torres possuem coeficientes de pressão negativos na maior parte das posições. Todavia, como a abordagem dessa pesquisa é sobre captadores, serão considerados apenas os Cps positivos.

Quadro 1: Sinais dos coeficientes de pressão (Cp) nas aberturas da torre



Posição das aberturas da torre

Velocidades X Posições	Cp1	Cp2	Cp3	Cp4	Cp5	Cp6	Cp7	Cp8
0°	-	-	-	-	-	-	+	+
90°	-	-	-	-	-	-	+	+
180°	-	-	-	-	-	-	+	+

Fonte: Os Autores

Analisando os Cps positivos para a velocidade simulada, verifica-se que todas as posições possuem os mesmos números desses Cps, em relação à posição e direção do vento, inclusive é, também, a posição de 0° que apresenta os maiores valores de velocidade do ar interno à edificação (Quadro 1).

4 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos por Souza, Vieira e Castro (2012) e comparando as três posições simuladas quanto à velocidade do ar interno,), conclui-se que a posição de 0° é mais eficaz no aumento da ventilação interna, por apresentar os maiores valores. Na análise de velocidade do ar e coeficientes de pressão positivos foi observado que todas as posições funcionam igualmente como captador, além de permitirem uma discreta melhora na ventilação interna à edificação.

O uso de uma ferramenta CFD (*Computational Fluid Dynamics* ou Dinâmica dos Fluidos Computacional: simulação numérica de todos os processos físicos e/ou físico-químicos que apresentam escoamento) em simulações, como o *software CFX®*, oferece grande auxílio no projeto de ventilação, e, os resultados fornecidos comprovam fenômenos conhecidos e esperados, além de identificar pontos de melhoria no projeto. Embora essas simulações sejam complexas e demoradas, seus resultados permitem uma avaliação visual e segura para o desenvolvimento de projetos.

REFERÊNCIAS

ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buildings.** London: James & James, 1998.

ANDRADE, N.C; LABAKI, L.C.; CARAM, R.M.; GRECO-JUNIOR, P.C. Influência do número de divisórias dos captadores de vento na ventilação natural de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió, **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014..

ANSYS. **CFX 12.1 Solver Models**. Diddcot Oxfordshire: CFX, 2009.

ARAÚJO, C.V.A.; PEDRINI, A. Análise de Captadores de Vento para Potencialização da Ventilação Natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013, Brasília, **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. Campinas: CEPAGRI, 2011.

CHIESA, G.; RAMPONI, R.; ADHIKARI, R.S. Energy impact of ventilation in building design - A literature review. In: PASSIVE & LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3.; 2010, Rhodes, **Anais…** Santorini: Heliotopos Conferences, 2010.

ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. **Base de Dados Meteorológicos da Estação Convencional.** Piracicaba: ESALQ, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JIMÉNEZ, M.J.; ENRÍQUEZ, R. HERAS, M.R. System identification applied to energy analysis in a bioclimatic office building in semidesertic weather in the south of Spain. In: PASSIVE & LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3.; 2010, Rhodes, **Anais…** Santorini: Heliotopos Conferences, 2010.

KRÜGER, E.; ADRIAZOLA, M. K. O.; MICHALOSKI, A. O. Desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO (ENCAC) E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC), 2001, São Pedro. **Anais...**São Pedro: ANTAC, 2001.

LÔBO, D.G.F.; BITTENCOURT, L.S. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, 2003.

OLIVEIRA, B.Y.; MARIANO, G.C.; QUADRI, M.B. Um estudo CFD de vazamento de óleo a partir de dutos submersos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009, Uberlândia. **Anais...** São Paulo: ABEQ, 2009. Disponível em: <**www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/99517091.pdf**>. Acesso em: 23 mar. 2010.

SOUZA, M.B.; VIEIRA, M.L.; CASTRO, A.P.A.S. Estudo do desempenho térmico e visual de três salas de aula – campus da Unimep em Santa Bárbara d'Oeste. In: XIV ENTAC

- Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

FACHADAS SAZONALMENTE ADAPTÁVEIS: MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA[1]

ARANTES, Beatriz (1); LABAKI, Lucila Chebel (2)

(1) UNICAMP, e-mail: beatriz.arantes@live.com; (2) UNICAMP: lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

Melhorias no design, concepção e construção de fachadas desempenham um importante papel nos esforços recentes em diminuir o consumo energético mundial. Fachadas sazonalmente adaptáveis podem influenciar no desempenho termoenergético dos edifícios. O presente trabalho objetivou o desenvolvimento de um Mapeamento Sistemático da Literatura – Systematic Mapping Study *(SMS) – acerca do tema "fachadas sazonalmente adaptáveis". A ferramenta SMS, entendida como processo de busca por literatura para a identificação de trabalhos publicados, é caracterizada pelo paradigma baseado em evidências. Aborda aspectos tipológicos, quantitativos e descritivos dos resultados dos estudos realizados. Visando dados de saída relevantes, o trabalho foi realizado seguindo critérios pré-estabelecidos de qualidade. Os resultados evidenciaram lacunas de estudos no panorama nacional e tendência de crescimento da confecção de trabalhos acerca do tema em panorama internacional. Observou-se a predominância de realização de estudos sobre desempenho de fachadas adaptáveis em edifícios comerciais, especialmente em escritórios. A aplicação da ferramenta contribuiu para o entendimento do panorama geral acerca do tema pesquisado e, permitiu a identificação de importantes publicações que abordam o tema "fachadas sazonalmente adaptáveis".*

Palavras-chave: Mapeamento Sistemático da Literatura. Fachadas Sazonalmente Adaptáveis. Desempenho termoenergético.

ABSTRACT

Improvements in design, conception and construction of facades play an important role in recent efforts to reduce global energy consumption. Seasonal facades adjustment can influence thermal energetic performance of buildings. This study aimed at developing a Systematic Mapping Study (SMS) on the topic "seasonal facade adjustment". The SMS tool, a literature search process for identification of published papers, characterized as an evidence-based paradigm. It discusses typological, quantitative and descriptive aspects of the studies. Aiming relevant outputs, the work was carried out following pre-established quality criteria. Important publications about seasonal facade adjustment were identified and results showed study gaps in the Brazilian scene. Also, there is a growing trend of publications in the international scenario. Most of the publications focused on the performance analysis of adaptive facades in commercial buildings, specifically in offices. The SMS tool contributed to understand the scenario about the research topic and allowed the identification of important publications on the "seasonal facade adjustment" theme.

***Keywords**: Systematic Mapping Study. Seasonal Facade Adjustment. Thermal Energetic Performance.*

[1] ARANTES, Beatriz; LABAKI, Lucila Chebel. Fachadas sazonalmente adaptáveis: mapeamento sistemático da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Somada à função de caracterizar o aspecto exterior, as fachadas dos edifícios influenciam diretamente na qualidade de seus ambientes internos (GOIA et al., 2014).

A envoltória possui papel fundamental nos esforços recentes pela busca de eficiência energética e conforto ambiental no interior dos edifícios. Assim é importante que as fachadas sejam pensadas funcionalmente (GOIA et al., 2010; NAGY; MORAVČIK; PALKO, 2014). O desenvolvimento de tecnologias que tornem os edifícios dinâmicos é um importante passo na busca pelos edifícios de consumo zero de energia (FAVOINO; JIN, OVEREND, 2014; FAVOINO; OVEREND, 2015).

As edificações são inseridas em ambientes dinâmicos e complexos, influenciados por variáveis climáticas, culturais, sociais e psicológicas (ALBUQUERQUE, 2012). Por seu caráter estático ou fixo, as envoltórias dos edifícios convencionalmente projetadas, não têm meios de responder as mudanças das condições ambientais ao longo do dia (e/ou decorrer do ano), além de necessidades específicas devido a natureza variável das preferências de seus usuários (LOONEN; TRČKA; HANSEN, 2011).

O mantenimento do valor de isolamento, massa térmica e áreas de janelas constantes ao longo do ano, resulta em edifícios não otimizados que requerem a instalação de aparelhos de climatização artificial para compensar o fraco desempenho da própria construção (BOER et al., 2013).

O emprego de envoltórias adaptáveis (dinâmicas), em substituição das estáticas, oferece oportunidade para economia de energia e melhorias de índices de conforto. (LOONEN; TRČKA; HANSEN, 2011). Pelo caráter dinâmico e adaptação a diferentes condições de contorno, as fachadas adaptáveis possuem desempenho otimizado (GOIA et al., 2014).

Atualmente, um projeto arquitetônico de sucesso tem se tornado cada vez mais complexo. A demanda pela satisfação de ambiciosos requisitos de desempenho social, ambiental e econômico é crescente (LOONEN et al., 2013).

Como método de adequação da edificação às diferentes condições climáticas, as *climate adaptative buildings shells* (CABS) têm recebido grande atenção. Buscam-se maiores níveis de sustentabilidade e melhoria da qualidade ambiental interna do ambiente construído (KASINALIS et al., 2014).

Buildings shells são os elementos de construção que separam o espaço interno do externo (cobertura e elementos opacos ou transparentes de paredes). O termo CABS pode ser entendido como a capacidade de adaptabilidade das funções, características ou comportamento das *building shells,* em resposta a requisitos de desempenho e condições de contorno variáveis, visando à melhoria do desempenho geral do edifício (LOONEN et al., 2013).

As CABS preveem a combinação dos aspectos benéficos e complementares das tecnologias de construção ativa e passiva para a envolvente do edifício, baseando-se em conceitos de adaptabilidade, multi-habilidade e capacidade de evoluir. Seu potencial para adaptação sazonal é reconhecido por vários estudos (KIM; KIM, 2014; LOONEN et al., 2013).

A aplicação de sistemas adaptativos, em substituição de envelopes convencionais, implica um nível mais elevado de complexidade durante a concepção projetual, a construção e fase operacional da edificação. É necessária, para a melhor compreensão da natureza inovadora de tais edifícios, a redução da complexidade das soluções adaptativas (KASINALIS et al., 2014).

Com base no exposto, e tendo em vista que as propriedades adaptáveis para fachadas "ideais" permitem maior eficiência termoenergética da edificação (BOER et al., 2013), é de extrema importância o desenvolvimento de estudos acerca do assunto e a busca por edifícios providos de fachadas adaptáveis ou dinâmicas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi, através do Mapeamento Sistemático da Literatura (*Systematic Maping Study* - SMS), apresentar o atual panorama de publicações acerca do assunto "fachadas sazonalmente adaptáveis". Buscou-se a identificação de eventuais lacunas de conhecimento e/ou tendências de estudo na área. As informações apresentadas podem estimular pesquisas, contribuindo para a consolidação ou criação de novos conhecimentos científicos sobre o tema abordado.

2 METODOLOGIA

O SMS é um processo de busca por literatura para a identificação de trabalhos publicados (RUIZ e GRANJA, 2013). Objetiva o conhecimento do panorama geral acerca de determinado assunto de pesquisa. São abordados os aspectos tipológicos, quantitativos e descritivos dos estudos realizados (FERNANDEZ et al., 20019; BRERETON et al., 2007).

A aplicação deste processo pode tornar mais ágil a busca por informações que orientem e embasem pesquisas. Para tanto, a investigação realizada deve ser bastante criteriosa e rigorosa (KITCHENHAM; BUDGEN; BRERETON, 2011).

Visando dados de saída relevantes, a seleção das Bases de Dados onde serão realizadas as buscas deve ser feitas segundo critérios de qualidade e de acordo com a área de estudo. O acesso às Bases de Dados aceitas e reconhecidas pelo meio científico geralmente se dá por convênios firmados pelas Universidades (RUIZ; GRANJA, 2013).

O SMS tem sido bastante difundido no meio científico visando à identificação de lacunas de conhecimento e/ou tendências de pesquisas.

Para a realização SMS, empregado neste trabalho, foi utilizado o método elaborado por Ruiz e Granja, (2013) e já adotado por Guedes e Bertoli (2015) e Lopes, Cóstola e Labaki (2015). Tal método é composto pelas cinco etapas

descritas a seguir.

- O que buscar? Consistiu na definição das palavras-chave mais aderentes ao tema pesquisado. Estas foram utilizadas como *inputs* nas Bases de Dados pesquisadas. Para as Bases de Dados em língua inglesa, foram utilizadas as seguintes expressões: "*dynamic building skins*"[2], "*adaptive building skins*", "*dynamic facades*", "*dynamic building envelope*", *climate adaptive building shells e advanced integrated facades.* Para a Base de Dados em língua portuguesa adotou-se a tradução das citadas expressões.
- Onde buscar? Fase focada na identificação das Bases de Dados onde a pesquisa seria realizada. Tal identificação se deu através de análise exploratória de fontes e/ou pesquisas de artigos prévias (GUEDES E BERTOLI, 2015). Visando a identificação de relevantes publicações nacionais e internacionais, foi definida a utilização das seguintes Bases de Dados: Revista Ambiente Construído (RA), *Scopus* (SC), *Science Direct* (SD) e *Web of Science* (WS).
- Como buscar? A maneira de operação e especificidades de cada uma das Bases de Dados foi entendida. Recursos de buscas avançadas foram utilizados. As buscas realizadas restringiram-se a *article* e *review article*. Não houve restrição para período de publicação dos documentos nas buscas realizadas. A *string* de busca foi formada através da utilização do Operador *Booleano OR*[3] para a união de todas as expressões.
- Como salvar? As listagens dos arquivos obtidos foram armazenadas, de acordo com a Bases de Dados pela qual foram disponibilizados, através de arquivos nos formatos .csv, .xls. Tal ação permitiu que, posteriormente, os dados pudessem ser trabalhados em planilhas eletrônicas dinâmicas.

  Para maior agilidade do processo de execução do SMS, as planilhas foram compostas por informações gerais de cada arquivo, tais como títulos, informações a respeito das Bases de Dados pelas quais os arquivos foram disponibilizados, seu ano de publicação, autores e resumos. Tais planilhas ainda podem ser acessadas posteriormente para futuras consultas.
- Como analisar? As listagens de arquivos foram organizadas em uma única planilha eletrônica, o que permitiu a seleção e triagem dos mesmos. Inicialmente foram identificados e descartados os arquivos que apresentaram duplicidade.

  Assim, deu-se início às análises de aderência: quando aderentes, os dados receberam o rótulo "S", os talvez aderentes o rótulo "T" e os não aderentes receberam o rótulo "N".

  A primeira análise de aderência foi baseada nos títulos dos documentos reportados nas buscas. Posteriormente, foi realizada uma nova análise de

[2] A colocação de frases entre aspas ("") indica que a expressão exata deve ser buscada (BIBENG, 2016).

[3] O Operador *Booleano OR* é utilizado quando pelo menos uma das expressões digitadas deve ser encontrada (BIBENG, 2016).

aderência, baseada em características específicas do tema "fachadas sazonalmente adaptáveis". Através da leitura do resumo de cada título aderente, foram identificadas as publicações de interesse.

Os dados que receberam o rótulo de não aderência em alguma análise deixaram de fazer parte de rol de documentos de interesse. O resultado desse processo é apresentado no tópico "Resultados".

Os artigos de interesse foram salvos no formato .pdf para posteriores consultas. Para a coordenação destes artigos foi utilizado a plataforma *Mendeley,* disponibilizada gratuitamente para a organização de arquivos de formato .pdf.

3 RESULTADOS

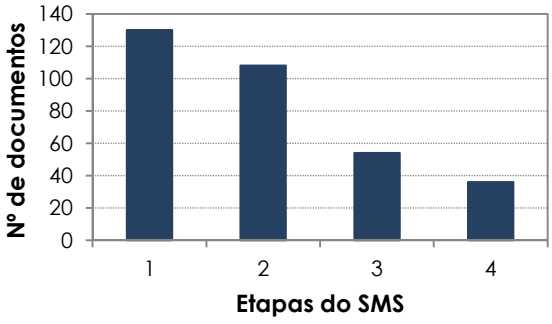
Os resultados apresentados foram baseados nas publicações reportadas no SMS realizado e descrito.

A pesquisa realizada na Base de RA não reportou resultados acerca do assunto específico de interesse. Os resultados apresentados a seguir são fundamentados nas buscas realizadas nas demais Bases de Dados utilizadas.

A Figura 1 apresenta o número de documentos obtidos durante as etapas do SMS. A Figura indica uma redução de aproximadamente 72% dos documentos classificados como aderentes entre as etapas 1 e 4 do SMS. Tal redução se deve à existência de uma mesma publicação em mais de uma Base de Dados (duplicidade de publicações), mas principalmente pela ocorrência de publicações reportadas na etapa inicial do processo, com temas divergentes daquele buscado.

O foco deste trabalho foi a identificação de publicações que abordassem em seus títulos / resumos termos relacionados ao tema "fachadas sazonalmente adaptáveis".

Figura 1 – Documentos obtidos *versus* evolução do SMS



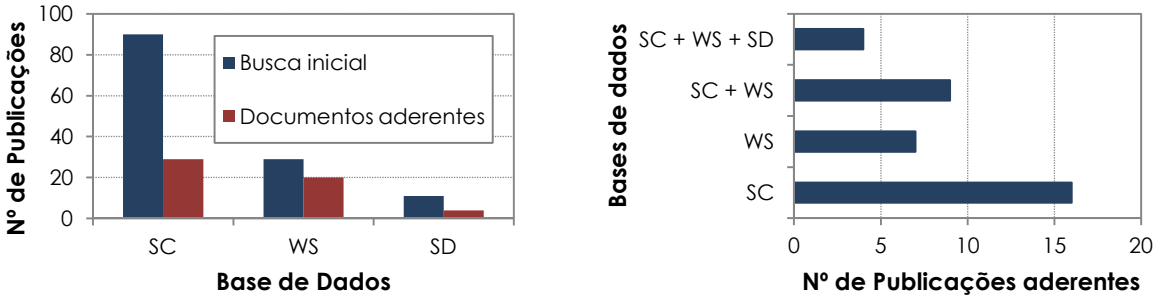
Legenda: (1) número total de documentos encontrados: 130; (2) documentos sem duplicidade - 108; (3) documentos de interesse após análise de aderência primaria (por título): 54; (4) documentos de interesse após análise de aderência secundária (leitura de resumos): 36.

Fonte: Os autores

A Figura 2 apresenta a distribuição das publicações obtidas de acordo com as Bases de Dados pesquisadas.

A Figura 2(a) indica que aproximadamente 68% dos documentos oriundos na fase inicial da pesquisa da Base de Dados SC, foi descartado por não aderência primária (por título) e secundária (leitura de resumo). Porém, através da Figura 2(b), nota-se que aproximadamente 81% dos arquivos aderentes estava presente na Base de Dados SC, apontando-a como Base de Dados relevante para busca por documentos sobre o assunto pesquisado.

Figura 2 – Número de documentos *versus* Base de Dados



(a) (b)

Fonte: Os autores

Embora haja uma pequena redução do número de publicações classificadas como aderentes do ano de 2014 para o ano de 2015 (redução de aproximadamente 22%), na Figura 3, observou-se uma tendência de aumento de interesse pelo tema pesquisado dos anos de 2012 a 2014. O incremento do número de documentos reportados e classificados como aderentes (por título e leitura de resumos) e publicados entre os anos de 2012 e 2014, foi bastante significativo, atingindo o valor aproximado de 350%. Tal fato demonstra que o tema "fachadas sazonalmente adaptáveis" tem sido foco de maior interesse por parte de pesquisadores nos últimos anos.

A não existência de publicações no ano de 2016 pode ser explicada em função da data de realização das pesquisas nas Bases de Dados (janeiro/2016).

Figura 3 – Distribuição dos arquivos aderentes por ano de publicação



Fonte: Os autores

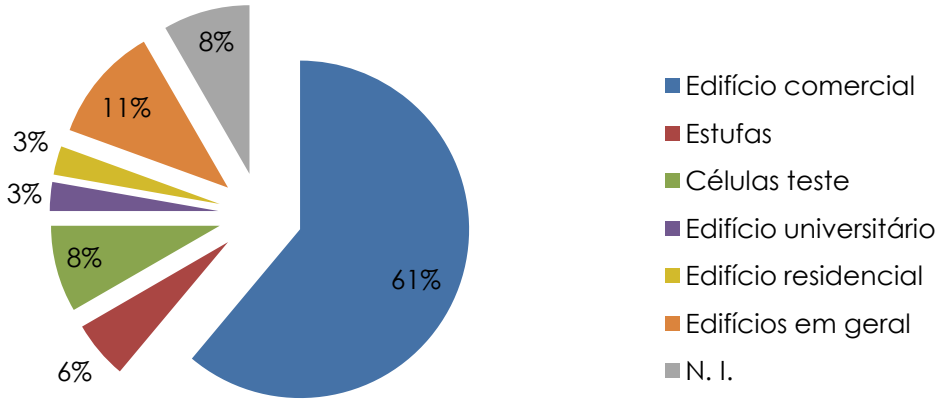
Através da Figura 4, nota-se que em, aproximadamente, 61% das publicações classificadas como aderentes, o tema abordado é investigado em edifícios comerciais. A maior parte dessas publicações utiliza como ambientes de estudo/análise salas de escritórios, evidenciado o interesse dos pesquisadores pela análise dessa tipologia de edifício. Tal interesse, provavelmente, se deve ao fato desses edifícios consumirem significativa quantidade de energia e, com a adoção de fachadas adaptáveis, é possível melhorar seu desempenho termoenergético.

Por motivos adversos, até a execução deste trabalho, algumas publicações não foram obtidas integralmente e, através de seus resumos, não foi possível identificar o local onde a análise foi realizada. Tais publicações receberam a sigla N.I. (não informado) nas figuras.

Destaca-se que, dentre as publicações classificadas como aderentes para este trabalho, apenas um documento (equivalente a 3% do universo avaliado) apresentou análise realizada em edificação de caráter residencial. Buscas específicas para esse tipo de edificação devem ser realizadas.

A Figura 4 ainda demonstra a diversidade de aplicabilidade e/ou adaptação do tema abordado. Exemplo disso é a existência de trabalhos sobre a aplicabilidade de adaptação sazonal em envoltórias de estufas.

Figura 4 – Publicações aderentes por local de investigação



Fonte: Os autores

A Figura 5 apresenta, detalhadamente, os diferentes subtemas abordados nas publicações classificadas como aderentes neste trabalho, permitindo a identificação, por parte de pesquisadores, de lacunas e/ou tendências no estudo sobre o tema "fachadas sazonalmente adaptáveis".

De acordo com a ilustração, a maior parte das publicações é focada na identificação ou quantificação do potencial para economia de energia (análise de desempenho) das fachadas e/ou elementos de fachadas adaptáveis.

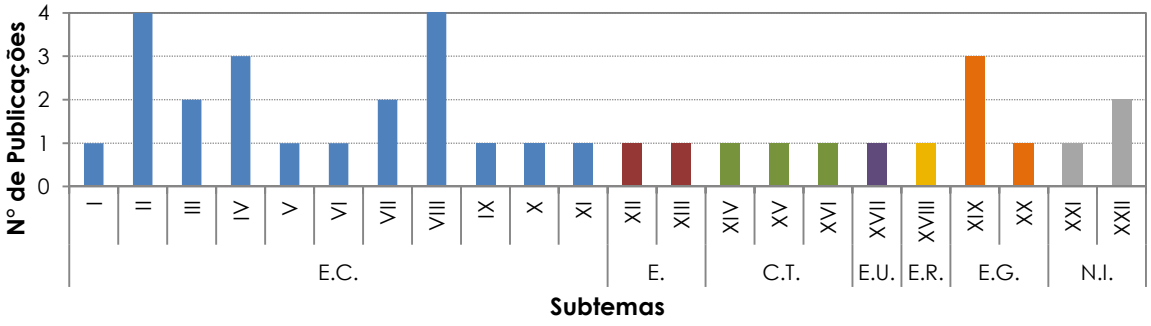
Ressalta-se que, dentre os documentos classificados como aderentes nesse trabalho, não foram encontrados estudos sobre a viabilidade de aplicação de fachadas adaptáveis para edifícios de caráter residencial. Essa temática de avaliação foi identificada em estudos voltados para edifícios de caráter comercial e estufas.

Assim, através da Figura 5, pode-se identificar uma possível lacuna de conhecimento sobre a viabilidade de aplicação de fachadas sazonalmente adaptáveis a edifícios de caráter residencial. Pesquisas específicas sobre esse assunto devem ser realizadas e o panorama de publicações sobre o mesmo entendido.

A ilustração permite afirmar que o tema abordado proporciona um leque bastante grande e diversificado de pesquisas a serem desenvolvidas. Do total de 36 arquivos classificados como aderentes ao tema, nessa etapa do estudo, foram identificados 22 diferentes subtemas de trabalho.

As diferentes publicações analisadas demonstram que o tema comporta pesquisas realizadas através de métodos de simulação computacional, experimentos, medições realizadas *in loco* e revisão da literatura e/ou estado da arte.

Figura 5 – Publicações aderentes por subtema



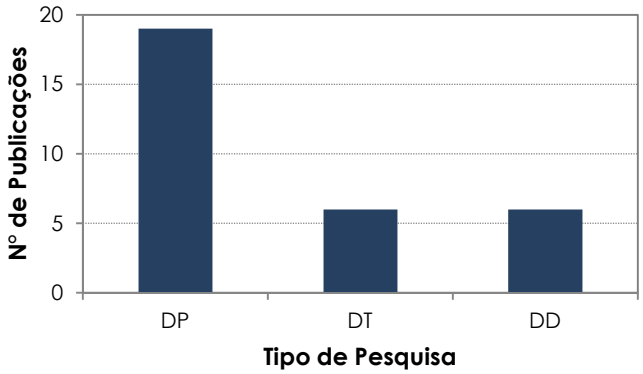
Legenda: **E.C.** (edifício comercial) - (I) Fachada dinâmica combinada a painéis fotovoltaicos; (II) potencial / análise de desempenho de fachadas dinâmicas; (III) desenvolvimento de modelo de fachada adaptável; (IV) método / métrica para avaliação de fachadas dinâmicas; (V) método para definição de intervalo ideal de adaptação de fachadas; (VI) quantificação da influência da operação da fachada automatizada na satisfação do usuário; (VII) instruções para tomada de decisões para desenvolvimento de fachadas; (VIII) consumo energético x iluminação natural x índice de conforto; (IX) estudo de protocolos fachadas dinâmicas em edifícios comerciais; (X) *retrofitting*; (XI) fachada dinâmica com foco em ventilação natural; **E.** (estufas) - (XII) estudo de otimização para adaptação mensal x anual; (XIII) discussão de modelos para determinar efeitos de estratégias de controle; **C.T.** (células teste) - (XIV) comportamento de janelas com *phase change materials*; (XV) alteração de sistemas mecânicos de fachadas adaptáveis; (XVI) análise de módulo de fachada adaptável; **E.U.** (edifício universitário) - (XVII) análise de módulo de fachada adaptável; **E.R.** (edifício residencial) - (XVIII) metodologia de design; **E.G.** (edifícios em geral) - (XIX) estado da arte / revisão fachadas adaptáveis; (XX) métodos computacionais de formatação de espaços; **N.I.** (não informado) - (XXI) potencial de economia de energia; (XXII) processo orientado para tomada de decisões.

Fonte: Os autores

A Figura 6 demonstra que a maior parte dos documentos encontrados (aproximadamente 61%) relaciona-se a discussões e/ou análises de desempenho e/ou potencial de otimização termoenergética do edifício, através da adoção de fachadas adaptáveis.

Destacaram-se também publicações de caráter teórica, voltadas para a discussão ou explanações sobre o tema fachadas adaptáveis. Estas totalizam, aproximadamente, 19% dos documentos selecionados como aderentes. Os demais documentos aderentes relacionam-se a discussões diversas sobre o tema.

Figura 6 – Tipologia de pesquisa



Legenda: (DP) discussões/ análises de desempenho/potencial – 19 documentos; (DT) discussões/explanações sobre o tema fachadas adaptáveis – 6 documentos; (DD) discussões diversas – 6 documentos.

Fonte: Os autores

A Figura 7 ilustra a distribuição continental de origem dos documentos (total de 19) que tratam sobre discussões e/ou análises de desempenho e/ou potencial de otimização termoenergética do edifício, através da aplicação de fachadas adaptáveis.

Observa-se que, aproximadamente, 37% das publicações são oriundas do continente Europeu. Tais publicações se devem a pesquisas desenvolvidas para climas de países como Holanda, Itália, Países Baixos e Países Nórdicos.

Notam-se também documentos oriundos de pesquisas realizadas para climas da América do Norte (trabalhos desenvolvidos para climas dos Estados Unidos) e Ásia (publicação proveniente de análises realizadas para o clima de Abu Dhabi).

Por motivos adversos, conforme ocorrido e explicado na Figura 4, não foram obtidas estas informações de 32% dos documentos.

Destaca-se que não foram encontrados ou, não foi obtido acesso a documentos completos produzidos a partir de estudos desenvolvidos para a América do Sul, África e Oceania.

Figura 7 – Distribuição continental de publicações de interesse



Legenda: (AN) América do Norte; (EU) Europa; (AS) Ásia.

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Diante da realização deste trabalho, pôde-se concluir que:

- tendo em vista o número de pesquisas relacionadas ao tema "fachadas sazonamente adaptáveis" até o ano de 2015 e, a importância da realização de estudos acerca do tema, visando à melhoria do desempenho termoernergético dos edifícios, conclui-se que há uma tendência de incremento no número de publicações sobre a temática investigada;
- o maior foco de estudo de fachadas adaptáveis está em edifícios comerciais, mais precisamente, em salas de escritórios;
- as buscas realizadas com as expressões citadas traduzidas para a língua portuguesa não reportou resultados, o que permitiu a identificação de lacunas de estudo no panorama nacional;
- o tema "fachadas sazonalmente adaptáveis" proporciona um leque bastante grande e diversificado de pesquisas a serem desenvolvidas;
- o tema, que pode ser considerado contemporâneo, ainda deve ser explorado para diferentes climas e regiões continentais. Dentre os documentos acessados, não foi identificado nenhum que abordasse o tema fachadas sazonalmente adapátavies através de estudos realizados na América do Sul;
- a realização do Mapeamento Sistemático da Literatura é de extrema importância para a identificação de lacunas e/ou tendências de assuntos de pesquisa, contribuindo para a evolução das pesquisas científicas;
- para a realização do Mapeamento Sistemático da Literatura, é indispensável a atenção às características de pesquisa de cada Base de Dados utilizada, visando à obtenção de resultados aderentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Capes pelo apoio financeiro à pesquisa através de bolsa de doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade da Universidade Estadual de Campinas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUEQUE, K. S. C. C. de. Fachada flexível para casa padronizada em condomínios. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

BIBENG. Biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS. **Web of Science** – tutorial. Disponível em: < http://www.usjt.br/arq.urb/arquivos/abntnbr6023.pdf>. Acesso em 25 maio, 2016.

BOER, B. J. de. et al. Future climate adaptive building shells 'optimizing energy and comfort by inverse modelling'. In: Energy forum on Solar Building Skins, 8, 2013. Bressanone (Italy). **Proceedings...** 2013, p.15 -19.

BRERETON, O.P.; et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **The Journal of Systems and Software**, v. 80, p. 571–583, 2007.

FAVOINO, F; OVEREND, M. A simulation framework for the evaluation of next generation Responsive Building Envelope technologies. In IBPC: International Building Physics Conference, 6, Torino (Italy), 2015. **Energy Procedia**, v. 78, p. 2602 – 2607, 2015.

FAVOINO, F.; JIN, Q.; OVEREND, M. Towards an ideal adaptive glazed façade for office buildings. In SEB 2014: International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, 6, United Kingdom, 2014. **Energy Procedia**, v. 62, p. 289 – 298, 2014.

FERNANDEZ, N.C. et al. Systematic mapping study on empirical evaluation of software requirements specifications techniques. In: **Third International Symposiumm on Empirical Software Engineering and Measurement**, 2009, p. 502 – 505.

GOIA, F. et al. Towards an active, responsive, and solar building envelope. **Journal of Green Building**, v. 5, p. 121-136, 2010.

GOIA, F. et al. Energy performance assessment of advanced integrated Façades by means of synthetic metrics. In: ISHVAC 2013: International Symposium on Heating, Ventilation, and Air Conditioning, 8, Xi'an (China), 2013. **Lecture Notes in Electrical Engineering**, v. 263, p. 21-28, 2014.

GUEDES, I.C.M.; BERTOLI, S. R. Ruído de tráfico veicular em áreas urbanas: mapeamento sistemático da literatura. In: ELACAC, 2015 - XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015. **Anais...** Campinas (Brasil), 2015.

KASINALIS, C. et al. Framework for assessing the performance potential of seasonally adaptable facades using multi-objective optimization**. Energy and Building**, p.106 – 113, 2014.

KIM, D-Y; KIM, S-A. An integrated design process of climate adaptive building shells using generative algorithm. **Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design**, v. 30, ed. 3, p. 23 – 30, 2014.

KITCHENHAM, B; BUDGEN, D; BRERETON, P. Using mapping studies as the basis for further research – A participant-observer case study. **Information and Software Technology**, v. 53, p. 638 – 651, 2011.

LOONEN, R. C. G. M. et al. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 25, p. 483 – 493, Setembro, 2013.

LOONEN, R. C. G. M. TR ČKA, M.; HANSEN, J. L. M. Exploring the potential of climate adaptive building shells. In: Building Simulation 2011: Conference of International Building Performance Simulation Association, 12, Sydney, 2011. **Proceedings…** 2011, p.14 -16.

LOPES, F. da S. D.; Cóstola, D.; Labaki,L. C. Panorama de consumo energético para estudos de eficiência em edifícios de escritório em regiões de clima tropical. In: ENCAC/ELACAC, 2015 - XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Campinas, 2015.

NAGY, Z; MORAVČIK,A ; PALKO M. The impact of the dynamic facade elements on the energy balance of the reference building in winter. In: ABCM 2013 - **International Conference on Advanced Building Construction and Materials**, Kocovce (Slovakia), 2013.

RUIZ, J. de A; GRANJA, A. D., 2013. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. In: SIBRAGEC, 2013 - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 8, 2013. **Anais...** Salvador, 2013.ANTAC, 2013. p. 607-619.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONTRIBUIÇÕES DA LEGISLAÇÃO PARA O CONFORTO TERMOAMBIENTAL EM ESCALAS ARQUITETÔNICA E URBANA[1]

AZERÊDO, Jaucele (1); FREITAS, Ruskin (2)

(1) UFPE, e-mail: jaucele_azeredo@hotmail.com; (2) UFPE, e-mail: ruskin37@uol.com.br

RESUMO

A vegetação urbana, em espaços livres, aporta diversos benefícios, contribuindo para a diminuição da temperatura ambiente e do indivíduo e para a absorção das águas pluviais. O poder público colabora com o conforto dos usuários, em virtude da elaboração de leis que promovam condições favoráveis ao plantio e à manutenção da vegetação urbana. Este trabalho objetiva analisar a contribuição da legislação urbanística, em especial, aquela que aborda os tetos verdes, para o conforto ambiental. Seguem-se o método hipótético-dedutivo e as técnicas de pesquisa de observação e análise comparativa. Em Recife/PE, há a Lei Nº 18.112/2015, que dispõe sobre telhado verde e reservatórios de acúmulo ou retardo do escoamento das águas pluviais. Localizada em clima tropical litorâneo quente e úmido, Recife possui altas médias anuais de temperatura do ar e de pluviosidade. Para manter-se na zona de conforto, um dos requisitos necessários é a sombra, que pode ser conseguida através da arborização, também contribuindo com a drenagem da água pluvial. Observam-se as iniciativas da gestão municipal, quanto à arborização urbana. Em Recife, o poder público tem tomado algumas iniciativas que beneficiam o conforto ambiental, porém os caminhos encontrados ainda são incipientes.

Palavras-chave: Vegetação. Conforto ambiental. Legislação urbana.

ABSTRACT

The urban vegetation, in free spaces, supports many benefits, contributing to reduce the environmental and the subject's temperature and to absorb pluvial water. The public sector collaborates with the comfort of users, in virtue of the elaboration of laws that promote favorable conditions to the planting and maintenance of urban vegetation. This work aims to analyze the contribution of urbanistic legislation, in special, that which approaches the green roofs, to the environmental comfort. It follows the hypotactic-deductive method and the research technics of observation and comparative analysis. In Recife/PE, there is the Law Nº 18.112/2015, which disposes about green roof and accumulation reservoirs or delay in the flow of pluvial water. Localized in hot and humid coastal tropical weather, Recife has high annual average of air temperature and rainfall. To be kept in the comfort zone, one of the necessary requirements is the shadow, which can be achieved through the afforestation, also contributing with the drainage of pluvial water. The initiatives of municipal management can be observed on the point of urban afforestation. In Recife, the public power has taken some initiatives that benefit the environmental comfort, but the found patches are still incipient.

***Keywords**: Vegetation. Environmental comfort. Urban legislation.*

[1] AZERÊDO, Jaucele; FREITAS, Ruskin. Contribuições da legislação para o conforto termoambiental em escalas arquitetônica e urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os benefícios trazidos pela vegetação urbana e distribuída em espaços livres públicos, em termos psicológicos e físicos, encontra-se a diminuição de valores da temperatura ambiente e da temperatura corpórea do indivíduo, aliado a outras variáveis climáticas. Outro grande aporte, principalmente relativo a superfícies permeáveis, diz respeito à absorção das águas pluviais, seguindo-se o favorecimento ao abastecimento dos lençóis freáticos. Obviamente, devem ser observadas as condições de infiltração e de armazenamento que dependem do tipo de solo e do índice de pluviosidade.

Nesse contexto, o poder público está entre os principais atores em busca do conforto ambiental dos citadinos, em virtude da elaboração de leis urbanísticas cujos parâmetros e diretrizes regulamentam o uso e a ocupação do solo. Essa legislação deve ser responsável pela promoção de condições favoráveis ao plantio e à manutenção da vegetação urbana, em espaços públicos, bem como, relativas aos parâmetros construtivos intralotes, a exemplo das taxas de permeabilidade do solo.

As áreas urbanas constituem sistemas altamente complexos, com uma multiplicidade de interações, no espaço e no tempo. Assim, aliado à legislação, o poder público deve exercer o controle urbano, para monitorar o seu cumprimento, considerando o acelerado ritmo com que as mudanças têm ocorrido na cidade.

Essa discussão tem procurado valorizar a edificação, o ambiente urbano e atender às recomendações ambientais, por meio de novas formas de utilizar a vegetação, através de muros e de telhados verdes. Segundo Schutzer (2012, p. 268), ao denominar um empreendimento, como ambiental e ecológico, se está conferindo "um *status* bastante explorado pela mídia, sobretudo na sensibilização para os negócios imobiliários". Tem-se visto o consumo cada vez mais do verde, do ecológico e do ambiental, "embora ainda não se tenha uma noção exata do que isto significa e como se reflete na escala do lote, da rua, do bairro, da cidade".

O clima tropical quente e úmido possui, dentre outras características, dias quentes e úmidos, baixa amplitude térmica diurna e sazonal; duas estações bem definidas: verão e inverno; e ventos oriundos, predominantemente, de sudeste (ROMERO, 2000, p.45). Visando ao conforto ambiental, deve-se buscar a diminuição da temperatura e a perda de calor por evaporação e convecção; favorecer o movimento do ar; evitar a absorção de umidade do ar; promover a máxima proteção em espaços públicos abertos, dentre outros (ROMERO, 2000, p.87). Recife, localizada nesse tipo climático, possui temperatura média do ar anual em torno de 25°C, 2.254mm de média anual de pluviosidade (CONDEPE/FIDEM, 2011, p. 16; 18), médias mensais de umidade relativa do ar, entre 74% e 86%, com média anual de 80%, e insolação total média mensal entre 165,4 e 260,9 horas, e total anual médio de 2.556,4 horas (PFALTZGRAFF, 2003, p.3-5). Para manter-se na zona de conforto, um dos principais requisitos é a sombra, que pode ser conseguida

através da arborização, que contribui para diminuição da temperatura e, quando inserida em espaços permeáveis, também contribui com a drenagem da água pluvial.

Este trabalho objetiva analisar a contribuição da legislação urbanística, em especial, aquela que aborda os telhados verdes, para o conforto ambiental, em escalas arquitetônica e urbana, a partir de uma discussão teórica entre a legislação urbanística e as recomendações bioclimáticas.

2 METODOLOGIA

Utilizou-se o método hipótético-dedutivo, que é fundamentado no rigor matemático e na razão (SPOSITO, 2003, p.30-32) e técnicas de pesquisa de observação e análise comparativa.

Houve a revisão de literatura e a revisão documental da legislação urbana de Recife, visando à compreensão dos objetos teórico e empírico, respectivamente. Por fim, houve a discussão teórico-comparativa, observando a possível contribuição da legislação para o conforto termoambiental.

3 SISTEMAS SUSTENTÁVEIS E SUA RELAÇÃO COM CONFORTO AMBIENTAL

Para Minke (2013, p.8), "as pessoas que vivem e trabalham nas cidades sentem uma grande nostalgia pelo verde natural" e um desejo de colocar um pouco de natureza no seu campo visual.

Falcón (2007, p. 50) apresenta novas formas de "revegetar". As últimas tendências em planificação e gestão do verde urbano visam ao aumento do percentual do verde a partir de novos suportes urbanos: é o caso das fachadas cegas ou das cobertas de edifícios. Assim, a cidade passa a ser analisada sob essa nova perspectiva ecológica. A chamada 'arquitetura vertical', que representa os ajardinamentos em suportes verticais, se coloca como uma maneira inovadora de aumentar a biomassa vegetal de uma cidade, contribuindo com a melhoria ambiental global. As fachadas cegas, sem quaisquer aberturas, podem representar excelente suporte para receber a vegetação, de modo a "articular a pele viva da cidade".

A vegetação localizada na fachada contribui com a diminuição da temperatura dos edifícios, devido à absorção da radiação, e com o seu isolamento térmico. Em Recife, porém, esse isolamento térmico não é bem-vindo. Devido às características do clima tropical litorâneo quente e úmido, onde a cidade está localizada, a necessidade é que haja trocas térmicas, através de grandes aberturas e de pouca massa das vedações externas, proporcionando baixa inércia térmica. Pode-se justificar o benefício do isolamento sob o viés acústico, pois, através da camada de vegetação, ocorre a absorção de parte do ruído e diminuição de sua reflexão. No entanto, deve-se se debruçar sobre o tipo e a densidade de vegetação, o tipo de suporte, bem como o seu posicionamento entre a produção do ruído e o ambiente que se deseja proteger.

Do mesmo modo que a vegetação disposta em fachadas, o verde localizado em cobertas de edifícios busca aumentar a quantidade de massa vegetal urbana e diminuir as áreas impermebilizadas. Em alguns casos, estes podem representar espaços compartilhados, voltados ao público, mesmo que restritos à edificação, quando funcionam como jardins.

De acordo com Herzog (2013, p. 164), o "teto verde" designa a cobertura vegetal que recobre lajes e telhados. Oferece benefícios, tais como: retenção da entrada de água da chuva no sistema de drenagem; através da evapotranspiração, reduz a temperatura interna das edificações, proporcionando a economia de energia e de gastos devido à climatização artificial; oferece hábitat para insetos e pequenos animais, favorecendo a biodiversidade; proporciona uma redução de ruídos da edificação, além de naturalizar o ambiente.

Além desses, Minke (2014, p. 11) apresenta outros benefícios de tetos verdes ajardinados e relata que estes conduzem a uma construção ecológica e econômica: diminuição das superfícies pavimentadas; produção de oxigênio; filtragem de partículas nocivas.

Para a apropriação dos benefícios, há que se considerar os diversos fatores envolvidos, a começar pelas condições climático ambientais urbanas. Também, se deve observar a massa resultante do conjunto, seja a de um teto ou de uma fachada verde, pois quanto maior a massa, maior a capacidade de isolamento; quanto maior a altura do substrato, maior a capacidade de receber diversos tipos de vegetação e maior a capacidade de retenção da água da chuva e seu retardo no sistema de drenagem etc.

Para Recife, que possui altos valores médios anuais de temperatura e de pluviosidade, o benefício que se sobressai dessas novas formas de vegetar é aquele relativo à redução da temperatura. Ao proteger a edificação dos intensos raios solares, tais estruturas reduzem o aquecimento dos tetos e de fachadas e a transmissão de calor para o interior da edificação.

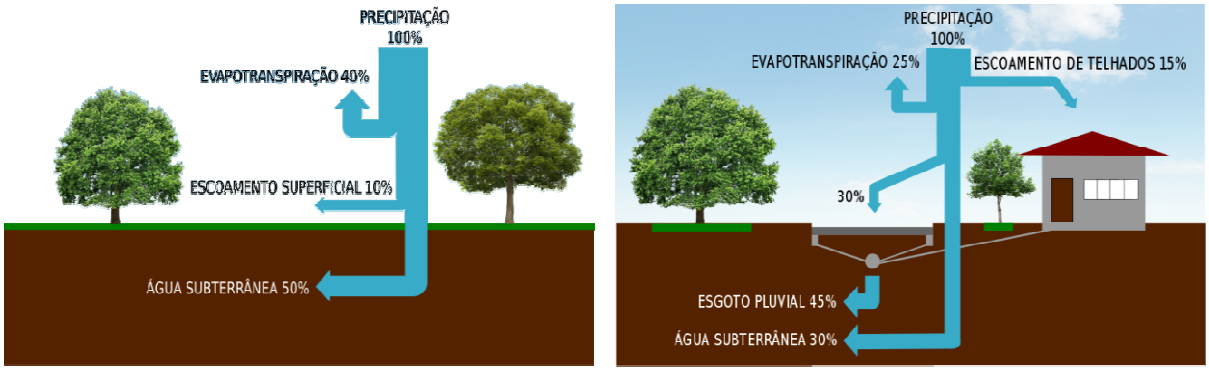
No que diz respeito à contribuição relativa à infiltração da água da chuva, há uma concentração da pluviosidade nos meses de abril a julho, alcançando valores acima de 300mm/mês. Muita dessa chuva, às vezes, ocorre concentrada em alguns horas, em alguns dias. Grande parte desse volume de água, se coletado, gradualmente, seria destinado à rede de drenagem, contribuindo com a diminuição de danos provocados por inundações. No entanto, a água da chuva que não se infiltraria superficialmente no solo, também não alimentaria os lençóis freáticos.

A crescente urbanização modifica a cobertura natural do solo, o que provoca alterações nos componentes do ciclo hidrológico natural. Tucci (2005, p. 65-66) relata que, com a impermeabilização do solo, ocorre a diminuição da infiltração e o consequente aumento do escoamento superficial da água da chuva. Com a urbanização, o volume que antes escoava lentamente pela superfície e ficava retido pelas plantas, passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, o que aumenta a sua velocidade de escoamento superficial e reduz o seu tempo

de deslocamento. Ocorre a diminuição do nível do lençol freático e a redução do escoamento subterrâneo, como também da evapotranspiração, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração, como ocorre pela massa foliar.

Tucci apresenta o balanço hídrico numa bacia urbana, de acordo com a OECD (1986 *apud* TUCCI, 2005, p.66), a partir de dois cenários: sem urbanização (Figura 1a) e com urbanização (Figura 1b), onde pode ser observada a grande diminuição do percentual de água que se infiltra no solo, passando de 50%, no caso de áreas não urbanizadas, a 30%, em áreas urbanizadas. Como também, em relação à evapotranspiração, que diminui de 40% para 25%, respectivamente. Tudo isso contribui com a forte possibilidade de formação de enchentes.

Figura 1 – Balanço hídrico em uma bacia urbana



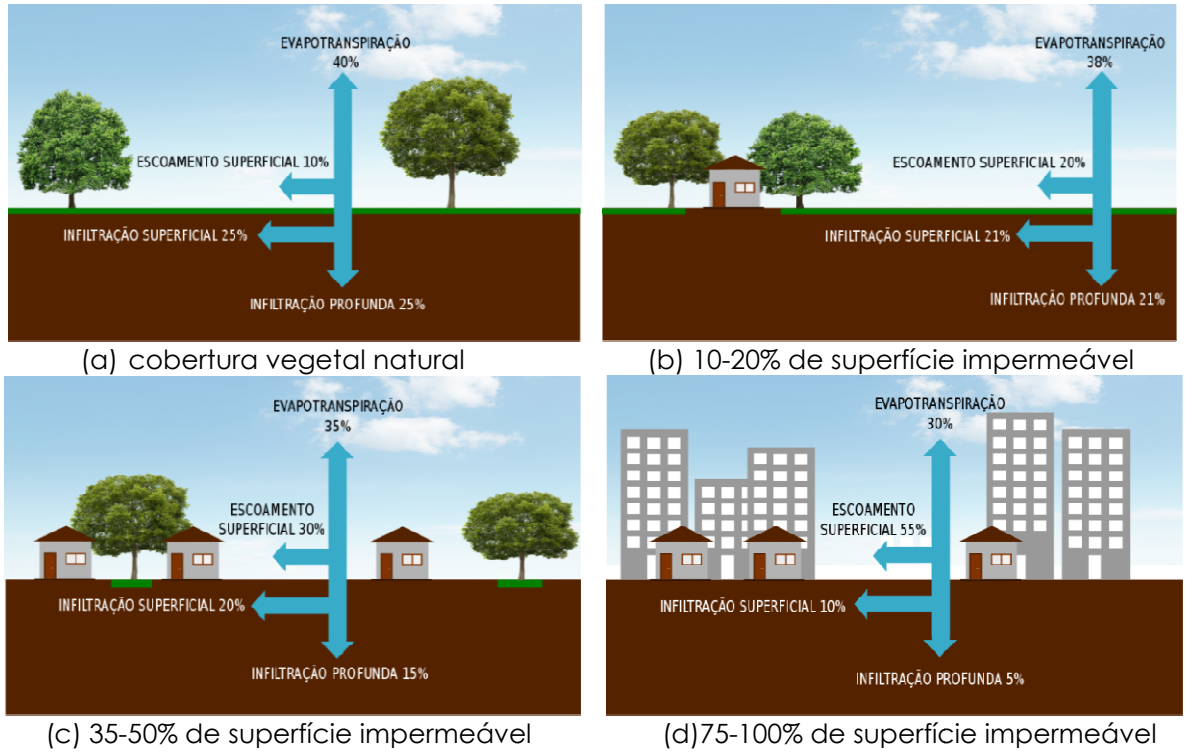
(a) cenário sem urbanização (b) cenário urbanizado

Fonte: Adaptado de OECD (1986 *apud* TUCCI, 2005, p. 66)

De acordo com a União Europeia (2012, p. 49-50), a capacidade de um solo de estocar a água depende de diversos fatores: textura, estrutura, profundidade e teor em matéria orgânica. "Um solo funcional pode armazenar até 3.750 toneladas de água/ha ou próximo de 400 mm de precipitação (um metro cúbico de solo poroso pode conter entre 100 e 300 litros de água)". Como a impermeabilização limita, consideravelmente, a quantidade de água de chuva que pode ser absorvida pelo solo, chegando, em casos extremos, a impedir a sua absorção, pode resultar em efeitos diretos sobre o ciclo hidrológico, e indiretos sobre o microclima local, alterando os valores das variáveis climáticas temperatura e umidade do ar, bem como sobre a estabilidade do solo, acerca de riscos de deslizamentos de terra etc.

A quantidade de água pluvial absorvida pelo solo diminui quando o percentual de impermeabilização aumenta, demostrando a relação de inversabilidade entre essas duas variáveis. A capacidade de absorção passa de 50%, com a cobertura vegetal natural para 15%, quando se trata de um solo com 75 a 100% de sua superfície impermeável (Figura 2).

Figura 2 – Variabilidade do escoamento com o aumento das superfícies impermeáveis



(a) cobertura vegetal natural (b) 10-20% de superfície impermeável

(c) 35-50% de superfície impermeável (d)75-100% de superfície impermeável

Fonte: Adaptado de FISRWG (1998 *apud* PRINCE GEORGE'S COUNTY - Department of Environmental Resources, Maryland – EUA, 1999)

4 LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA

A fim de projetar e planejar cidades resilientes e sustentáveis, em clima tropical quente e úmido, um dos critérios necessários é o reconhecimento, pelo poder público, da relação existente entre a cobertura vegetal e os padrões climáticos, em escala regional e local, visando à amenização climática, sob o viés térmico, do ambiente urbano, bem como, a consequente sensação de bem-estar dos usuários.

Em Recife/PE, foi sancionada a Lei Nº 18.112/2015, que dispõe sobre a instalação do "telhado verde e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo das águas pluviais, para a rede de drenagem, visando à melhoria da qualidade ambiental das edificações". Essa Lei define telhado verde como sendo:

> uma camada de vegetação aplicada sobre a cobertura das edificações, como também sobre a cobertura da área de estacionamento, e piso de área de lazer, de modo a melhorar o aspecto paisagístico, diminuir a ilha de calor, absorver parte do escoamento superficial e melhorar o microclima local.

No Art. 1º desta Lei consta que, para a aprovação, os "projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não-habitacionais com mais de 400m² de área de coberta", deverão prever a implantação de "Telhado Verde". Sobre a vegetação que poderá conter o "telhado verde", esta pode ser "extensiva ou intensiva, de preferência nativa

para resistir ao clima tropical do município, com as suas variações de temperatura e umidade". Lembra-se que a cidade de Recife está localizada em clima tropical litorâneo quente e úmido, possui baixa amplitude térmica, diária e sazonal e alta média anual da umidade relativa do ar, alcançando, facilmente, 100%, em dias chuvosos.

Em relação à absorção das águas pluviais, a citada Lei Nº 18.112/2015, em seu art. 3º, apresenta, como condição para aprovação de projetos iniciais, que,

> em lotes com área superior a 500 m² (quinhentos metros quadrados), edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 25% (vinte e cinco por cento) da área total do lote deverão ser executados reservatórios de águas pluviais.

Em seguida, acrescenta que estes reservatórios podem ser:

> I - Reservatórios de Acumulação, destinados ao acúmulo de águas pluviais para reaproveitamento com fins não potáveis, com captação exclusiva dos telhados;
>
> II - Reservatórios de Retardo, destinados ao acúmulo de águas pluviais para posterior descarga na rede pública, captadas de telhados, coberturas, terraços, estacionamentos, pátios, entre outros.

A água da chuva que incide em solo permeável é absorvida e tem a possibilidade de renovar os lençóis freáticos. Em seguida, pode ser utilizada pela vegetação que cobre o solo, principalmente a de porte arbóreo, através da absorção através das raízes e volta à atmosfera, através da transpiração, dando continuidade ao ciclo hidrológico. Quanto maior a massa foliar, maior a capacidade de transferência da água, pela transpiração. Enquanto que, em superfícies impermeáveis, a água da chuva não é absorvida, escorre pelos pavimentos e segue pelo sistema de drenagem, até desaguar em canais, rios e oceanos.

Mesmo em solo permeável, parte dessa água pode escoar sobre a superfície, isso acontece nos casos em que o volume de precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo. Tanto a capacidade de absorção quanto a capacidade de retenção da água da chuva estão relacionadas com o tipo de solo. Acerca desse assunto, Panachuki (2003, p.12) relata que "a magnitude da infiltração é severamente reduzida pela formação ou presença do selamento superficial, fenômeno motivado pela pequena porosidade desta camada e à dominância de poros de pequeno diâmetro".

Observam-se, ainda, outras iniciativas da gestão municipal de Recife, visando à melhoria ambiental, no que se refere à arborização urbana. Nesse contexto, podem ser citados o Plano de Arborização Urbana da Cidade e o Manual de Arborização Urbana.

O Plano de Arborização da Cidade do Recife, lançado em 2010, instituído pela Lei Municipal n°16.680, de 06 de agosto de 2001, tem como finalidade:

> orientar a ação pública no desempenho das atividades de planejamento, plantio, monitoramento, avaliação e conservação da

> arborização urbana, contribuindo para a biodiversidade, equilíbrio ambiental e climático, bem-estar da população e a constituição da paisagem urbana.

Dentre os benefícios da arborização urbana de Recife, este plano considera: a elevação da qualidade ambiental na Cidade; a oferta de sombra e amenização da temperatura; o sequestro de carbono; a minimização da poluição atmosférica; a atenuação dos ruídos; a manutenção do equilíbrio ambiental e o favorecimento das relações humanas e do bem-estar social. Quanto às 'Estratégias de implementação do plano de arborização', relativas às 'Unidades Territoriais', este plano alega que "as áreas verdes protegidas da cidade em conjunto com as vias públicas comporão prioridade no manejo e plantio arbóreo, visando sua conservação e a ampliação do número dos indivíduos arbóreos" (PREFEITURA DO RECIFE, 2010, p.9).

O 'Manual de Arborização Urbana' aporta as orientações e os procedimentos técnicos para a implantação e manutenção da arborização da cidade do Recife e tem como objetivo geral, "informar e definir parâmetros para a elaboração de projetos e serviços de implantação e conservação da arborização da Cidade do Recife" (PREFEITURA DO RECIFE, 2013). Em seu anexo II, encontram-se indicadas 18 espécies de pequeno porte, 18, de médio porte, e 36, de grande porte, entre espécies nativas e exóticas.

A partir de elementos verdes se consegue permear a estrutura urbana. A vegetação, distribuída por toda a cidade, em vias, jardins, praças e parques, é um dos principais indicadores de qualidade de vida em uma cidade. Deve-se considerar que, para a seleção das espécies a serem dispostas em meio urbano, deve-se requerer um alto grau de conhecimento no que concerne às suas necessidades de desenvolvimento, seja quanto à parte aérea, à parte radicular, ao tipo de solo e à quantidade e qualidade de água disponível. Também se deve atentar à relação das espécies vegetais com o meio circundante, pois "a criação de espaços verdes influi na biologia dos grupos de organismos e de seus processos funcionais, de tal forma que pode chegar a alterar a estrutura e o funcionamento de um lugar" (FALCÓN, 2007, p. 56).

Dessa maneira, multiplicam-se os benefícios ambientais, além dos paisagísticos e sociais, com o intuito de configurar uma trama urbana suficientemente permeável, visando à sensação de conforto ambiental.

5 CONCLUSÕES

O planejamento e a gestão de áreas verdes urbanas devem ter em mente uma visão sistêmica, integradora, visando à melhoria da cidade como um todo, ao mesmo tempo em que se respeitem as especificidades de cada área verde. Devem ser considerados, além dos aspectos ambientais, os sociais, econômicos e paisagísticos.

Apesar das estruturas verticais verdes, dispostas em fachadas cegas de edifícios, não poderem ser exploradas como espaço de uso público, proporcionam benefícios psicológicos e de bem-estar para a população da cidade, e não apenas para quem se utiliza dos edifícios, diretamente, pois podem ser avistadas de longe e contempladas, seja ao nível do pedestre ou ao nível de janelas de outros edifícios. Os espaços com vegetação dispostos em coberturas nem sempre se configuram como tetos-jardins, capazes de receber atividades de lazer, de descanso e de oferecer à população a função social. Em ambos os casos, a contribuição ocorre através da melhoria visual e paisagística, no âmbito da cidade, e ambiental, em escala mais próxima do edifício. Do mesmo modo que a vegetação disposta em agrupamentos de vias, praças e parques, a vegetação disposta em fachadas e em tetos verdes contribui com o conforto ambiental da edificação, por absorver parte da radiação solar, filtrar poluentes, absorver ruídos, e contribuir com a biodiversidade. Essa contribuição é proporcional à massa vegetal e ao tipo.

Toda a legislação urbana deve ser pensada de maneira integrada, partilhando interesses comuns que não entrem em conflito, ou caso existam, sejam minimizados, de modo a buscar a qualidade dos ambientes arquitetônicos e urbanos e o conforto dos usuários. Para isso, é vital que haja o cumprimento e o controle da legislação urbana e a efetiva implantação de áreas com solo natural e vegetação arbórea, bem como a sua manutenção. Em virtude do pouco tempo em vigor da Lei Nº 18.112/2015, não foi possível analisar, na prática, os seus parâmetros quanto aos benefícios para o conforto térmico, em escalas arquitetônica e urbana. Além disso, em Recife, os poucos empreendimentos que possuem tetos verdes representam exemplos a serem tomados como referência na busca pela amenização térmica. Salienta-se, porém, que eles ainda estão aquém das possibilidades, uma vez que o maior percentual de sua área é constituído de laje impermeabilizada, apresentando também jarros sobre a laje. Este último artifício pode configurar um jardim no teto, mas não um teto-jardim.

Conclui-se que, apesar de aportar benefícios visando ao conforto ambiental, os caminhos encontrados pelo poder público ainda são incipientes, necessitando os empreendedores de incentivos e orientações quanto à adequação a esses novos sistemas sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao aluno do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo/UFPE Caio Oliveira, que auxiliou na elaboração de desenhos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO – Condepe/Fidem. **Pernambuco em mapas**. Coord. Ruskin Freitas e Kamila Soares de Arruda Santos. Recife, 2011.

FALCÓN, Antoni. **Espacios verdes para una ciudad sostenible**: Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión. Barcelona: Gustavo Gili, 2007.

HERZOG, Cecilia Polacow. **Cidades para todos**: reaprendendo a conviver com a natureza. 1.ed. Rio de Janeiro: Mauad X: Inverde, 2013.

MINKE, Gernot. **Muros y fachadas verdes, jardines verticales**: sistemas y plantas, funciones y aplicaciones. Bariloche - Argentina: BRC Ediciones, 2013.

MINKE, Gernot. **Techos verdes**: planificación, ejecución, consejos prácticos. Bariloche - Argentina: BRC Ediciones, 2014.

PANACHUKI, Elói. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Dourados, MS, 2003.

PFALTZGRAFF, Pedro A. S. et al (Coord.). **Sistema de Informações Geoambientais da Região Metropolitana do Recife**. Recife: CPRM, 2003.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Lei Nº 18.112/2015**. Recife, 2015. Disponível em: < http://leismunicipa.is/cjeuk> Acesso em 23-02-2016.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Plano de Arborização da Cidade do Recife**. Secretaria de Meio Ambiente. Recife, 2010.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Manual de Arborização**: orientações e procedimentos técnicos básicos para a implantação e manutenção da arborização da cidade do Recife. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Recife, 2013.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Low-Impact development hydrologic analysis**. Department of Environmental Resources. Programs and Planning Division. Maryland – EUA, 1999.

ROMERO, Marta A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000.

SCHUTZER, José Guilherme. **Cidade e meio ambiente**: a apropriação do relevo no desenho ambiental urbano. São Paulo: Edusp, 2012.

SPOSITO, E. S. **Geografia e Filosofia**: contribuição para o ensino do pensamento geográfico. São Paulo: UNESP, 2004.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco 2005.

UNIÃO EUROPEIA. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização de solos**. Luxemburgo - Bélgica, 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA ENVOLTÓRIA DE EDIFÍCIO PÚBLICO[1]

AMORIM, Cláudia Naves David (1); BAFFI, Basílio (2); SILVA, Caio Frederico (3)

(1) UnB, e-mail: clamorim@unb.br; (2) UnB, e-mail: basiliobaffi@gmail.com; (3) UnB, e-mail: caiosilva@unb.brr

RESUMO

A questão do consumo predial de energia elétrica tem sido objeto de novas regulamentações no Brasil. De acordo com o EPE de 2015, o setor público responde por 16% do consumo total das edificações, concentradas especialmente nos sistemas de ar condicionado (40-50%) e iluminação (20 e 25%). Entretanto, pouco se conhece do perfil de consumo predial no Brasil. No presente estudo foi analisado o perfil de consumo da sede do Banco Central do Brasil em Brasília (DF). Trata-se de edifício com 35 anos desde a construção e que passou por reformas nos sistema de ar condicionado e iluminação, entretanto, os componentes da envoltória são ainda originais. Na análise verificou-se o padrão de consumo de energia elétrica, o nível de etiquetagem atual e as melhorias necessárias na envoltória para atingir o nível máximo do PBE, segundo o RTQ-C. Além disso, foram verificados também dados de benchmarking divulgados pelo CBCS para escritórios corporativos no Brasil. Os resultados apontam para a possibilidade de redução de 18% do consumo de energia elétrica do ar condicionado central e para um padrão de consumo inferior à mediana dos edifícios corporativos. Assim, conclui-se haver relevante potencial de redução do consumo em edifícios similares, inclusive da própria instituição.

Palavras chaves: Entac2016. Simulação. Eficiência. Fachada. Envoltória.

ABSTRACT

The issue of energy consumption of buildings has been subject to new regulations also in the Brazilian context. According to EPE (Energy Researches Company, 2015) the public sector accounts for 16% of electricity consumption in the country, especially consumed in the air conditioning (40-50%) and lighting (20-25%). However, the consumption profile of public buildings is little known in Brazil. The object of this study is the headquarters building of the Central Bank of Brazil, located in Brasilia (DF). It is building 35 years since the construction and underwent renovations in the air conditioning system and lighting, however, the envelopment components are still original. In the analysis it was the pattern of electricity consumption, the level of current labeling and improvements needed in the envelope to achieve the maximum level of PBE according to the RTQ-C. Besides that, it was verified benchmarking data released by the CBCS to corporate buildings in Brazil. The results point to the possibility of 18% reduction of the energy consumption of central air conditioning and a pattern of consumption lower than the median of corporate buildings. Thus, it is clear there is a potential of consumption reduction in similar buildings, including the institution itself.

---

[1] AMORIM, C.N.D.; BAFFI, B; SILVA, C.F.. Simulação Computacional da Envoltória de Edifício Público. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Entac2016. Simulation. Efficiency. Facade. Envelopment.*

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética deixou de ser apenas uma medida operacional de máquinas e equipamentos e passou a ser um objetivo comum de todos: empresas, instituições, governos. Essa mudança de foco iniciou-se depois da primeira crise do petróleo nos anos 70. A preocupação acentuada com Eficiência Energética (EE) surgiu com os choques do petróleo de 1973-74 e 1979-81 que trouxeram a percepção de escassez deste recurso energético e forçaram a alta dos preços dos energéticos, abrindo espaço para uma série de ações voltadas à conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. Com a publicação dos estudos do Clube de Roma, com os movimentos em prol do meio ambiente e com os tratados relacionados à mudança climática, a Eficiência Energética foi alçada à condição de instrumento privilegiado e, por vezes, preferencial para a mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases de efeito estufa e destruidores da Camada de Ozônio. (BRASIL, 2011).

O Brasil teve seu primeiro plano em 1981, por meio da Portaria MIC/GM46 foi criado o Programa Conserve, visando à promoção da conservação de energia na indústria, ao desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes, e ao estímulo à substituição de energéticos importados por fontes alternativas autóctones. O Conserve tinha por objetivo estimular a conservação e a substituição de óleo combustível consumido na indústria, especialmente na indústria siderúrgica, de papel e celulose e de cimento. O incentivo foi dado no sentido de que se aproveitasse a capacidade excedente de geração elétrica hidráulica para a geração de calor nas indústrias (eletrotérmica). (BRASIL, 2011).

Atualmente existe o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf que unificou as metas para maior eficiência energética nas diferentes áreas de consumo e produção de energia. Nesse período foram criados o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 1985, e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em 1992. Importante citar também a CICE – Comissão Interna de Conservação de Energia, criada em 1990, que obrigava os órgãos federais, com consumo superior a 600 MWh anuais, a elaborar planos de conservação de energia e divulgar no âmbito de seus respectivos estabelecimentos.

O Balanço energético no Brasil (BEN-EPE-2015) registra os segmentos constituídos basicamente por edificações – comercial, residencial e público – como consumidores de 264 TWh, ou 50% do total consumido de energia elétrica em 2014. O setor público com 42,6 TW representa aproximadamente 16% desse consumo. Estudo da Abesco – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia com a Abrava – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento e com a GBC Brasil – Green Building Council Brasil, publicado na revista Infra

(set 2015), indica a existência de um potencial de redução de 30% do consumo de energia elétrica das edificações no Brasil.

O objetivo deste trabalho é a análise do desempenho energético da envoltória de um edifício institucional público. O objeto é o edifício do Banco Central do Brasil, que está localizado no Setor Bancário Sul, Quadra 3, Bloco B, área central de Brasília, no Distrito Federal (DF). Nessa análise foram consideradas as condições de conforto, o consumo de energia e os materiais da fachada (Lamberts, 1997).

2 METODOLOGIA

Para avaliação da eficiência energética do edifício foram utilizados os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), versão 3 (2015), que divide em faixas os resultados do desempenho térmico da envoltória da edificação.

A classificação do nível de eficiência de edificações, segundo o PBE, é composta pela Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar. Todos têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). A avaliação pode ser parcial para os sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Entretanto, para a envoltória a classificação deve estabelecida para a edificação completa.

2.1 Método Prescritivo

Segundo o RTQ-C, a etiquetagem de eficiência energética de edifícios pode ser realizada pelo método prescritivo ou de simulação. O método prescritivo é baseado na análise de simulações por meio de técnicas de regressão. Nas edificações onde o percentual de abertura total da fachada (PAFt) é elevado, com vidros de alto desempenho e elementos de sombreamento recomenda-se a utilização da simulação ou elementos de simulação simplificada.

O procedimento de cálculo da envoltória pelo método prescritivo prevê dois passos. Inicialmente são verificados pré-requisitos mínimos referentes ao desempenho térmico dos materiais de revestimento da cobertura e das fachadas. O passo seguinte consiste no cálculo do índice de consumo da envoltória, que leva em conta a relação das áreas de fachada e das aberturas, o fator solar dos vidros, fator de forma e de altura, a orientação solar e o sombreamento. A fórmula de cálculo do índice de consumo está definida no regulamento do RTQ-C e é específico para a zona bioclimática, conforme norma brasileira NBR 15220-3 (ABNT, 2003), que divide o Brasil em oito zonas, sendo que Brasília está na Zona 4. Definido o índice de consumo do edifício, nessas condições, é possível identificar o modelo de referência para determinar o nível de eficiência energética. Assim, a partir dos parâmetros do edifício em estudo foram calculados os dados para construção do modelo de referência. O cálculo tem por base a fórmula específica (1) para a Zona Bioclimática 4 (Brasília), conforme redação da

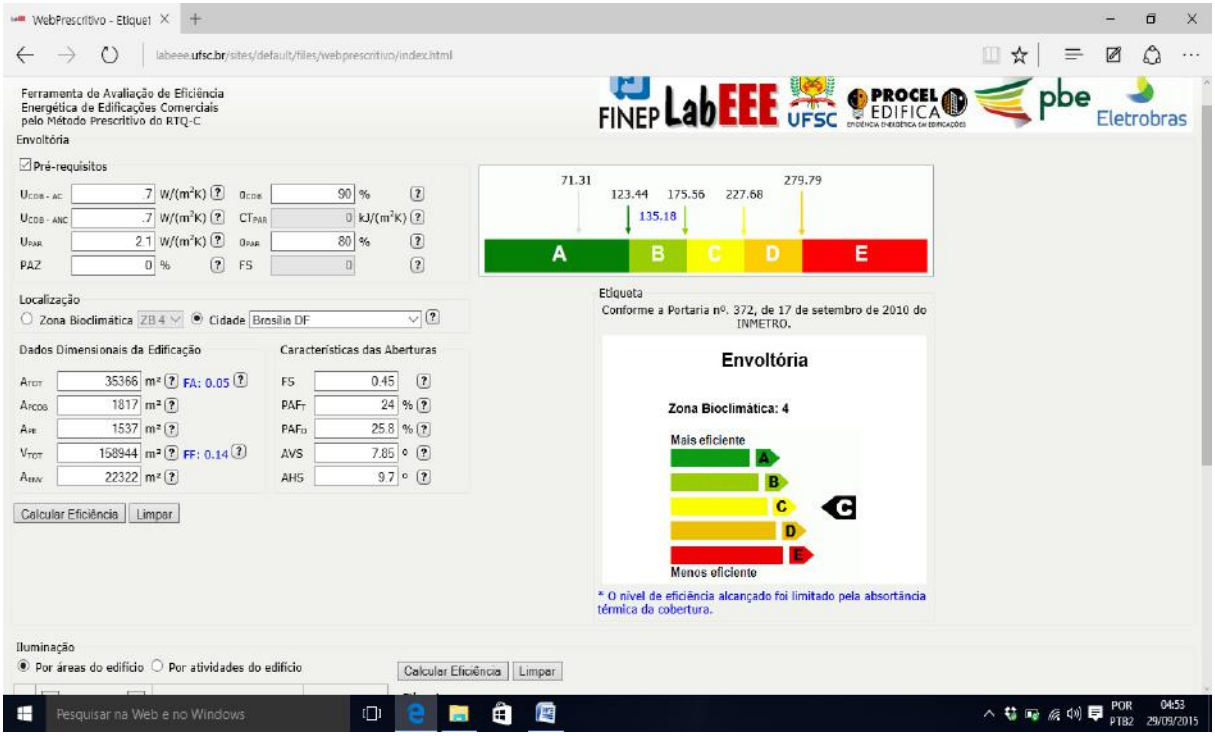
Portaria Inmetro n° 17 de 16/01/2012 e parâmetros definidos no RTQ-C:

ICenv (índice de consumo da envoltória) = (1)

511,12FA+0,92FF-95,71PAFt-99,79FS-0,52AVS-0,29AHS-380,83FA.FF+4,27/FF+729,20PAFt.FS+77,15

A aplicação dessa fórmula é facilitada pela ferramenta desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina. A figura abaixo representa o resultado e os dados utilizados para determinar a classe energética.

Figura 1 – Ferramenta do Labeee para cálculo da classe energética



Fonte: LabEEE/Universidade Federal de Santa Catarina

2.2 Simulação

Para o desenvolvimento da simulação há necessidade de calcular, pelo método prescritivo as classes energéticas relativas ao modelo em estudo (Lamberts, 2010). As faixas de eficiência, de A *a* E, foram calculadas conforme figura 1. A partir do limite de cada faixa e dos dados das tabelas 3.2 e 3.3 do RTQ-C, determina-se o PAFt (percentual de abertura total das fachadas) de cada modelo de referência para a simulação computadorizada. A classe energética na simulação é obtida do resultado do consumo total de energia, por meio da comparação dos modelos de referência criados pelo método prescritivo e o modelo Real. As simulações foram processadas por meio do programa de computador DesignBuilder (DB), versão 4.2.0.054 (2015). O programa atende às recomendações do RTQ-C para ser utilizado nos cálculos para a classificação de etiquetagem do PBE.

Tabela 1 - Procedimentos para calcular a envoltória pelo DB

1° Passo	Construção do modelo real
2° Passo	Construção dos modelos de referência
Software	Atender aos itens 6.1.1 e 6.1.2 do RTQ -C
Modelos Real e de Referência	Os modelos de referência devem ter a mesma geometria, orientação solar, mesmo padrão de uso e mesma densidade de ocupação (p/m²).
Nível de eficiência energética	Simular o modelo real e cada um dos modelos de referência. A classificação do modelo real será obtido comparando o consumo anual de energia com os modelos de referência.
Zona de ocupação do prédio	São as áreas estanques, separadas por divisórias do piso ao teto, no caso elas coincidem com as zonas do sistema de refrigeração.

Fonte: Autores

Para a comparação dos diferentes modelos da edificação é fundamental manter os mesmos parâmetros nas simulações, tendo em vista que apenas o consumo de energia será comparado. No caso, o consumo de energia do edifício em estudo deve ser igual ou menor do que o modelo de referência. Esse procedimento deve ser repetido para todas as referências até determinar qual o grau de etiquetagem do edifício testado.

Tabela 2 - Opções do DB utilizadas na simulação.

layout	O edifício foi modelado no editor do DB, a partir dos desenhos do projeto original executado.
activity	Modelo (template) conforme ocupação. O padrão de 0,11 pessoas/m² foi mantido por corresponder ao índice de ocupação do prédio. O padrão de energia de 11 W/m² também corresponde ao real, conforme levantamento feito no local.
construction	Os detalhes da laje de cobertura e do espaço do forro foram ajustados no DB para adequação às características do prédio. As paredes externas de concreto das torres foram definidas pela espessura média e as internas seguiram o padrão do DB. O leiaute do pavimento tipo representa as divisórias piso ao teto, que correspondem às zonas do sistema de ar condicionado.
opening	As esquadrias de alumínio foram editadas no DB para ajustar às características do modelo real: largura dos montantes, isolamento térmico, altura do parapeito, altura da janela e a colocação de persianas. Os dados

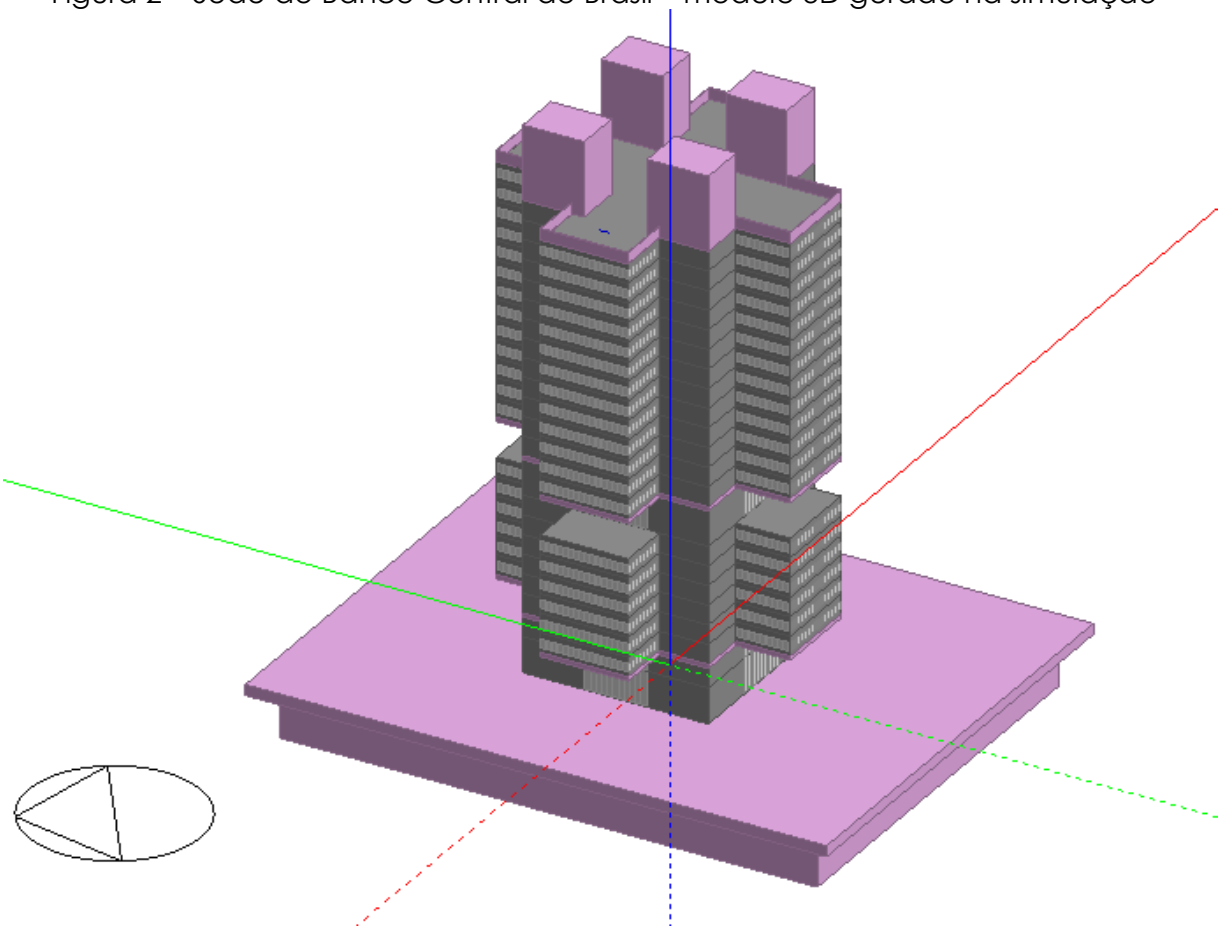
	técnicos dos vidros são os informados pela Guardian. Os dados dos vidros existentes foram analisados a partir de estudos científicos e informação de fabricantes.
lighting	Foi utilizado o padrão do DB para a luminária T-5, que é a existente no prédio, inclusive a densidade da luminância.
HVACs	Foi utilizada a opção "simple", padrão do DB, para o sistema do edifício (fan coil unit). A opção DHW foi desligada porque não existe sistema de aquecimento central de água.

Fonte: Autores

Além da simulação do modelo real e dos modelos de referência, foram simulados também outros tipos de vidro, para avaliação de materiais de maior desempenho. Foram testados os vidros Silver 20 e Silver 32 na cor bronze, além do vidro insulado Neutral 14 "on clear", todos da linha de fabricação Guardian para a América Latina. O Silver 20 foi testado também com a opção de brises e tela metálica externa. O Neutral foi testado de duas formas: uma com as esquadrias originais e outra com esquadrias tipo "structural glazing", com os vidros fixados externamente.

2.3 O Edifício

Figura 2 – Sede do Banco Central do Brasil – modelo 3D gerado na simulação



Fonte: programa de computador DesignBuilder

Tabela 3 - Características da Edificação

Terreno	10.000 m²
Estrutura	Concreto armado
Andares superiores	21
Subsolos	6
Área total	100.000 m²
Elevadores	16
Área dos andares superiores	35.366 m²
Esquadrias de alumínio cor bronze	Cortina de vidro com gaxeta
Vidro temperado cor bronze	10 mm
Ar condicionado central e fan-coils	Água gelada e água de condensação
Iluminação fluorescente	T-5: 9,0 W/m² - 400 lumens/m²
Piso dos escritórios	Carpete
Forro dos escritórios	Gesso
Divisões internas	MDF em placas
Hall dos elevadores	Placas corta-fogo
Densidade da ocupação	9 m²/pessoa

Fonte: Autores

Para testar a eficiência do modelo, simulado no DesignBuilder, foram obtidos dados in loco do consumo de energia elétrica. O consumo anual de energia elétrica é de 6,33 GWh, ou seja, 7,8% superior ao resultado obtido na simulação do modelo real, caracterizando ser suficientemente consistente o modelo gerado no DB.

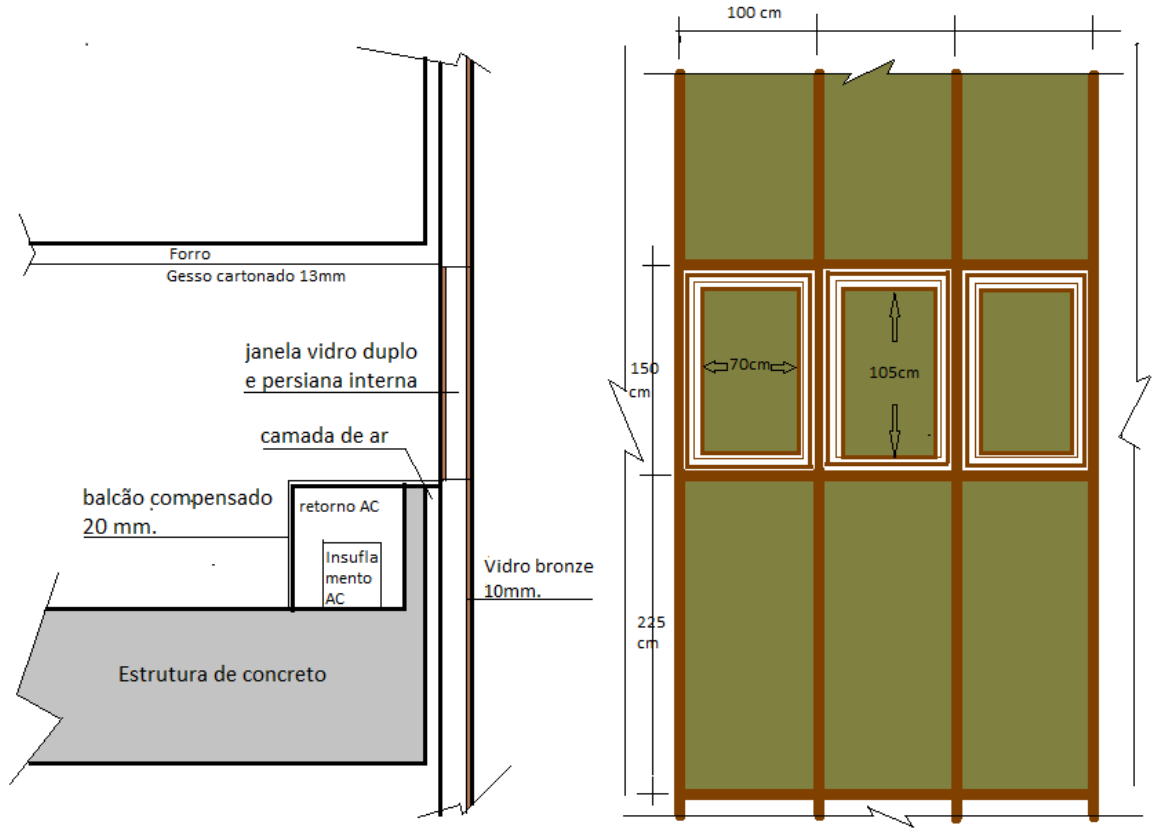
Importante destacar o perfil de consumo de energia elétrica do edifício, onde o sistema de ar condicionado consome 55% e a iluminação 20%. São dados compatíveis com a simulação do modelo real, que registrou 48% para o ar condicionado e 20% para a iluminação.

2.4 A Envoltória

As esquadrias do edifício são do tipo cortina, entretanto, somente 40% da área da fachada são efetivamente aberturas. Além disso, a esquadria de alumínio tem montantes de dimensões consideráveis, com 15 centímetros de largura, o que reduz a radiação direta para 20% no local de trabalho. A parte da luz natural, que não irradia diretamente para a área de trabalho, atinge os elementos estruturais de concreto e os dutos do ar condicionado. Desta forma, contribui para aumentar a carga térmica do edifício. Na figura

3, pode-se verificar a localização dos dutos de retorno do ar condicionado na periferia da fachada.

Figura 3 – Corte e vista parcial das esquadrias da fachada com vidros 10mm bronze



Fonte: Autores

Tabela 4 - Características da Envoltória

Zona bioclimática	Z-4
Orientação solar sentido horário	+34°
Transmitância da cobertura	1,0 W/(m²K)
Transmitância das paredes externas	1,6 W/(m²K)
Absortância da cobertura e paredes	80%
Fator Solar (SHGC) – vidro 10 mm brz	0,5
Fração- esquadrias/fachada	54%
Fração - aberturas/fachada	24%
Fração - alumínio/janela	50%
Fração - alumínio/esquadrias	71%

Fonte: Autores

Nos andares tipo, nas fachadas voltadas para oeste, a temperatura é desconfortável nas proximidades das janelas nos horários mais quentes do dia. Inclusive existem equipamentos de reforço da refrigeração no perímetro

da fachada. Medições no local atestam a baixa capacidade de isolamento das esquadrias/vidros.

A proposta economicamente viável para sanar os problemas existentes é a realização dos serviços pelo lado externo do prédio. Existe tecnologia de empresa brasileira para retrofit das esquadrias, denominado envelopamento da fachada, onde os vidros são substituídos pelo lado externo. Os montantes de alumínio originais são mantidos, mas são recobertos por um novo perfil em forma de "U". Esse procedimento permite a colocação de novos vidros de maior desempenho térmico, assim como outros materiais para reduzir a absortância e a transmitância térmica nas fachadas (Dornelles, 2013). Entretanto, a preservação das características arquitetônicas da fachada, tem recebido atenção especial da instituição visando o respectivo retrofit. A orientação é manter as características originais do edifício, tais como a cor e a baixa refletividade dos vidros, assim como o alumínio anodizado na cor bronze das esquadrias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 5 resume a simulação. Cada linha representa a simulação de um tipo de vidro na fachada. Por exemplo, o modelo Real é o vidro existente. Ref. A é o modelo de referência com a menor abertura das janelas (PAFt). Os resultados mostram o total de energia consumida em um ano, em kWh, e a variação percentual para o modelo Real. O consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado foi incluído na comparação porque ele representa o item principal da variação. Os outros itens – iluminação, equipamentos, ventiladores, praticamente não se alteram com as simulações da envoltória.

Tabela 5 – Resultados da simulação do consumo de energia

Modelos da simulação	Consumo Total kWh/ano	Variação Total para Real	Consumo Ar Condicionado kWh/ano	Variação Ar Cond. para Real
Real	5.833.058,55		2.783.206,80	
Ref. A	5.470.847,25	- 6,21%	2.471.615,00	- 11,20%
Ref. B	5.747.582,25	- 1,47%	2.748.350,00	- 1,25%
Ref. C	5.865.247,25	+ 0,55%	2.866.015,00	+ 2,98%
Silver 32	5.378.177,85	- 7,80%	2.328.326,10	- 16,34%
Silver 20	5.320.402,97	- 8,79%	2.270.551,22	- 18,42%
Silver 20 Tela	5.297.816,80	- 9,18%	2.247.965,04	- 19,23%
Silver20 Brise	5.281.166,64	- 9,46%	2.231.314,89	- 19,83%
Neutral14	5.326.211,96	- 8,69%	2.276.360,21	- 18,21%
Neutral14G	5.437.053,35	- 6,79%	2.387.201,60	- 14,23%

Fonte: Autores

Podemos notar que apenas o modelo de referência Ref. C tem variação positiva. Ou seja, o modelo Real tem consumo superior ao limite da Ref. B e

inferior ao da Ref. C, correspondendo, portanto à classe C na escala do PBE. Todos os modelos simulados com consumo inferior ao do limite da Ref. A estão, portanto, no nível máximo (A) do PBE.

Nesse sentido, pode-se ver que todos os vidros simulados em substituição ao vidro existente estariam classificados no nível A do PBE. A princípio, uma das simulações chamou a atenção por não corresponder ao resultado esperado, no caso, o vidro insulado Neutral 14 teve melhor desempenho quando instalado na esquadria existente do que com uma eventual substituição das esquadrias pelo "structural glazing", com os vidros fixados externamente. Mas, a explicação deve-se ao maior sombreamento provocado pelos montantes das esquadrias existentes, assim como a respectiva redução da área de radiação solar.

Nas simulações dos vidros Silver e Neutral foram utilizadas a opção com persianas internas refletivas (Lamberts, 2009). No modelo Real não foram adotadas persianas internas, porque, as existentes estão inoperantes e nas referências utiliza-se apenas vidro segundo o RTQ-C.

A utilização de brises e tela metálica externa foram simuladas, alternadamente, com o vidro Silver 20. As duas opções tiveram resultados similares e representariam menos de 1% na redução do consumo de energia. Entretanto a utilização desses materiais externamente alteraria a textura da fachada, além do acréscimo significante nos custos.

Os resultados mostraram que a opção pelo vidro Silver 20 seria a mais adequada, considerando o desempenho, o custo e a baixa interferência na textura, na cor e na refletância da fachada. Nesse caso a redução do consumo de energia representaria 18,42% do consumo do sistema de ar condicionado e de 8.79% do consumo global dos andares superiores.

Uma eventual análise econômica para substituição dos vidros deve considerar o conjunto de elementos que estão diretamente relacionados ao processo. O investimento estimado de R$ 10 milhões seria pago em 21 anos, tendo em vista a redução inicial do consumo de energia de R$ 310 mil/ano e considerando uma projeção de aumento real de 5% a.a., no longo prazo. Nessa estimativa não foi considerada taxa de juros de retorno do investimento, porque há outras vantagens agregadas com o retrofit, que superam o resultado financeiro e que estão incluídas na estimativa acima, tais como:

- as deficiências de vedação,
- o desgaste natural das esquadrias,
- d redução da demanda de energia do sistema de ar condicionado pela menor carga térmica,
- o risco de queda dos vidros da fachada e a necessidade de atender a norma NBR 7199 (ABNT, 1989).

Além disso, haveria melhores condições de conforto e sustentabilidade com a redução do consumo e da demanda de energia elétrica, fundamental nesse processo de renovação do ambiente já construído. Há que se considerar também que esses ganhos provavelmente terão resultado por um

período superior aos 21 anos do retorno do investimento. Atualmente, os componentes da fachada têm mais de 35 anos.

4 CONCLUSÃO

O propósito deste estudo foi fazer o diagnóstico do desempenho energético da envoltória de um edifício público localizado em Brasília. O edifício é a sede do Banco Central do Brasil. O estudo baseou-se em metodologia científica e análise computacional, assim como normas e artigos sobre eficiência energética.

Os primeiros cálculos para determinar os índices de consumo demonstraram a viabilidade de se obter um nível de classificação energética superior para o edifício. Por exemplo, a utilização do método prescritivo com o fator solar do vidro Silver 20 e com os pré-requisitos de absortância e transmitância mínima para a cobertura e paredes, constantes do RTQ-C, foi possível verificar, a princípio, a viabilidade da obtenção do nível A do PBE. O passo seguinte, a simulação computacional, resultou também na possibilidade de obter o nível A. Além disso, a simulação permitiu analisar outras estratégias para redução do consumo de energia. Entretanto, ficou evidente, a necessidade de substituir os vidros para obter a classificação máxima do PBE.

Outro registro, que contribui no exame do perfil energético das edificações no Brasil é o consumo por metro quadrado de energia elétrica. As medições feitas in loco na sede do Banco Central resultaram em 166 kWh/m²/ano para as áreas de escritório, que poderiam ser reduzidos para 150 kWh/m²/ano, no caso de substituição dos vidros da fachada conforme números da simulação.

No contexto brasileiro, quando analisamos os resultados do benchmarking do CBCS (Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis) publicado em 12/3/2015, é possível imaginar o potencial de redução do consumo de edifícios de escritório. O resultado do benchmarking para edifícios de escritório corporativos indicam uma mediana de 191 kWh/m²/ano. Portanto, não seria ambicioso acreditar nos números da revista Infra, citados na Introdução, da existência de um potencial de redução de 30% do consumo de energia elétrica nas edificações no Brasil.

Finalmente, concluímos que:

- os estudos contribuíram efetivamente para esclarecer dúvidas quanto ao ganho energético da sede do Banco Central do Brasil;
- a substituição dos vidros e a melhoria do isolamento térmico das esquadrias de alumínio e dos materiais da cobertura podem contribuir amplamente no tratamento da envoltória de edificações similares, inclusive da própria instituição; e
- os dados coletados da edificação são importantes no rol de informações sobre o perfil dos edifícios públicos no Brasil e sua utilização com o objetivo de melhores condições de conforto e de sustentabilidade do ambiente já construído.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira NBR 7199/89 – Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro: 1989, 18p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, Rio de Janeiro: 2003, 23p.

Brasil, Ministério de Minas e Energia (2011). Plano Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/plano-nacional-de-eficiencia-energética. Acesso em: 17 de jul. 2015.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese. Disponível em:https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf. Acesso em: 4 nov. 2015.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação, Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/website/ Acesso em: 5 dez.2015.

DORNELLES, Kelen Almeida; CARAM, Rosana Maria; SICHIERI, Eduvaldo Paulo. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. Artigo no XII Encontro Nacional e VIII Latino americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC Brasília 2013.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. Eficiência energética na arquitetura. UFSC/Procel/Eletrobrás, PW Editores, 1997.

PBE – Edifica. Etiquetagem de Edificações Públicas, regulamentos e manuais do RTQ-C, do RAC e das diretrizes para obtenção de nível A. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica Acesso em: 23 de jun. 2015.

Pereira, Fabricio; Lamberts, Roberto; Marinoski, Luis D. Determinação do Fator Solar em vidros e elementos de sombreamento para janelas. Relatório de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq – BIP/UFSC 2009/201.

Revista Infra, edição de setembro de 2015. Disponível em: http://www.revistainfra.com.br/portal/Textos/?Entrevistas/15737/-O-consumo-de-energia-el%C3%A9trica-nas-edifica%C3%A7%C3%B5es-no-Brasil- Acesso em 11 nov.2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES EM ALAGOAS: UMA APLICAÇÃO DA NBR 15575[1]

BARBOSA, Gabriele L. (1); ARAÚJO, Mayna L. T. de (2); SANTOS, Daniela N. (3); BATISTA, Juliana O. (4)

(1) FAU/UFAL, e-mail: g.lucasbarbosa@gmail.com; (2) FAU/UFAL, e-mail: mayna.araujo@fau.ufal.br; (3) FAU/UFAL, e-mail: danielaanovaes@gmail.com; (4) FAU/UFAL, e-mail: juliana.batista@fau.ufal.br

RESUMO

A habitação social brasileira caracteriza-se pela pouca diversidade arquitetônica e reprodução em série sem a devida adequação climática, resultando em baixa qualidade térmica. A norma NBR 15.575 estabelece requisitos para classificar o desempenho térmico destas edificações, visando à melhoria da qualidade arquitetônica. Este trabalho avalia o impacto da adequação às prescrições normativas sobre o desempenho térmico de uma unidade habitacional (UH) unifamiliar representativa do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Para tal, foram realizadas simulações com o *software* EnergyPlus v8.2 de um modelo base, desconforme à NBR 15575, e de um modelo adaptado, enquadrado nos parâmetros prescritivos da norma, para Maceió (litoral) e Pão de Açúcar (sertão), em Alagoas. Foram analisados os parâmetros somatório de graus-hora de resfriamento (GHR) e percentual de horas de desconforto em função dos limites de aceitabilidade térmica estabelecidos pela ASHRAE Standard 55. A aplicação da NBR 15575 beneficiou o desempenho térmico da edificação, com reduções superiores a 60% no GHR em Maceió e 16% em Pão de Açúcar. Porém verifica-se a necessidade de aperfeiçoamento da norma para contemplar adequadamente as particularidades dos climas locais.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitação popular. Simulação computacional.

ABSTRACT

Brazilian social housing is characterized by poor architectural diversity, by the massive production with no climate adaptation, resulting in low thermal quality. The NBR 15575 has established requirements to classify the thermal performance of these buildings, aiming to improve architectural quality. This paper evaluates the impact of the application of prescriptive requirements about thermal performance of a single-family detached house, representative of "My house My Life Program" *(PMCMV). Computer simulations were realized by EnergyPlus v8.2 software of a BASE model, disregarding NBR 15575 criteria, and an adapted model, adjusted to the standard parameters, for Maceió (coastal) and Pão de Açúcar (westerly), located at Alagoas. The thermal performance was analyzed according to two parameters: cooling degree hours (CDH) and percentage of discomfort hours,* according to the limits of thermal acceptability established by the ASHRAE Standard 55. *The application of NBR 15575 standard benefited the thermal performance of the building, by reducing more than 60% in annual CDH in Maceió and 16% in Pão de Açúcar. However, it's*

[1] BARBOSA, Gabriele *et al*. Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: uma aplicação da NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

seen the need of improvement of the standard, in order to contemplate properly the local climate particularities.

***Keywords**: Thermal performance. Social housing. Computer simulation.*

1 INTRODUÇÃO

A construção de habitações de interesse social surge como uma alternativa para a redução do déficit habitacional no país, destacando-se o programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), criado pelo governo federal em 2009. Elaborado com o objetivo de facilitar as condições de financiamento para famílias com renda mensal de até 10 salários mínimos, o programa já beneficiou 9,4 milhões de famílias.

A Caixa Econômica Federal (CEF), financiadora do PMCMV, estabelece padrões construtivos básicos, através de uma cartilha com especificações técnicas, físicas e funcionais para a construção. Entretanto, observam-se construções em série projetadas sem a devida preocupação com adequações climáticas (FERREIRA, 2012). Esse descuido resulta em moradias com baixa qualidade térmica e ambientes desconfortáveis para os usuários.

Segundo o CBIC (2013, p.135), "O adequado desempenho térmico repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia". Em habitações de interesse social (HIS) o emprego de estratégias de condicionamento passivo, com destaque para a ventilação natural e o sombreamento das aberturas, representa a alternativa mais viável para obtenção de conforto térmico, pois os custos de aquisição e manutenção de sistemas de climatização artificial são incompatíveis com o padrão de renda dos usuários. Portanto, a orientação, o tamanho e disposição das aberturas e os materiais constituintes da envoltória devem ser criteriosamente especificados na fase de projeto.

No Brasil, são referências normativas para o projeto habitacional: o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), estabelecido pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) e a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), que estabelece níveis mínimos de desempenho, regulamentando requisitos e critérios que se aplicam às edificações habitacionais.

O ZBB propõe diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo aplicáveis às habitações de interesse social, de acordo com cada contexto climático. Já a NBR 15575 estabelece requisitos para classificar o desempenho térmico das edificações, visando à melhoria da qualidade arquitetônica no setor habitacional, conforme a zona bioclimática definida. O desempenho térmico é estabelecido como uma das exigências do usuário relativas à habitabilidade, assim como o desempenho acústico e lumínico, a funcionalidade e a acessibilidade, entre outros. A norma foi organizada por sistemas da construção (estruturais, pisos, vedações, coberturas e hidrossanitários), apresentando requisitos e critérios de desempenho e métodos de avaliação para cada sistema. São

estabelecidos patamares de desempenho: mínimo, que deve ser obrigatoriamente atingido, intermediário e superior (CBIC, 2013).

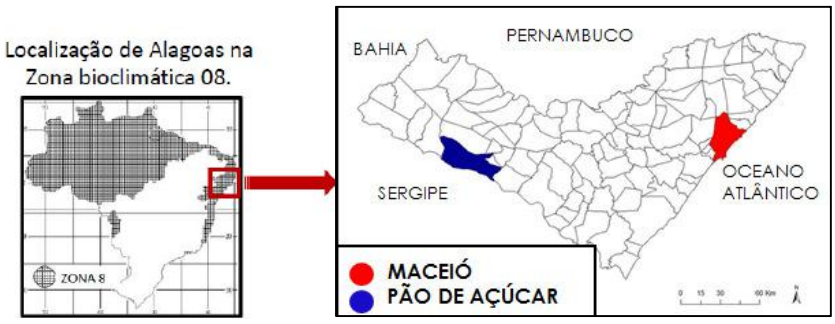
Com relação ao desempenho térmico, a NBR 15575 estabelece procedimentos normativos, baseados em prescrições para as propriedades térmicas das vedações ou simulações computacionais, e o procedimento informativo, baseado em medições *in loco*. Caso a aplicação do procedimento informativo prescritivo resulte em desempenho térmico insatisfatório, deve-se avaliar a unidade habitacional (UH) através de simulação computacional, recomendando-se utilizar o programa EnergyPlus.

De acordo com Sorgato (2009), as simulações computacionais constituem um método eficaz para análise do desempenho térmico de edificações. Com base nas características arquitetônicas (materiais constituintes da envoltória, sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e padrões de uso) torna-se possível verificar o desempenho térmico de edificações antes mesmo de serem construídas, visto que a simulação possibilita a estimativa das temperaturas internas dos ambientes e o consumo de energia sob diferentes cenários, com a vantagem do baixo custo.

O presente artigo objetiva avaliar, em diferentes contextos climáticos do estado de Alagoas, o impacto da adequação às prescrições normativas sobre o desempenho térmico de uma UH unifamiliar representativa do PMCMV.

As cidades estudadas são Maceió e Pão de Açúcar. Maceió, capital do estado, encontra-se na mesorregião do leste alagoano com latitude 9,67°S e altitude 64m. Com população estimada de 1.013.773 habitantes em 2015 (IBGE, 2016), possui clima quente e úmido e apresenta temperatura média anual de 24,8°C, variando de 21,6°C a 28,9°C e precipitação anual de 2125 mm (INMET, 1992; RORIZ, 2012). Já Pão de Açúcar localiza-se no Sertão alagoano, com latitude 9,75°S e altitude 19m. Distante da capital 186,69 km, apresenta clima semiárido com temperatura média anual de 27,3°C e precipitação anual de 638 mm (IBGE, 2010; RORIZ, 2012).

Figura 1 – Localização das cidades Maceió e Pão de Açúcar em Alagoas.



Fonte: ABNT, 2005. (Adaptado pelas autoras).

De acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), a maior parte do estado de Alagoas está inserida na zona bioclimática 8 (ZB8), com predominância de clima quente úmido em seus 102 municípios. Entretanto,

mesmo inseridos na ZB8, alguns municípios do sertão, como Pão de Açúcar, apresentam clima semiárido, para o qual a principal estratégia recomendada para esta zona, a ventilação cruzada permanente, não se aplica: a cidade apresenta temperaturas médias externas superiores a 32°C (PASSOS, 2009).

Nesse contexto, busca-se avaliar o desempenho de uma UH sob cenários climáticos distintos de um mesmo estado, considerando a influência do comportamento do usuário e as necessidades deste quanto ao conforto térmico. Observa-se que tais aspectos são abordados superficialmente pela NBR 15575, visto que a presença de ocupantes é desconsiderada no procedimento de simulação descrito na norma e que o limite de temperatura interna estabelecido para classificação com nível mínimo de desempenho térmico equivale à temperatura máxima externa do local no dia típico de verão. Trata-se da apresentação de resultados parciais de uma pesquisa de iniciação científica desenvolvida pelo Grupo de Estudos em Conforto Ambiental (GECA) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFAL (FAU/UFAL), a qual pretende auxiliar na proposição de diretrizes construtivas que possam contribuir com a elaboração de futuros projetos de habitações populares de forma mais adequada e eficiente para cada região.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a avaliação de desempenho térmico da edificação utiliza o procedimento simplificado estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e os limites de aceitabilidade para a temperatura operativa de ambientes naturalmente ventilados estabelecidos pela STANDARD 55 (ASHRAE, 2010), aplicados aos resultados de simulações computacionais.

2.1 Caracterização dos modelos computacionais

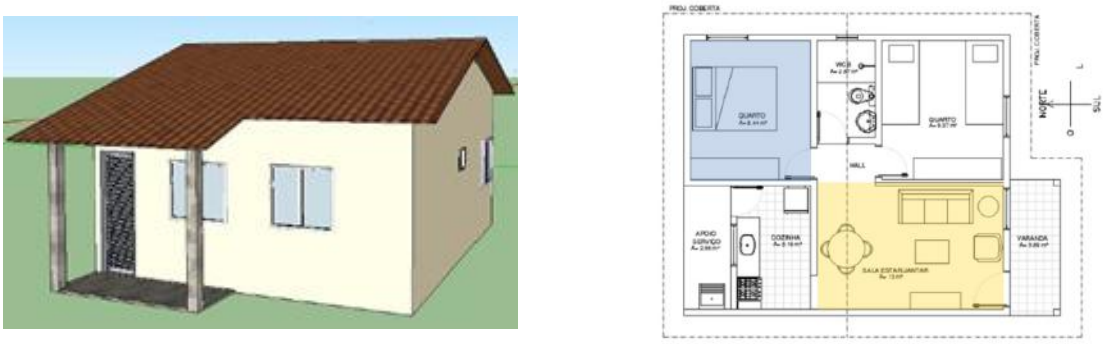
As simulações computacionais foram efetuadas com o *software* EnergyPlus v.8.2 (DOE, 2014), destinado à análise energética e simulação térmica de edificações. Para tal, utiliza arquivos climáticos para caracterizar as variáveis ambientais do local de estudo[2]. A modelagem geométrica das unidades habitacionais foi realizada no *software* Sketchup, com o auxílio do *plugin* Open Studio.

Para esse estudo, foram simuladas duas UHs para cada cidade: um modelo base, em desconformidade à NBR 15.575, e um modelo adaptado, que sofreu modificações na absortância da cobertura e na tipologia das esquadrias, adequando-se as áreas de abertura para ventilação, conforme o procedimento simplificado para avaliação do desempenho térmico (ABNT, 2013).

[2] Arquivos EPW, compilados por Roriz (2012), corrigidos em 2015 e disponibilizados no site do LABEEE (http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015).

O modelo estudado consiste em uma residência unifamiliar, ocupada por quatro pessoas, cujo programa inclui uma sala de estar e jantar, dois quartos, cozinha, área de serviço (externa), circulação, varanda e um banheiro (Figura 2). Este modelo apresenta características construtivas recorrentes em habitações populares no estado, apresentadas no Quadro 1. As mudanças no modelo adaptado ocorreram para satisfazer as exigências da NBR 15.575 (Quadro 2).

Figura 2 - a) Modelo tridimensional do modelo BASE. b) Planta baixa, com destaque para os ambientes avaliados.



a) b)

Fonte: Adaptado de Torres, 2015.

Quadro 1 - Composição dos modelos.

Estrutura	**BASE**	**Adaptado**
Parede	Tijolos 6 furos, massa única rebocada para pintura na cor branca.	
Piso	Cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé e desnível máximo de 15 mm.	
Cobertura	Em duas águas com telha cerâmica não esmaltada, com estrutura de madeira.	Em duas águas com telha cerâmica pintada de branco, com estrutura de madeira.
Esquadrias	Janelas de correr. Áreas dos vãos < 8% da área de piso.	Janelas de giro (180º) com venezianas. Área dos vãos > 8% da área de piso.
Forro	Forro de PVC	

Fonte: As autoras.

Quadro 2 - Características da envoltória e recomendações da NBR 15575 para sistemas de paredes e cobertura

Estrutura	BASE	Adaptado	NBR 15.575 Zona 8
Parede	α = 0,3 - U = 2,59		Se α ≤ 0,6, U ≤ 3,7. Se α > 0,6, U ≤ 2,5.
	CT = 145		Sem exigência
Piso	Sem requisitos		
Cobertura	α = 0,75 - U = 1,75	α = 0,3 - U = 1,75	Se α ≤ 0,4, U ≤ 2,3. Se α > 0,4, U ≤ 1,5.
Esquadrias	A_{sala} = 3,77% da área de piso A_{qcasal} = 5,2% da área de piso	A_{sala} = 8% da área de piso A_{qcasal} = 10,4% da área de piso	A ≥ 8% da área de piso
α - absortância à radiação solar da superfície externa da estrutura. **U** - transmitância térmica (W/m²K). **CT** - capactidade térmica da estrutura (kJ/m².K). **A -** é área mínima de ventilação.			

Fonte: As autoras

2.4 Avaliação de desempenho térmico

Para a ZB8, a NBR 15575 estabelece como requisito de desempenho que as condições térmicas (temperaturas internas) sejam melhores ou iguais às do exterior, à sombra, no dia típico de verão. A norma adota 32,2ºC para Maceió e, para Pão de Açúcar, deve-se adotar a temperatura indicada para a cidade mais próxima, com latitude e altitude da mesma ordem de grandeza. Verifica-se que tal abordagem, simplificada, estabelece condições mínimas, insuficientes para assegurar as condições ideais de conforto térmico.

Neste artigo, foram estabelecidos parâmetros de desempenho térmico diferentes do proposto pela norma: o somatório de graus-hora de resfriamento (GHR), que representa a diferença entre a temperatura interna e a temperatura adotada como limite de conforto para o calor, a cada hora, e o percentual de horas de desconforto (SORGATO et al., 2012). Para essa avaliação, foram selecionados dois ambientes de permanência prolongada: a sala de estar/jantar e o quarto de casal.

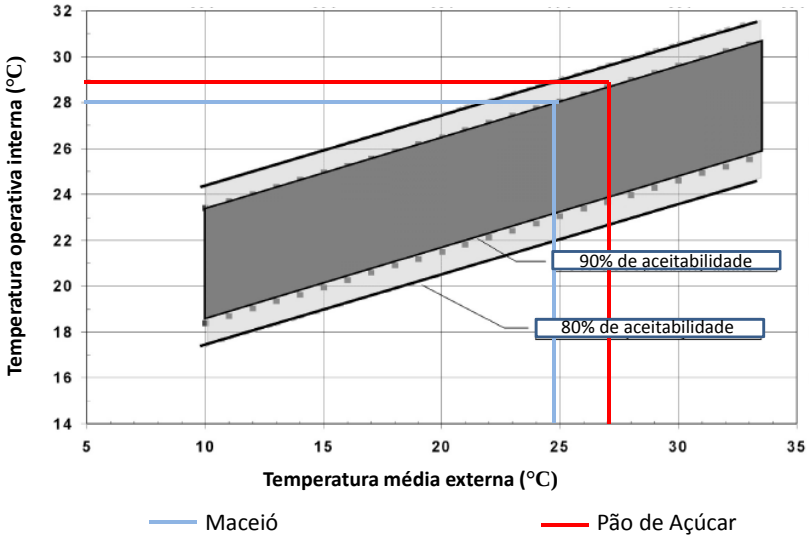
Foi adotada a abordagem adaptativa para estipular as condições de conforto nos ambientes internos. Esta abordagem considera o homem como um agente ativo que interage com o ambiente. Segundo Humphreys (1979, apud LAMBERTS, 2014, p. 10), "(...) A temperatura de conforto não é uma constante, e sim varia de acordo com a estação e temperatura a que as pessoas estão acostumadas." Não só fatores físicos, mas também fisiológicos e psicológicos são determinantes para a satisfação do conforto térmico do indivíduo.

A norma ASHRAE Standard 55 (2010) apresenta limites de aceitabilidade para a temperatura operativa[3] de ambientes naturalmente ventilados,

[3] A temperatura operativa representa a temperatura uniforme de um compartimento preto imaginário e o ar no seu interior, em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e

considerando a temperatura média externa local ($T_{ext\text{-}média}$). Adotou-se a temperatura média anual como referência para estabelecer o limite superior da zona de conforto, para um percentual de 90% de aceitabilidade, conforme ilustrado no gráfico 1. O valor da $T_{ext\text{-}média}$ de Maceió foi obtido através da média anual das normais climatológicas de 1961 a 1990 (INMET, 1992): 24,8ºC. Já em Pão de Açúcar, utilizou-se a temperatura média compensada, determinada por Passos (2009) para uma série histórica de 10 anos (1997 – 2007): 27,3ºC. Assim, os limites de aceitabilidade para o calor em Maceió e Pão de Açúcar foram, respectivamente, 28ºC e 28,8ºC[4]. Em função desses limites, foram calculados os percentuais de horas de desconforto e os somatórios de GHR de cada cidade, mensais e anuais, para o modelo base e para o modelo adaptado, buscando-se identificar o impacto da adequação às prescrições normativas da NBR 15.575 sobre o desempenho térmico das unidades habitacionais avaliadas.

Gráfico 1 – Limites de aceitabilidade segundo a ASHRAE 55.



Fonte: Adaptado da ASHRAE Standard 55(2010)

convecção como em um ambiente real não uniforme. Matematicamente, é determinada em função da temperatura média do ar e da temperatura radiante média, sendo influenciada também pela velocidade do ar.

[4] A ASHRAE Standard 55-2013 utiliza a "*prevailing mean outdoor temperature*" ($T_{ext\text{-}média}$ predominante) como dado de entrada para determinar o limite de conforto para a temperatura operativa interna. Esta temperatura é calculada com base na média diária da temperatura externa para uma sequência de dias, considerando-se um período mínimo de 7 dias e no máximo 30 dias. Neste artigo optou-se por realizar uma avaliação simplificada, utilizando a temperatura média anual de cada cidade, devido à indisponibilidade de séries históricas de dados meteorológicos em base horária para Pão de Açúcar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os modelos adaptados e BASE de cada cidade, destacando o impacto das alterações no desempenho térmico dos ambientes estudados.

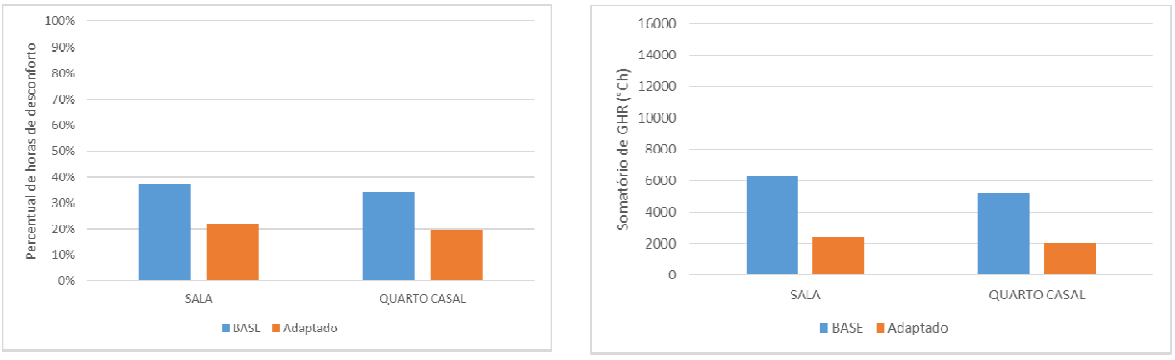
3.1 Maceió

De acordo com o arquivo climático utilizado nas simulações, Maceió apresenta temperaturas médias que variam entre 23,8°C e 26,8°C e umidades relativas do ar variando entre 72,8% e 86,5%. A ventilação predominante no município é a leste, com maior frequência nos meses de setembro e novembro a abril.

Com a adequação à NBR 15.575, tanto a sala quanto o quarto de casal apresentaram reduções no percentual de horas de desconforto e no somatório de GHR em relação ao modelo BASE.

Primeiramente, foi analisado o percentual de horas de desconforto anual em ambos os modelos. No modelo BASE, a sala e o quarto de casal apresentaram percentuais de horas de desconforto de 37,4% e 34,4%, respectivamente; já no modelo adaptado, esses percentuais foram reduzidos para 22% e 19,5% (Gráfico 2a). Quanto aos somatórios de GHR, os dois ambientes apresentaram uma redução superior a 60% no modelo adaptado em relação ao modelo BASE (Gráfico 2b).

Gráfico 2 – a) Percentuais de horas de desconforto e b) somatórios de graus-hora de resfriamento anuais em Maceió.



a) b)

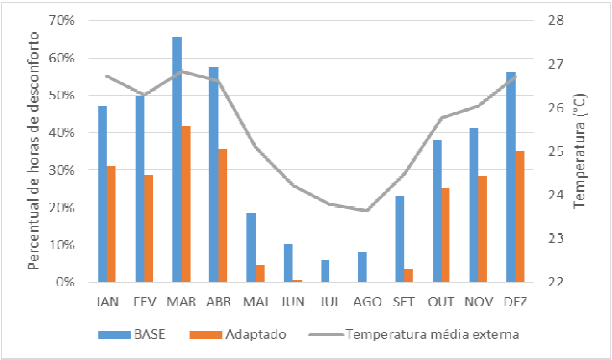
Fonte: As autoras

Os resultados mensais relativos aos somatórios de GHR e percentuais de horas de desconforto variaram proporcionalmente à temperatura média mensal, conforme ilustrado nos gráficos 4 e 5.

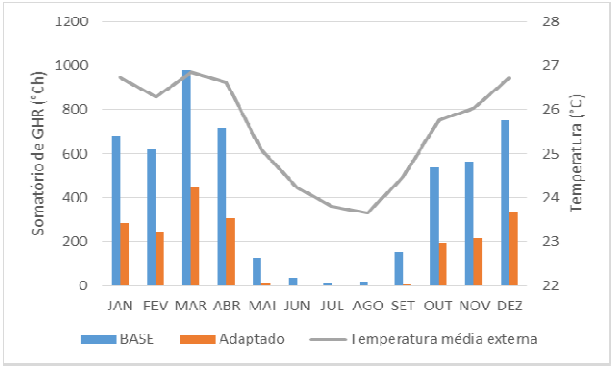
Os percentuais de horas de desconforto reduziram-se em até 23,9% no quarto de casal (Gráfico 4a) em março e 21,4% na sala em setembro (Gráfico 5a). Em relação aos somatórios de GHR, no mês mais quente,

março, observou-se que foram reduzidos em mais da metade no modelo adaptado, tanto na sala (Gráfico 4b) quanto no quarto (Gráfico 5b). Os meses de junho a agosto não apresentaram graus-hora de desconforto nos dois ambientes.

Gráfico 4 – a) Percentuais de horas de desconforto mensais; b) Somatórios de GHR mensais no quarto de casal em Maceió.



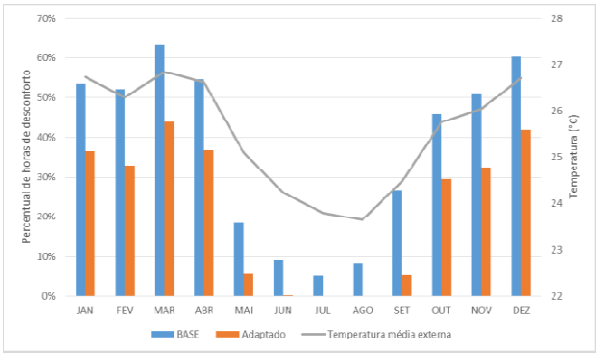
a)



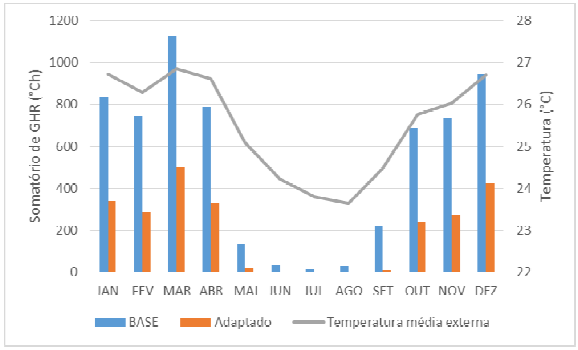
b)

Fonte: As autoras

Gráfico 5 – a) Percentuais de horas de desconforto mensais; b) Somatórios de GHR mensais na sala em Maceió.



a)



b)

Fonte: As autoras

Observou-se que as adaptações beneficiaram todos os ambientes, de forma que anulou o desconforto dos usuários nos meses mais frios, reduzindo-o significativamente nos demais meses.

Pode-se observar resultados similares nos dois ambientes. A mudança do tipo de esquadria foi um grande diferencial, pois permitiu a abertura de 100% do vão da janela, favorecendo o aproveitamento da ventilação, principalmente nos meses de maio a agosto, quando ambos os ambientes estão expostos à ventilação sudeste, predominante nesses meses. Na sala, o sombreamento das aberturas, apontada pela NBR 15220-3 como diretriz construtiva para a ZB8, reduz a incidência solar direta. Já a janela do quarto de casal está voltada para leste, que coincide com a incidência predominante dos ventos nos demais meses do ano. Porém, o fato de não

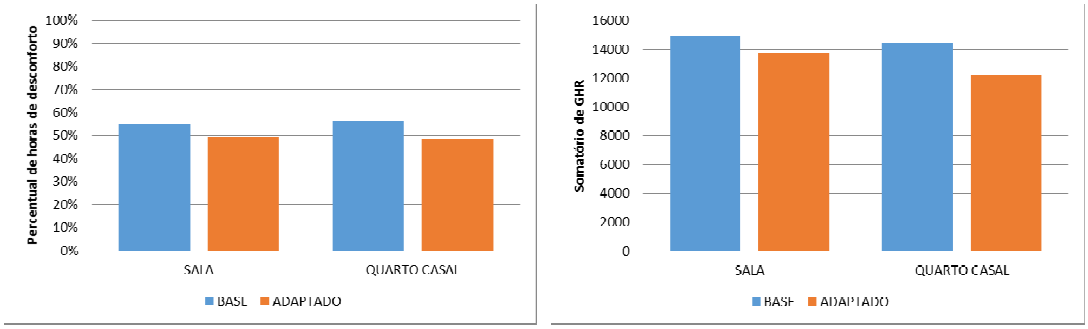
possuir sombreamento adicional além das venezianas representa um maior aporte de calor no período da manhã, desfavorecendo o conforto térmico dos usuários. Deve-se destacar também o impacto do emprego da cor branca na cobertura, pois reduz a absorção da radiação solar, minimizando o ganho de calor e as temperaturas internas da edificação.

3.2 Pão de Açúcar

Após a análise dos dados do arquivo climático utilizado nas simulações, observou-se que Pão de Açúcar apresenta temperaturas que variam entre 24,1°C e 30,0°C e umidades relativas do ar variando entre 55,9% e 83,2%. Tais fatores, somados aos baixos índices de precipitação ao longo do ano, aumentam a sensação de desconforto por calor na cidade. A direção predominante dos ventos é sudeste, que ocorre com maior frequência nos meses de julho a novembro, período com maiores índices de precipitação no município.

O modelo adaptado apresentou melhorias em seu desempenho térmico após a adequação à NBR 15.575. Tanto a sala quanto o quarto de casal apresentaram reduções no percentual de desconforto e no somatório de GHR em relação ao modelo BASE (Gráfico 6).

Gráfico 6 – a) Percentual anual de horas de desconforto; b) Somatório de GHR anuais na cidade de Pão de Açúcar.



a) b)

O quarto de casal apresentou uma redução de 8% no percentual de horas de desconforto e de 2.300,4 °Ch no somatório de GHR, equivalente a 16%, em relação ao modelo BASE. Como a abertura está voltada para a orientação leste, esse ambiente recebe durante todo o ano a ventilação predominante (sudeste), além de captar os ventos leste e nordeste, que ocorrem com menor frequência na região. Observou-se que após a inserção de esquadrias com venezianas móveis no modelo adaptado, tornou-se possível promover a ventilação seletiva nos períodos do dia em que a temperatura externa fosse inferior a 32°C. Tais fatos associados à mudança na cor da cobertura evidenciam uma redução nos ganhos de calor neste ambiente.

A sala também apresentou melhorias em seu desempenho térmico, porém,

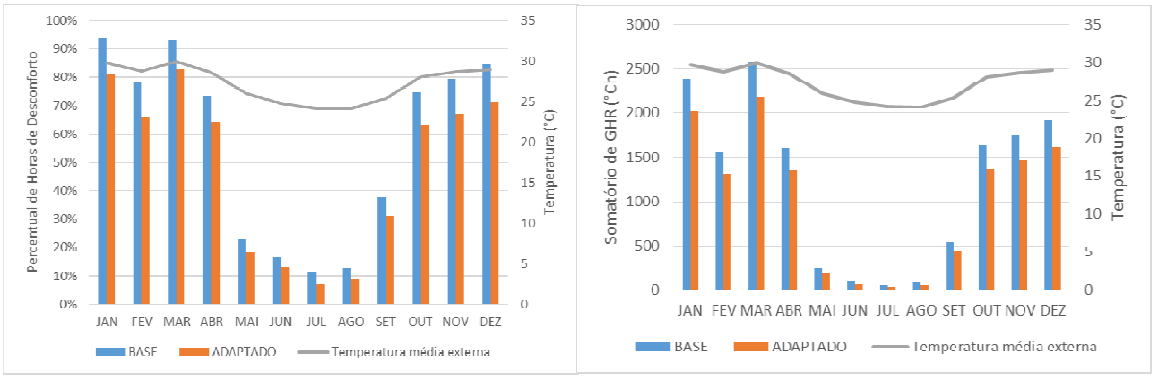
inferiores às reduções de desconforto observadas no quarto de casal. Por possuir uma de suas fachadas orientada a oeste, a sala teve seu desempenho prejudicado pela incidência direta de calor em sua envoltória. Desse modo, apresentou redução de 5% no percentual de desconforto e 1.243,46°Ch, equivalente a 8%, no somatório de GHR (ver gráficos 6a e 6b).

Analisando o desempenho mensal da edificação, constata-se que a sala e o quarto de casal apresentam melhores condições térmicas entre os meses de maio e setembro, por tratar-se de período com os maiores índices de precipitação e menores temperaturas externas, que variam entre 24,1°C e 26°C. Verifica-se o pior desempenho entre os meses de outubro e abril, quando a $T_{ext\text{-}média}$ atinge 30,0°C (ver gráficos 7a e 7b).

Percebe-se que as maiores reduções do percentual de horas de desconforto em relação ao modelo BASE ocorreram nos meses de verão: para o quarto de casal, de 13,71%, em dezembro, e para a sala, de 8,74%, em janeiro (gráficos 7a e 8a). As menores reduções ocorreram no mês de junho, durante o período mais frio: para o quarto de casal, 3,47%, e para a sala, 1,11%.

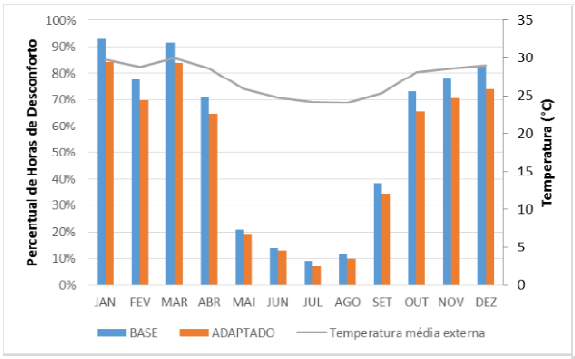
Os valores relacionados ao somatório de GHR reduziram em até 382,91°Ch, equivalente a uma redução de 15% em relação ao modelo base, para o quarto de casal, e em até 217,77°Ch, redução de 8%, para a sala, ambas no mês de março. As menores reduções foram de 25,65°Ch (46%) para o quarto de casal e de 8,08°Ch (21%), para a sala – ambas verificadas no mês de julho (gráficos 7b e 8b). Dessa forma, percebe-se uma maior redução dos valores do somatório de GHR durante o período mais quente do ano e menores reduções no período mais frio.

Gráfico 7– a) percentuais de horas de desconforto mensais; b) somatórios de GHR mensais no quarto de casal em Pão de Açúcar.

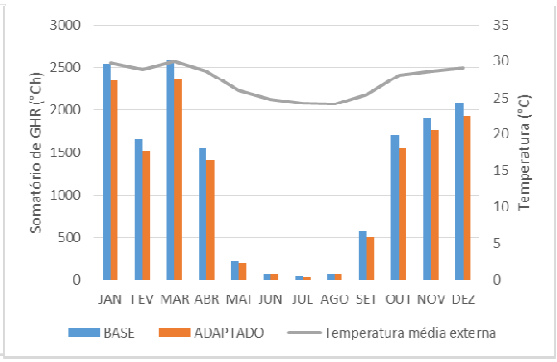


a) b)

Gráfico 8– a) percentuais de horas de desconforto mensais; b) somatórios de GHR mensais na sala em Pão de Açúcar.



a)



b)

CONCLUSÕES

No âmbito das habitações populares, pode-se observar que o desempenho térmico depende das soluções arquitetônicas adotadas e do comportamento climático da cidade.

Em busca de avaliar o impacto da adequação à NBR 15575 sobre o desempenho térmico, em diferentes contextos climáticos do estado de Alagoas, analisou-se uma unidade habitacional unifamiliar representativa do PMCMV. A norma de desempenho desconsidera a presença de ocupantes e estabelece como critério de classificação para o desempenho mínimo a temperatura máxima do ar exterior no dia típico de verão. Este requisito se mostra insuficiente, pois tal limite não assegura condições de conforto térmico ao usuário, como apresentado no caso de Maceió, em que o limite é de 32,2ºC para a temperatura de bulbo seco. Com base em outras abordagens que consideram o princípio adaptativo e as variações do clima ao longo do ano, diferentes limites são adotados para caracterizar a zona de conforto com base na temperatura operativa, alcançando-se valores inferiores a 30ºC, segundo ASHRAE 55 (2010). Ao analisar os resultados das simulações com base em critérios fundamentados na abordagem adaptativa de conforto, verificaram-se melhorias no desempenho térmico das UHs em ambas as cidades.

A mudança da tipologia das esquadrias e da absortância da cobertura contribuíram para esse resultado. A associação de estratégias se mostrou eficaz, com destaque para Maceió. Já em Pão de Açúcar, considerando o fato de que a cidade apresenta temperaturas externas que ultrapassam 32ºC, faz-se necessário o uso de outras estratégias passivas, como a massa térmica ou resfriamento evaporativo. Apesar de ambas as cidades estarem inseridas na Zona Bioclimática 8, elas possuem características climáticas distintas, necessitando de uma adaptação tanto da norma à realidade climática de cada local, quanto da NBR 15220-3 que definiu o zoneamento bioclimático brasileiro. Verifica-se a necessidade de aperfeiçoamento da NBR 15575, a fim de contemplar adequadamente as particularidades climáticas de cada cidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ, UFAL e FAPEAL pela bolsa de iniciação científica concedida ao projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE STANDARD 55—2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNR NBR 15576/2013.** CBIC. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 2ed. 308 p.

DEPARTMENTE OF ENERGY – DOE. **EnergyPlus:** version 8.2. Disponível em: <http://www.energyplus.gov/> Acesso em: 25 nov. 2014

FERREIRA, J. S. W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano.** São Paulo: FUPAM, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Maceió, Alagoas - AL.** Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=270430>. Acesso em: 24 fev. 2016

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.** 1992. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 24 fev. 2016

PASSOS, Isabela C. da S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. 2009. 173f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

RORIZ, Maurício. Laboratório em Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos em formato EPW.** Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/format-epw>. Acesso em: 25 nov. 2014

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis, SC, 2009. 216 p.

SORGATO, Marcio José; MARINOSKI, Deivis Luis; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública.** Florianópolis: LABEEE, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

TORRES, Daniela de A. **Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: alternativas para adequação climática.** 2015. 145f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE ISOLAÇÃO SONORA EM FACHADAS EM ANDARES ELEVADOS ATENDENDO À NORMA ABNT NBR 15575[1]

BAYEH, Rebeca (1); AKUTSU, Maria (2); AQUILINO, Marcelo de Mello (3); SALES, Elisa Morande (4); BRITO, Adriana Camargo (5); VITTORINO, Fulvio (6);

(1) IPT, e-mail: rebecab@ipt.br; (2) IPT, e-mail: akutsuma@ipt.br; (3) IPT, e-mail: aquilino@ipt.br; (4) IPT, e-mail: elisams@ipt.br; (5) IPT, e-mail: adrianab@ipt.br; (6) IPT, e-mail: fulviov@ipt.br

RESUMO

A ABNT NBR 15575, norma brasileira utilizada como referência para avaliação de desempenho de edificações habitacionais, apresenta critérios para a avaliação do isolamento acústico de vedações verticais internas e externas de edificações. Em andares elevados, são encontradas dificuldades operacionais para efetuarem-se medições de isolação entre as áreas interna e externa, pois estas envolvem o posicionamento de caixas acústicas no mesmo nível da fachada a ser testada e fixação do microfone a dois metros de distância da fachada, o que implica em risco de dano aos equipamentos e a quem executa o trabalho, além da necessidade do emprego de sistemas especiais de fixação dos equipamentos para mantê-los nas posições desejadas. Este artigo apresenta os resultados parciais do desenvolvimento de procedimentos de medição que possibilitem a determinação, com baixa incerteza experimental, da isolação sonora de fachadas em situações de dificuldade de acesso aos elementos de vedação. Até o momento, investigamos a viabilidade de padronizar as medições acústicas realizadas com o microfone rente às fachadas, através de ensaios em que são registrados os níveis de pressão sonora a dois metros e também rentes às mesmas. Na análise comparativa dos resultados, foram encontrados fatores de correção que indicam padrão adequado de reprodutibilidade.

Palavras-chave: Acústica de fachadas. ABNT NBR 15575. Desenvolvimento de método.

ABSTRACT

The ABNT NBR 15575 is the Brazilian standard used as reference for evaluating the performance of residential buildings. It establishes criteria for evaluating the acoustic insulation between internal and external vertical elements of buildings. At upper floors, operational difficulties to measure the insulation between the inner and outer areas are found, such as the placement of speakers at the same level of the façade and the allocation of the microphone two meters away from the façade, implying risk of damage to the equipment and to those who do the work, in addition to the necessity of special fastening equipment to keep them in the right positions. This article presents the partial results of the development of measurement method in order to enable determination, with low experimental uncertainty, of the sound insulation of façades in situations of difficult access to its elements. So far, we have investigated the feasibility of standardizing the acoustic measurements with the microphone close to the façades, comparing the results obtained by

[1] BAYEH, Rebeca *et al*. Desenvolvimento de método para medição de isolação sonora em fachadas em andares elevados atendendo à norma ABNT NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

measuring the sound pressure level two meters away from the façade and close to its surface. The partial data analysis suggests we will be able to obtain correction factors which indicate adequate standard of reproducibility.

***Keywords**: Façade acoustics. ABNT NBR 15575. Method development.*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a ABNT NBR 15575 é a norma brasileira utilizada como referência para avaliação de desempenho em edificações habitacionais. Em especial, a parte 4 da norma (ABNT, 2013) trata da avaliação de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE).

O item 12 desta Norma apresenta os critérios para avaliação do isolamento acústico entre os meios externo e interno, entre unidades autônomas e entre unidades autônomas e áreas comuns.

O estudo que será apresentado focou-se nos métodos normalizados de medição de isolamento sonoro global em fachadas, descritos na norma supracitada como SVVE – Sistema de Vedação Vertical Externa (ABNT, 2013) –, especificamente os métodos de medição em campo, descritos no subitem 12.2.1.2, que faz referência à norma internacional ISO 140-5, em especial em andares altos de edificações.

Nestes andares, são encontradas dificuldades técnicas para efetuar medições acústicas, pois o risco de dano a equipamentos é maior e o uso de caixas acústicas em andares elevados exige alto custo operacional.

A reflexão sonora em superfícies está bem documentada na literatura (Bistafa, 2011). Dessa maneira, é esperado que, ao realizar medições junto à fachada, obtenha-se um nível de pressão sonora superior aos provenientes de medições afastadas.

O presente trabalho visa desenvolver procedimentos que possibilitem a medição com baixa incerteza experimental da isolação sonora de fachadas em situações de dificuldade de acesso aos elementos de vedação através do desenvolvimento de um protótipo de base de microfone para uso em fachadas.

A metodologia está sendo desenvolvida de forma a adaptar as condições de medições que as normas citadas exigem, em especial a medição de nível de pressão sonora a dois metros de distância da fachada (ISO, 1998a), considerando ainda um baixo custo operacional. Para tanto, determinar-se-ão os fatores de correção obtidos através da diferença entre os níveis de pressão sonora obtidas em medições realizadas a dois metros da fachada e rentes a ela, com o objetivo de garantir que tais fatores sejam estatisticamente significativos e que a adaptação do método não traga prejuízos à qualidade das medições.

2 METODOLOGIA

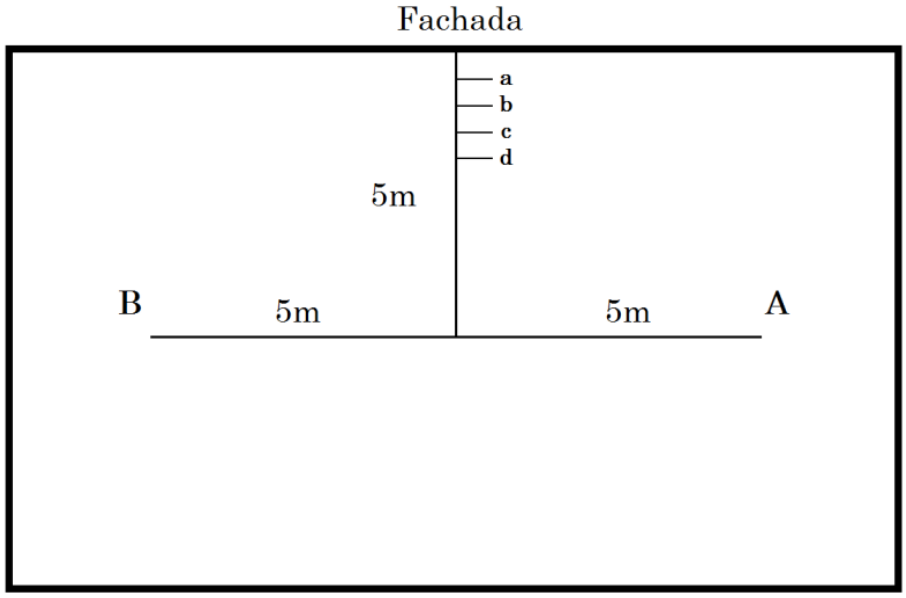
As medições foram realizadas utilizando-se um medidor de nível sonoro (Blue Solo, 01 dB) e uma caixa acústica (*ARIES 45°*) configurada para emitir ruído

rosa, com potência e atenuação constantes.

Em todos os casos, a caixa acústica foi posicionada em dois pontos, ambos a cinco metros de distância da fachada e com ângulo de 45º com relação à mesma, conforme indicado na Figura 1. A escolha deste ângulo, bem como das distâncias utilizadas durante os ensaios, a menos dos testes adicionais investigativos sobre a distância do microfone à fachada, devidamente especificados neste texto, foi determinada pelo item 5.4 da norma ISO 140-5 (ISO, 1998a).

As posições da caixa acústica estão indicadas na Figura 1 pelos pontos *A* e *B*. O medidor de nível sonoro foi movido perpendicularmente com relação à fachada durante as medições, permanecendo a cinco metros de distância longitudinal da caixa. Os pontos de medição estão identificados na Figura 1 pelos pontos *a*, *b*, *c* e *d*. Os pontos distam, respectivamente, 0,5m, 1,0m, 1,5m e 2m da fachada. Antes da aferição nos pontos indicados, foi feita a calibração e a medição do ruído de fundo.

Figura 1 – Ilustração esquemática dos pontos em que foram posicionados a caixa acústica (pontos A e B) e o microfone (*a, b, c* e *d*)



Fonte: os autores

Para verificar a influência do equipamento de medição, o microfone do medidor de nível sonoro foi também posicionado rente à fachada em três condições diferentes: apoiado sobre o tripé (Figura 2), posicionado manualmente com espuma protetora (Figura 3) e posicionando manualmente sem a espuma protetora (Figura 4).

Em todas as condições citadas a altura do microfone com relação às fachadas foi mantida em 1,5m. Nos casos em que foi utilizado um tripé, a altura da calçada foi subtraída para que a altura se mantivesse constante.

Figura 2 – Medidor de nível sonoro posicionado em frente a uma das fachadas estudadas sustentado por um tripé.



Fonte: os autores

Figura 3 – Medidor de nível sonoro posicionado em frente a uma das fachadas estudadas sustentado pelo operador com espuma protetora.



Fonte: os autores

Figura 4 – Medidor de nível sonoro posicionado em frente a uma das fachadas estudadas sustentado pelo operador sem espuma protetora.



Fonte: os autores

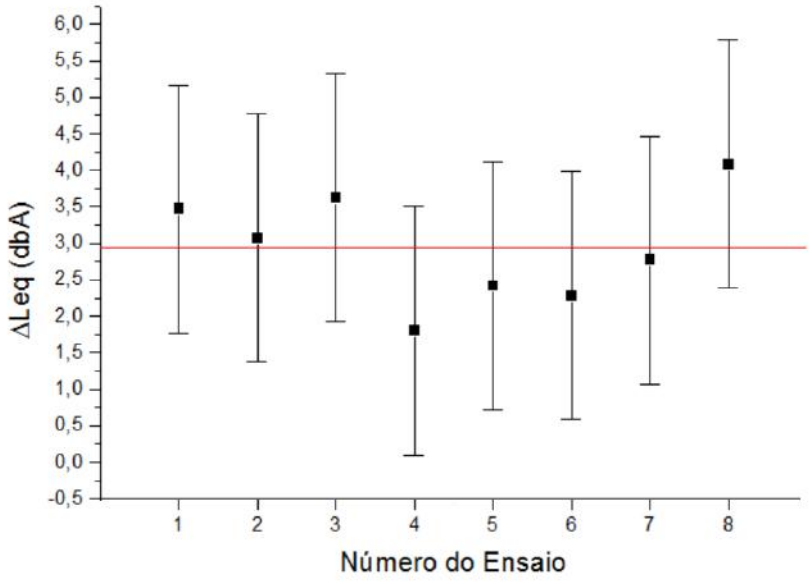
Para fins de análise complementar, realizamos um ensaio em campo livre, simulando o posicionamento de uma fachada e realizando as medições como indicado anteriormente, a fim de comparar com os resultados obtidos no ensaio realizado na fachada de fato.

Também estamos desenvolvendo um protótipo de base para microfone que ainda não foi devidamente sistematizado e documentado devido à necessidade de realização de estudos ainda em andamento, a serem publicadas em trabalho posterior.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 mostra a comparação dos oito ensaios de fachada realizados, indicando a diferença de nível de pressão sonora A-ponderada entre as medições a dois metros e rentes à fachada sem espuma protetora. A escolha da ponderação A visa a padronização dos cálculos. As medidas realizadas a 1,5m, 1,0m e 0,5m não forneceram informações que possibilitassem contribuições ao desenvolvimento do método sendo desenvolvido no presente projeto.

Figura 5 – Diferença de nível de pressão sonora A-ponderado em cada um dos ensaios de fachada realizados



Fonte: os autores

Foi obtida uma média de *2,9 ± 1,2 dB(A)*. A incerteza indicada corresponde à do equipamento utilizado e à dos procedimentos utilizados (CETAC-IPT, 2013), já conhecidos e publicados em trabalhos anteriores, e foi considerada constante para todos os ensaios realizados até o momento. Essa incerteza permite a obtenção de um fator de correção de boa qualidade, entretanto, será necessário um estudo posterior aprofundando das incertezas experimentais envolvidas.

Este fator foi encontrado apenas utilizando-se o método que envolve uso da

caixa acústica (ISO, 1998a), mas mostra-se necessária a realização futura de ensaios utilizando-se ruído de tráfego, conforme indica a mesma norma, aplicando-se o protótipo de base e microfone desenvolvido e, por fim, a realização de ensaios em apartamentos habitados, a fim de se verificar na prática a viabilidade do método desenvolvido.

Já temos, contudo, indícios suficientes para prosseguir com a investigação deste fator de correção que, quando devidamente analisado, possibilitará que as medições sejam realizadas com uso de microfones rentes às fachadas dos apartamentos, minimizando os riscos e os custos operacionais do método originalmente descrito nas normas vigentes.

Para isto, uma base de microfones poderá ser fixada às janelas das fachadas estudadas, desde que seu cabeamento não prejudique a isolação sonora dos elementos de vedação e desde que os fatores de correção sejam adequadamente generalizados em trabalhos posteriores.

O ensaio em campo livre demonstrou que a dissipação sonora é estritamente crescente com relação ao distanciamento do microfone em relação à caixa. Tais resultados serão omitidos por constituírem parâmetros de controle e fugirem ao escopo do projeto.

4 CONCLUSÕES

Demonstramos ser possível encontrar o fator de correção desejado com incerteza experimental controlada. Este fator é de *2,9dB*, com incerteza de *1,2dB*, e sua incerteza ainda será minimizada e estudada através de novos ensaios.

Este fator, quando devidamente investigado e documentado, poderá ser utilizado para substituir as medições a dois metros da fachada, cuja execução exige alto e custo operacional e risco aos pesquisadores por medições rentes às fachadas dos apartamentos estudados, garantindo confiabilidade dos resultados e adequação às normas vigentes.

Para realizar as medições de nível de ruído rentes à fachada, utilizaremos o protótipo atualmente em desenvolvimento no Laboratório, que deverá ainda ser testado em fachadas de andares elevados, utilizando suspensão das caixas acústicas a fim de se verificar a reprodutibilidade dos resultados em andares elevados de apartamentos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Finep pelo fomento da presente pesquisa, ao IPT pela estrutura e aos colaboradores Ary, Isabela, João, Paulo, Ângelo, Esdras, Zé Paulo, Manuel e Orlando pelas gentis contribuições.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15575**: Edificações Habitacionais– Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas– SVVIE. Quarta Edição, 2013.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE DOS EDIFÍCIOS-CETAC-IPT. Certificado de Calibração Nº127 123-101. Item: Analisador de Nível Sonoro; Identificação: MNS-02, 2013.

BISTAFA, S. R.; **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-5 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5:** Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Geneva, 1998a.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE DOS EDIFÍCIOS-CETAC-IPT. **Certificado de Calibração Nº127 123-101**. Item: Analisador de Nível Sonoro; Identificação: MNS-02, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO DAS MEDIDAS DINÂMICAS DE DESEMPENHO DA LUZ NATURAL FRENTE ÀS PREFERÊNCIAS DOS USUÁRIOS[1]

BECK, Luciana M. (1); ZOCCOLI, Ani (2); FRANÇA, Ana B. (3); PEREIRA, Fernando O. R. (4); FONSECA, Raphaela W. da (5)

(1) UFSC, e-mail: luciana@labcon.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: ani@labcon.ufsc.br; (3) e-mail: ana.borgesfranca07@gmail.com (4) UFSC, e-mail: feco@labcon.ufsc.br; (5) UFSC, e-mail: raphawf@labcon.ufsc.br

RESUMO

A luz natural é um processo dinâmico que proporciona a qualificação do espaço para o desempenho das atividades e exerce influência no bem-estar dos usuários. Por entender sua importância, este trabalho, aplicado em sala de informática, tem como objetivo analisar diferentes medidas de desempenho de iluminação natural frente às preferências dos usuários. Para a análise foram aplicados questionários de satisfação quanto à percepção visual e solicitado desenho da área considerada iluminada naturalmente. Desenvolveu-se uma forma de avaliação baseada na divisão do ambiente em quadrantes, que correlaciona as respostas encontradas sobre a percepção do usuário com os resultados do comportamento luminoso do ambiente, através das medições de iluminâncias. Para a verificação da adequabilidade das medidas dinâmicas de desempenho de iluminação natural, foram realizadas simulações computacionais da configuração original do espaço e de proposta de uso de prateleiras de luz nas aberturas. Assim, constatou-se que a proposta apresentou melhor resultado nas diferentes medidas dinâmicas, que devem ser consideradas em conjunto para a obtenção de um projeto arquitetônico consistente. Em complemento, a análise da percepção e do comportamento do usuário é fundamental para orientar diretrizes que satisfaçam às questões de conforto visual.

Palavras-chave: Iluminação natural. Medidas dinâmicas. Percepção do usuário.

ABSTRACT

Daylight is a dynamic process that provides the qualification of space for the performance of activities and influences the users' well-being. By understanding its importance, this work applied in computer room, analyzes different performance measures of daylight to the preferences of users. For the analysis were applied satisfaction questionnaires for visual perception and requested design of the illuminated area considered naturally. It developed a form of assessment based on division the area into quadrants, which correlates to the answers found on the perception of the user with the results of the illuminance measurements. To check the suitability of dynamic measurements of daylighting

[1] BECK, Luciana M.; ZOCCOLI, Ani; FRANÇA, Ana B.; PEREIRA, Fernando O. R.; FONSECA, Raphaela W da. Estudo das medidas dinâmicas de desempenho da luz natural frente às preferencias dos usuários. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

performance, computer simulations of the original configuration of the space and the proposed use of light shelves in openings were made. Thus, it was found that the proposed showed better results in the various dynamic measurements, which must be considered together to obtain a consistent architectural design. In addition, the analysis of perception and user behavior is critical to guide policies that meet the visual comfort issues.

Keywords: *Daylight. Dynamic metrics. User's perception.*

1 INTRODUÇÃO

A luz natural tem um forte impacto na produtividade e na saúde humana, pois está associada às emoções subjetivas dos usuários. A percepção da luz natural nos espaços arquitetônicos é um importante aspecto do desempenho visual, influindo nas maneiras de vivenciar o espaço.

Assim, acredita-se que as soluções de projeto não podem ser baseadas unicamente em critérios mensuráveis. A análise do processo dinâmico do comportamento da luz natural no ambiente construído quantifica as medidas de desempenho da iluminação natural. Contudo, essa quantificação deve ser complementada por estudos das necessidades e comportamentos dos usuários, através de pesquisa qualitativa.

Para a realização de atividades, uma boa iluminação requer atendimento tanto em qualidade (adequação), quanto em quantidade (nível de iluminação). Quantidade e qualidade são aspectos complementares no projeto de iluminação e devem ser entendidos como um acordo entre eficiência visual, conforto visual e satisfação estética (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975).

Este trabalho, desenvolvido em uma sala de informática do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, tem o objetivo de analisar, através de simulação computacional, o desempenho da iluminação natural, através da relação entre a percepção do usuário, medidas de iluminância e medidas dinâmicas de desempenho. Uma das razões da escolha do local, além dos poucos estudos baseados em medidas dinâmicas realizadas em cidades do heminsfério sul, foi a existência de diferentes sistemas de iluminação (lateral e zenital) e elementos arquitetônicos, como brises mistos e horizontais.

2 FUNDAMENTAÇÃO

Cada vez mais, as medidas dinâmicas estão contribuindo com as medidas estáticas para a melhor compreensão da utilização da luz natural, uma vez que estas apresentam certas limitações de parâmetros para avaliação do desempenho da iluminação natural.

As medidas dinâmicas, ao considerar a variação de iluminâncias ao longo do dia e do ano, permitem avaliar os efeitos da orientação de fachada, da latitude, e são sensíveis ao uso do espaço, conforme necessidade de iluminação e tempo de ocupação.

As principais medidas dinâmicas são: *Daylight Autonomy (DA)*, *Continuous Daylight Autonomy (cDA)*, *Useful Daylight Iluminances (UDI)*, *Spacial Daylight Autonomy (sDA) e o Annual Sunlight Exposure (ASE)*. A avaliação da combinação destas medidas também se faz necessária, visto que, "uma única medida de desempenho não pode indicar adequadamente todos os fatores envolvidos no sucesso de um sistema de iluminação natural" (IES, 2012).

O *Daylight Autonomy* é definido como uma porcentagem das horas ocupadas por ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado, apenas pela iluminação natural (REINHART ET AL., 2006).

O *Useful Daylight Iluminances,* introduzida por Nabil e Mardaljevic (2006), considera a porcentagem de horas em um ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação determinada como confortável (100 a 3.000 lux).

O *Continuous Daylight Autonomy* é dado como um crédito parcial às partes de tempo em que a luz encontra-se abaixo do nível mínimo de iluminância. (REINHART ET AL., 2006).

O *Spacial Daylight Autonomy* é a medida utilizada para analisar a suficiência da iluminação natural e é definida como a porcentagem da área que possui um nível mínimo de iluminação natural por uma fração específica das horas de operação do ano.

Através do *Annual Sunlight Exposure* obtém-se a percentagem da área analisada que excede um nível específico de luz solar direta para um determinado número de horas por ano. (IES, 2012).

A verificação dos resultados das medidas aplicadas deve ser compatível com as leis e normas específicas, tais como a NBR ISO/CIE 8995, que discorre sobre os valores de iluminância e ofuscamento a serem alcançados em ambientes de trabalho, e a americana *Illuminating Engineering Society* – IES LM83, que traz recomendações quanto ao desempenho mínimo da iluminação natural. Por falta de norma específica de iluminação natural, a NBR ISO/CIE 8995, voltada para a iluminação artificial, foi adotada como referência para este trabalho.

Percebe-se que a diferença entre o nível mínimo de iluminância para as atividades realizadas em sala de informática, previsto na NBR ISO/CIE 8995 (500 lux), é quase o dobro do mínimo indicado pela IES LM83 (300 lux). Tal diferença pode ser explicada, segundo Boyce (1995), pelas grandes variações, historicamente verificadas, entre indicadores dos níveis mínimos de iluminâncias, de acordo com as situações políticas e econômicas.

Uma avaliação da interelação entre a pessoa e o ambiente luminoso pode ser realizada através da identificação das áreas naturalmente iluminadas. Conforme Van Den Wymelenberg (2014), essas áreas podem ser descritas como a compilação de diversos atributos: uso da luz natural como fonte

primária, durante as horas do dia, para suprir as demandas visuais dos usuários; experiência de conforto térmico e visual do ambiente; integração do ambiente interno com externo; e aumento da economia de energia enquanto minimiza a demanda em momentos de pico de consumo.

A complementaridade entre as abordagens permite avançar em direção a estratégias de projetos que efetivamente satisfaçam aos usuários.

3 MÉTODO

Como base para o diagnóstico e levantamento do espaço, bem como para a elaboração dos questionários, utilizou-se como referência o trabalho de HESCHONG (2011), que trata do relatório final dos resultados e atividades realizadas para o desenvolvimento de medidas dinâmicas de avaliação do desempenho anual da iluminação natural em edifícios, elaborado pelo *Daylighting Metrics Comitte*, formado pela Sociedade de Engenharia da Iluminação Norte Americana (IES), que envolve pesquisadores de diversas partes do mundo.

O questionário teve a intenção de buscar informações sobre as percepções visuais dos alunos, em relação à iluminação natural, por meio de perguntas a respeito do conforto lumínico do ambiente. As opções de respostas estavam disponíveis em cinco níveis de classificação: discordo muito, discordo, neutro, concordo e concordo muito.

Ao final do questionário foi apresentada a planta baixa do espaço para que o aluno desenhasse, de maneira espontânea, a área que considerasse bem iluminada naturalmente.

Os desenhos realizados pelos alunos foram digitalizados e transferidos para o programa *AutoCad*, permitindo a sobreposição das áreas naturalmente iluminadas às medidas de iluminância realizadas com o equipamento luxímetro.

As medições de iluminância foram realizadas de acordo com a NBR 15215-4, simultaneamente à aplicação do questionário, com as lâmpadas desligadas. Neste experimento, determinou-se uma malha de medição de 20 pontos, conforme resultado de cálculo do índice do local (K), para a verificação dos níveis de iluminância.

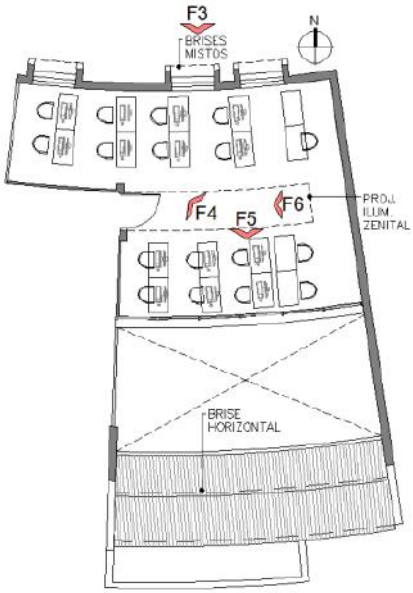
Para o tratamento dos dados, o ambiente foi inicialmente dividido em quadrantes, onde os pontos criados para a malha de medição estavam situados no centro de cada quadrante. Depois, foi computado o número de vezes que cada quadrante apresentou hachuras desenhadas pelos alunos.

Para a análise do desempenho da luz natural, foi utilizado o programa *LightStanza* (Light Foundry, 2016), que permite simular a iluminação natural em ambiente construído, baseando-se nas cinco medidas dinâmicas. Os valores medidos de iluminâncias e as respostas subjetivas dos alunos foram comparados com os resultados da simulação.

3.1 Descrição do ambiente

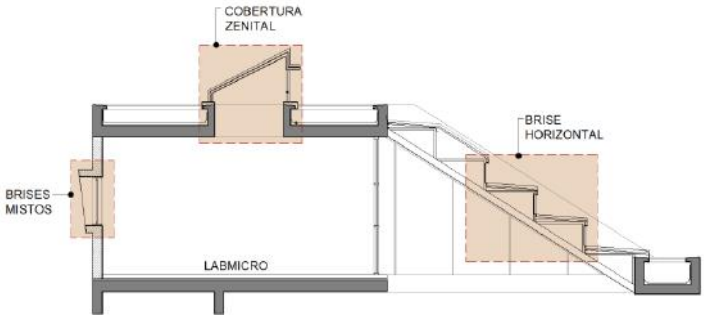
A sala de informática com 40,60m² e capacidade para 16 alunos está localizada no terceiro pavimento do edifício, com o entorno formado por áreas livres. A entrada da luz natural acontece através de aberturas orientadas para norte, sul e cobertura zenital.

Figura 1 - Planta baixa



Fonte: Os autores

Figura 2 - Corte



Fonte: Os autores

Na fachada sul, a cobertura escalonada é formada por telha metálica, na cor alaranjada e envidraçamento incolor. No eixo longitudianal da sala, também na orientação sul, está a cobertura zenital.

As aberturas voltadas ao norte apresentam brises mistos e não há dispositivos de controle solar interno, como cortinas e persianas. Contudo os vidros dessas janelas possuem película que reduz a quantidade de luz que incide no ambiente.

Figura 3 - Fachada Norte



Fonte: Os autores

Figura 4 - Vista das aberturas voltadas ao nortecom os brises mistos



Fonte: Os autores

Figura 5 - Cobertura escalonada na fachada sul



Fonte: Os autores

Figura 6 - Cobertura zenital



Fonte: Os autores

As atividades são realizadas basicamente nas telas dos computadores e a boa qualidade de iluminação melhora a eficiência do processo de ensino e aprendizagem, assim como evita prejuízos à saúde visual dos usuários. Deve-se minimizar a possibilidade de reflexão nas telas dos computadores e, assim, evitar ofuscamento.

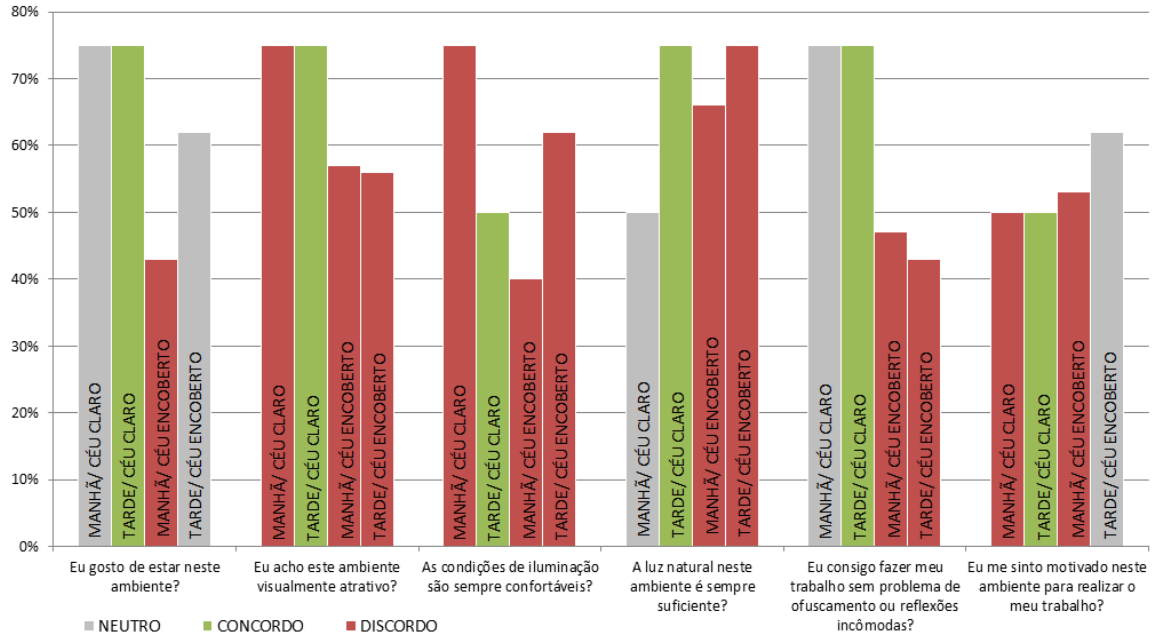
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Aplicação de questionários

Os questionários de satisfação dos usuários foram aplicados a 39 alunos, na faixa etária em torno dos 20 anos, que utilizam a sala durante os quatro meses do semestre letivo, por períodos de até 4 horas. As visitas foram realizadas enquanto havia atividades na sala e, em todas às vezes, constatou-se a utilização da iluminação artificial.

Através do Gráfico 1, pode ser observado o percentual de ocorrência das respostas às perguntas considerandas mais expressivas nos questionários. O experimento realizado na tarde de céu claro apresentou todas as respostas positivas, quanto à aceitação do ambiente por parte dos usuários. Nos demais períodos, 50% ou mais dos alunos demonstrou desconforto às condições de iluminação e, paralelamente, pouca motivação para realizar suas atividades.

Gráfico 1 - Percentual de ocorrência das respostas



Fonte: Os autores

A seguir são descritos, detalhadamente, os resultados de cada dia de experimento:

- **17 de novembro de 2015 - período da manhã com céu encoberto:** no momento da visita o ambiente estava com as lâmpadas acesas e, assim, 66% das respostas obtidas confirmam que o ambiente não possui iluminação natural suficiente. 57% não consideraram o ambiente visualmente atrativo e 43% dos alunos afirmam não gostar de estar neste ambiente, apresentando as seguintes justificativas: "apertado para a quantidade de alunos", "muito isolado", "não gosto da acústica" e "não acho bem ventilado". Dentre as mudanças que fariam para melhorar as condições de conforto visual, 55% dos alunos colocariam cortinas e persianas. Outras respostas apresentadas foram a "redisposição das aberturas" e "redisposição das lâmpadas". Na pergunta sobre a qualidade da vista do exterior, 47% mostraram-se satisfeitos. Contudo, essa foi a única questão que apresentou respostas em todos os cinco níveis de classificação, o que caracteriza percepções individuais distintas. Para 40%, o dimensionamento das esquadrais é suficiente, entretanto, 13% discordam muito e solicitam "tirar a película existente do vidro" e "aumentar as janelas", soluções que permitiriam maior entrada de luz natural no ambiente.
- **04 de dezembro - período da tarde com céu encoberto:** 56% dos alunos não gostam de estar no ambiente e justificam através das declarações: "é apertada", "deveria ser maior", "pouco ventilada", "os computadores estão na frente do quadro". Quando justificam que gostam, descrevem que é um "ambiente agradável" e "porque tem internet", revelando que a insatisfação não está relacionada às questões de conforto visual. Em

relação ao ambiente ser visualmente atrativo, 56% não estão satisfeitos, pois consideram o "ambiente frio", "não dá para ver o quadro direito", e "é escuro e quando entra sol, atrapalha a visão do quadro". Um aluno ainda comenta: "o lado direito da sala (lado sul) não tem vidro escuro e a luz, às vezes, reflete no quadro e a visibilidade diminui, na verdade, acho que é a luz artificial que reflete". Outro aluno sugere "instalar lâmpada em cima da lousa de modo a evitar outras reflexões às lâmpadas da sala de aula". Desta maneira, 75% acham que a luz natural é insuficiente e 62% discordam que as condições de iluminação são sempre confortáveis. Quanto às mudanças que os alunos fariam no ambiente para melhorar as condições de conforto visual, foi citado: "mais iluminação natural", "diminuir lâmpadas", "retirar a película e instalar persianas do tipo rolo ou outra que desobstrua completamente a janela" e, ainda, "aumentar as janelas".

- **08 de dezembro de 2015 - período da manhã com céu claro:** assim, como no período da tarde com céu encoberto, 75% discordam que as condições de iluminação são sempre confortáveis e 50% discordam que se sentem motivados para realizar seu trabalho, apesar de conseguirem fazê-lo sem problema de ofuscamento ou de reflexões incômodas. Como sugestão de melhoria das condições de conforto visual, 50% dos alunos colocariam cortinas e persianas. Ressalta-se que um aluno que permanece 8h diárias no ambiente apresentou respostas como, discordo ou discordo muito, com mais frequência do que os demais alunos e, assim, notou-se sua menor tolerância em relação ao desconforto visual.
- **18 de novembro de 2015 - período da tarde com céu claro:** 75% das respostas indicaram satisfação de estar no ambiente. Um aluno justificou que gosta de estar no ambiente, pois "não há incidência direta do sol", e outro, concorda que o ambiente é visualmente atrativo por "ter bastante janelas". A quantidade de janelas e a vista do exterior demostraram ser satisfatórias ao revelar que 75% dos alunos concordam com seu dimensionamento e estão contentes com a qualidade daquilo que avistam.

Apesar das medições não indicarem valores suficientes para caracterizar ofuscamento (UDI>3.000lux), nos períodos de céu encoberto os alunos mostram-se insatisfeitos quanto a esta questão, o que não ocorreu nos dias de céu claro. Com este resultado, supõe-se que o ofuscamento relatado seja causado pelo contraste entre o ambiente e a vista do exterior, que se encontra no campo visual dos alunos.

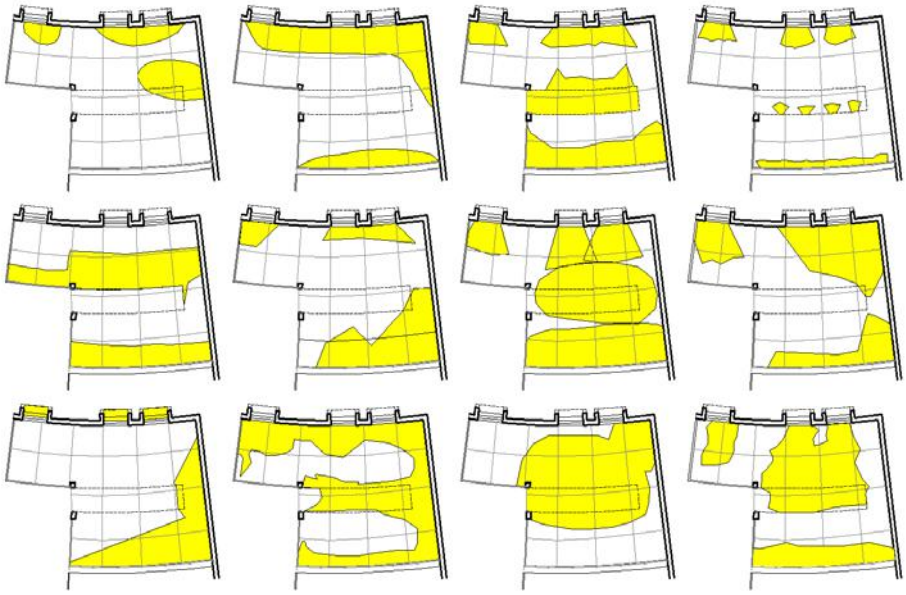
Em nenhuma pergunta sobre percepção ocorreu de todos os entrevistados assinalarem uma mesma opção de resposta, ou seja, nenhuma pergunta gerou índice de 100%. A análise desses resultados confirma a complexidade em atender às necessidades dos usuários em relação ao ambiente luminoso, já que as pessoas apresentam expectativas individuais diferentes.

4.2 Medições de Iluminâncias e desenho de áreas naturalmente iluminadas

Os valores medidos através do luxímetro e os desenhos das áreas consideradas iluminadas naturalmente pelos alunos foram essenciais para permitir a correlação com as respostas obtidas através dos questionários e, assim, averiguar os resultados no momento da aplicação.

As áreas identificadas com maior frequência pelos alunos são as mais próximas das aberturas (figura 7).

Figura 7 - Exemplos de áreas consideradas naturalmente iluminadas pelos alunos.



Fonte: Os autores

A partir da divisão dos quadrantes (Figura 8), foi possível computar as áreas consideradas naturalmente iluminadas pelos alunos e compará-las com as medições das iluminâncias. Quando o percentual das respostas foi computado igual ou maior que 50%, o quadrante foi considerado como área iluminada naturalmente. Quando a percentagem era significativamente baixa (menor que 15%) foi considerado como área não iluminada naturalmente e, por fim, as áreas restantes, foram consideradas como parcialmente iluminadas.

Figura 8 - Desenho comparativo entre medições de iluminâncias e áreas consideradas naturalmente iluminadas



Fonte: Os autores

No dia 8 de dezembro, dos 20 quadrantes que compõem a divisão do ambiente, 9 não apresentaram nenhuma marcação como área naturalmente iluminada e 4 deles foram marcados por apenas 25% dos usuários. Essas informações confirmam os valores medidos com o luxímetro, que não alcançam níveis mínimos para a atividade realizada, recomendado pela NBR/CIE 8995.

Observa-se ainda, que os quadrantes 06, 10 e 14 foram percebidos como área iluminada naturalmente, no período da tarde e, parcialmente, no período da manhã com céu encoberto, porém, não nos períodos de céu claro. Esse evento pode ser interpretado considerando o fato de que, com o céu encoberto, a luz difusa torna a distribuição da iluminação natural do

ambiente mais homogênea em relação ao tempo ensolarado, o que minimiza a sensação de área sombreada.

Em todos os dias de experimento, independente do período do dia ou situação de céu, foi constatado que os quadrantes 17 e 19 sempre apareceram como área não iluminada o que é condizente com os baixos valores de iluminância medidos.

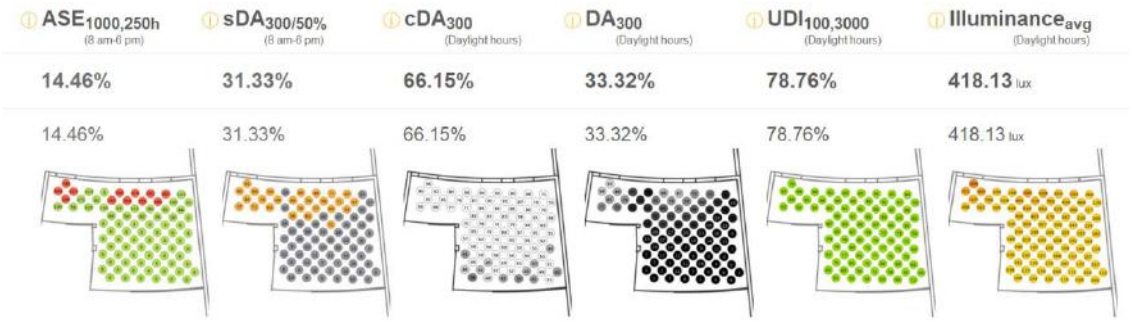
Em relação às medições, os maiores níveis de iluminância foram apurados próximos às janelas com brises mistos. No dia 17 de novembro, no quadrante 08 foi registrado o maior nível de iluminância, com valor de 246 lux e esta área também foi considerada por 87% dos alunos como naturalmente iluminada. Da mesma forma, nos demais dias de medição, o quadrante com maior nível de iluminância sempre apresentou, também, maior percentual de respostas como área bem iluminada.

Conforme observado na dinâmica de uso do espaço, as primeiras estações de trabalho ocupadas pelos alunos são exatamente as que estão localizadas nos quadrantes com os maiores níveis de iluminância. Desta forma, acredita-se que os usuários buscam conforto para realização de suas tarefas e, talvez, também a possibilidade de usufruir da vista do exterior.

4.3 Simulação Computacional

Através da simulação da configuração original do ambiente, verifica-se que há pontos de ofuscamento em 14,46% (representado no desenho na cor vemelha) das horas de trabalho próximos às aberturas onde estão localizados os brises mistos.

Figura 9: Simulação da configuração original do ambiente



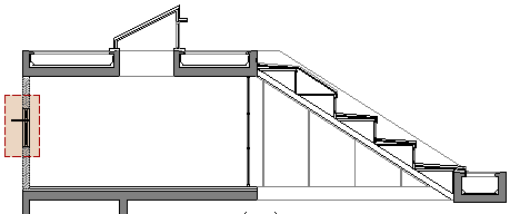
Fonte: Adaptado do programa LightStanza

Os baixos valores de sDA (representado na cor cinza) e DA (representado na cor preta), em torno de 30%, significam a necessidade do uso de iluminação artificial em algumas horas do dia. Contudo, se considerado crédito parcial às partes de tempo em que a luz encontra-se abaixo do nível mínimo de iluminância (300 lux)(representado na cor cinza), essa métrica apresenta melhora significativa, alcançando o dobro de autonomia da luz natural, com 66,15%.

Assim, através da medida (cDA), os parâmetros de sDA e DA são gradualmente computados, e é possível aproximar-se de condições visuais confortáveis para o usuário.

Após a análise dos dados, gerados através da configuração original, foi proposta a substituição dos brises mistos por prateleiras de luz, com o intuito de verificar se há significativa melhoria na contruibuição da luz natural pelas aberturas existentes no ambiente.

Figura 10: Proposta

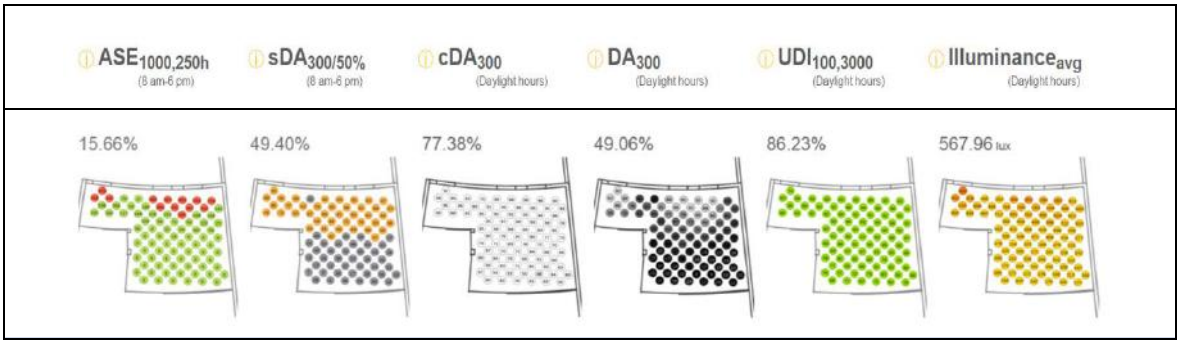


Fonte: Os autores

A proposta alcançou o nível mínimo de 500 lux em relação à medida de iluminância, recomendado pela NBR ISO/CIE 8995.

A medida de UDI apresenta satisfatória, dentro do intervalo de 100 a 3000 lux, em mais de 80% das horas do dia. Esta medida pode ser correlacionada às porcentagens computadas para o ASE, quanto à baixa ocorrência de ofuscamento (representado na cor vermelha).

Figura 11: Resultados da proposta



Fonte: Adaptado do programa LightStanza

O ofuscamento manteve-se praticamente inalterado em relação à configuração original, porém, o *sDA* e DA, com diferença de 18,07% e 15,74%, respectivamente, tornam o ambiente mais homogêneo quanto à iluminação natural, durante o tempo de ocupação. Isso ocorre devido às prateleiras refletirem a luz para os espaços mais profundos do ambiente e, assim, consequentemente, reduzirem o uso da iluminação artificial.

Por fim, analisadas todas as medidas simultaneamente, a proposta apresentou resultados mais próximos de um projeto arquitetônico que vise à boa iluminação natural. A mesma estratégia de uso de prateleiras de luz, no estudo de Reinhart et al (2006) sobre alternativas de fachadas no desempenho da dinâmica da luz natural, também representou a melhor solução quando comparado ao uso de persiana interna, persiana perfurada ou vidro translúcido.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram a correlação entre as medidas dinâmicas e a percepção do usuário, através da aplicação de questionário de satisfação, de medições com o luxímetro e simulações, em busca da adequabilidade do desempenho da iluminação natural no interior do ambiente.

A realização das medidas estáticas, realizadas com o luxímetro, mostrou que, no momento da medição, os maiores níveis de iluminância coincidem com as estações de trabalho que primeiramente são ocupadas. Acredita-se que este comportamento esteja relacionado à busca do usuário por uma melhor resposta do ambiente quanto à luz natural.

Apesar destes níveis de iluminância ainda estarem abaixo do mínimo recomendado pelas normas, a grande maioria dos alunos demarcou áreas do ambiente em estudo como bem iluminadas naturalmente.

É reconhecida, neste trabalho, a necessidade de amadurecimento quanto ao período de aplicação dos questinários, buscando abranger outras épocas do ano, e um número maior de informantes. Contudo, visto a importância de considerar as expectativas dos usuários na concepção do projeto, foram captadas as questões subjetivas dos alunos e transformadas em dados numéricos, possíveis de quantificar.

Observou-se que, muitas vezes, as respostas relacionadas à percepção visual não estão ligadas diretamente ao conforto visual e, sim, a outros fatores que influenciam a satisfação e bem-estar no ambiente.

Por fim, o conhecimento da percepção e comportamento dos usuários, bem como o domínio da dinâmica da iluminação natural, é importante para avaliar estratégias de projeto, que venham a satisfazer as questões de conforto visual.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Capes pela bolsa de pós-graduação – (CAPES-DS)

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 15215-4: 2005. **Iluminação Natural – Parte 4**: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR ISSO/CIE 8995-1 (2013). **Iluminação de ambiente de trabalho**. Parte 1: Interior. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. N.46, 2013.

BOYCE, Peter R. **Iluminance Selection Based on Visual Performance**: and other Fairy Stories. New York, 1995.

HESCHONG, Lisa. Heschong Mahone Group. 2011. **Daylight Metrics**. California Energy Comission.

HOPKINSON, R.G.; LONGMORE, J.;PETHERBRIDGE, P**. Daylighting**: London, 1975.

IESNA, IES LM-83-12. **IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** New York, NY, USA, IESNA Lighting Measurement, 2012.

KUHNEN, A. e cols. **Percepção Ambiental**, in: CAVALCANTI, S., ELALI. G., A., (Eds), "Temas básicos em Psicologia Ambiental", Petrópolis, RJ : Vozes, 2011.

Light Foundry, LLC. Software Lightstanza. Colorado, 2016.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors. Energy and Buildings, v.38, n.7, p.905-913, 2006.

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design.** LEUKOS – Journal of Illuminating Engineering Society of North America, v.3, v.1, p. 7-31, 2006.

REINHART, Christoph; RAKHA, Tarek; WEISSMAN, Dan. Predicting the Daylit Area: A Comparison of Students Assessments and Simulations at Eleven Schools of Architecture. **Leukos: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America,** Londres, v. 4, n. 10, p.193-206, 02 jul. 2014.

U.S. Green Building Council. USGBC, **Green Building Design and Construction.** Washington: USGBC: 2013.

VAN DEN WYMELENBERG. **Visual Comfort, Discomfort Glare, and Occupant Fenestration Control**: Developing a Research Agenda. LEUKOS: The Journal of the Illuminating Enginnering Society of North America. V. 10 p.207-221, 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

VALORES AMBIENTAIS NO PROJETO ARQUITETÔNICO: RELATO DE UMA DISCIPLINA DE PROJETO INTEGRADO DE ARQUITETURA E CONFORTO AMBIENTAL[1]

BOGO, Amilcar (1); PEIXER, Keila (2); KOBALL, Daniela (3)

(1) FURB, e-mail: bogo.amilcar@gmail.com; (2) FURB, e-mail: keilapeixer@gmail.com;
(3) FURB, e-mail: daniela9814@hotmail.com

RESUMO

Neste artigo são apresentados os resultados da integração do ensino de conforto ambiental na prática de ensino de projeto de arquitetura residencial unifamiliar. Este estudo consiste no relato de uma experiência didática realizada numa disciplina estruturante de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Na disciplina foram realizadas explicações teórico-expositivas, estudos de caso, visitas em campo, exemplos de estratégias de projeto, assessorias coletivas e individuais, entre outras ações, destacando aos estudantes a importância dos valores ambientais e de conforto ambiental no projeto de arquitetura de uma residência unifamiliar. Os resultados encontrados indicaram que uma parte das propostas de projeto desenvolvidas pelos alunos não atribuíram a devida atenção à manutenção de vegetação já existente no terreno, ao controle do excesso de Sol nas aberturas, a aplicação de ventilação natural cruzada, além de erros de identificação da correta orientação solar nas fachadas. Entretanto os valores físico-ambientais como adaptação a topografia, aproveitamento das visuais/paisagem, foram os de melhor resposta de projeto de arquitetura. Como exercício de ensino de projeto integrado, perceberam-se melhorias na atenção aos valores ambientais e de conforto ambiental no processo de concepção arquitetônica, quando comparado com disciplinas sem conexões efetivas com outras exigências ou áreas/disciplinas da arquitetura.

Palavras-chave: Ensino. Projeto de Arquitetura. Conforto Ambiental.

ABSTRACT

This paper presents the results of the integration of environmental comfort education in teaching practice of single family residential architectural design. This study is a report of an educational experiment carried out a structural discipline Course in Architecture and Urbanism. In the course were conducted theoretical and expository explanations, case studies, field visits, examples of design strategies, collective and individual advisory services, among other actions, emphasizing to students the importance of environmental values and environmental comfort in the architectural design of a single-family residence. The results indicated that some of the project proposals developed by students not assigned due attention to the maintenance of existing vegetation on the ground, control of excess sun in the openings, the application of natural cross ventilation, and misidentification of correct solar orientation on the facades. However the physical and environmental values as adaptation to topography, use of visual / landscape, were the best architecture design

[1] BOGO; Amilcar; PEIXER, Keila; KOBALL, Daniela. Valores Ambientais no Projeto Arquitetônico: relato de uma disciplina de projeto integrado de Arquitetura e Conforto Ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

response. As integrated project teaching exercise, realized to improvements in attention to environmental values and environmental comfort in the architectural design process, when compared to subjects without effective connections with other requirements or areas / architecture disciplines.

***Keywords**: Teaching. Architectural Design. Environmental comfort.*

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de um projeto de arquitetura, interagem diferentes informações e conhecimentos, que contribuem para uma síntese formal representada pela edificação projetada. Aspectos legais, programáticos, custos, funcionalidade, conforto ambiental, técnicas e sistemas construtivos, além de valores estéticos e culturais são algumas das informações no desenvolvimento de uma proposta arquitetônica.

Na prática cotidiana de projeto de arquitetura, por diversos motivos, parte destas informações não são geradas, são negligenciadas a partir de uma postura projetual reducionista, visando menor complexidade do projeto, resumindo-se ao atendimento de aspectos como requisitos legais, programa de necessidades, custos, funcionalidade, morfologia e estética. Neste sentido, questões como relação da edificação com a natureza, clima local e o conforto ambiental dos usuários, são abordadas de forma simplória ou não tratadas como importantes para o projeto.

Neste artigo é apresentado o relato de uma experiência didática que denota uma avaliação da importância atribuída aos valores ambientais no desenvolvimento de projeto de arquitetura para uma habitação unifamiliar, realizado pelos estudantes da quarta fase do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Regional de Blumenau - FURB, disciplina esta que tem como base a integração entre Projeto de Arquitetura e Conforto Ambiental.

As abordagens de projeto de arquitetura e sua relação com a natureza tem origens há tempos remotos, desde a arquitetura vernacular adaptada ao meio físico-climático ao qual se inseria, até a consideração de aspectos de conforto ambiental no processo de arquitetura oficial, como as premissas vitruvianas de projeto relacionadas ao clima (DEL RIO, 2000; THE EUROPEAN COMMISSION, 1999).

No entanto, em certo momento histórico e em algumas posturas e linguagens arquitetônicas, a relação edifício, natureza e clima foi desconsiderada, focando o projeto de arquitetura em abordagens funcionais, morfológicas e estéticas.

No resgate de uma relação edificação e clima, conforto ambiental e natureza, surgiram linguagens e expressões arquitetônicas como arquitetura orgânica (HOFFMANN, 1995), bioclimática (CAMOUS e WATSON, 1986; IZARD, 1983; OLGYAY, 1998; SERRA, 1989), solar (LACOMBA e FERREIRO, 1991; MAZRIA, 1985), verde (CROSBIE, 1994), ecológica (BUTERA, 2009; COSTA, 1982; GAUZIN-MÜLLER, 2002) e atualmente, arquitetura sustentável (REYES, 2007; KEELER et al 2010; ROAF et al, 2014).

A própria existência destas denominações denota que existe uma outra arquitetura, com pouca relação com a natureza, o clima e o conforto ambiental.

Desde o final do século passado e mais intensamente agora no século XXI, como a agenda da sociedade reconhece os valores ambientais como inerentes a esta sociedade atual, aumentaram as preocupações com uma arquitetura focada no respeito à natureza, numa boa relação com o clima e com atenção ao conforto ambiental dos usuários.

Sobre a integração do conforto ambiental no projeto de arquitetura, Bogo (1999) em um trabalho acerca de um Parecer de Conforto Ambiental no Projeto de Arquitetura em desenvolvimento no Trabalho de Conclusão – TCC de Curso de Arquitetura e Urbanismo, identificou como os principais problemas nos projetos os referentes a falta de proteção solar nas aberturas (56 %), a adequação da ventilação e iluminação natural em sanitários (7,3 %), a redução dos ganhos de calor solar em coberturas zenitais (5,7 %), a melhoria da ventilação natural para resfriamento e requisitos higiênicos (5,7 %), a adoção de proteção contra o vento e/ou chuva de inverno (3,2 %), dentre outras mais.

Neste sentido, também no ensino fala-se atualmente em projeto integrado, que busca um equilíbrio intenso entre as variáveis do projeto, a fim de obter uma edificação sustentável, orientando a tomada de decisões referente ao conforto ambiental térmico, a utilização dos recursos naturais e à qualidade ambiental (KEELER et al 2010).

2 METODOLOGIA

Os projetos foram desenvolvidos em duplas ou individuais, em regime de Ateliê de Projeto Integrado de Arquitetura e Conforto Ambiental, sob a orientação de três professores arquitetos, sob a temática habitação e meio ambiente, com um projeto de uma residência unifamiliar com boas relações com a natureza, clima e conforto ambiental, entre outros quesitos.

Entre os professores, somente um possui pós-graduação (doutorado) na área de conforto ambiental, ficando a seu encargo aquelas abordagens de projeto de arquitetura com relação ao meio ambiente, além das demais de projeto. Os demais professores, com sensibilidade ao tema habitação e meio ambiente, procuraram ratificar estas abordagens de projeto e meio ambiente.

Cabe destacar que o professor arquiteto com doutorado na área de conforto ambiental, também atua na disciplina integrada de Conforto Ambiental Térmico, da mesma fase.

Considerando que cada resposta é única e corresponde à um único lugar, associado à um determinado perfil de usuários, buscou-se orientar os alunos para que suas escolhas fossem conscientes acerca das consequências de seus projetos sobre seus usuários, seu entorno próximo e, enfim sobre o

sistema ecológico global e também sobre os recursos à nossa disposição e gerações futuras (JOURDA, 2013).

Neste sentido, entende-se que para ser ambientalmente sustentável as propostas deveriam ser adaptadas ao clima local, terreno e entorno, além das características e peculiaridades dos usuários. De acordo com Roaf et al (2014) a compreensão da relação dinâmica desta tríplice, possibilita alcançar propostas que garantem o conforto de uma edificação, que respeita o local de implantação e o baixo consumo de energia.

O desenvolvimento das propostas de projeto de arquitetura contemplou análises de contexto urbano, de contexto físico-climático-ambiental, estudos iniciais (programa de necessidades, pré-dimensionamento, fluxograma), premissas bioclimáticas e sustentáveis, partido geral arquitetônico, estudo preliminar e anteprojeto final.

Na parte do contexto físico-climático-ambiental, foi realizado visita ao terreno, visando percepção do local e sensibilização quanto as peculiaridades do lugar. Nesta análise, foram considerados os elementos naturais do local segundo Snyder e Catanese (1984), no caso: clima, vegetação, topografia, solo, águas e vida animal.

A partir de explicações orais-expositivas, assessorias e análise de estudo de casos, apresentou-se aos estudantes um conjunto de práticas projetuais que deveriam ser experimentadas nas suas propostas. As mesmas fazem parte do processo de projeto de arquitetura, no caso identificadas como premissas bioclimáticas e sustentáveis, adiante identificadas:

- Ambiência urbana/sociabilidade: projetar espaços de convivência entre o público e o privado, com alargamento de passeios, refúgios, micro-praças, acessos recuados, etc.
- Humanização: a prioridade deve ser do pedestre, depois ciclista, depois transporte público e em último lugar do automóvel (em percursos curtos, de baixa velocidade);
- Topografia: aproveitamento da topografia natural do terreno, evitando cortes, aterros;
- Vegetação: aproveitar a vegetação arbórea existente e prever recuperação da mesma em outras áreas, principalmente no topo de morros, encostas íngremes, fundos de vale, áreas ao longo de cursos de águas;
- Permeabilidade do solo: reduzir áreas pavimentadas, implantando gramíneas, forrageiras, arbustos e árvores nas demais áreas;
- Visuais/paisagem: explorar as melhores visuais e/ou paisagens;
- Orientação solar: aproveitar a insolação benéfica das primeiras horas da manhã (até aproximadamente 9h) e proteger da insolação nas horas quentes (manhã e tarde);

- Controle do excesso de sol: projetar Elementos de Controle Solar (ECS) tipo móveis (venezianas, persianas externas, painéis opacos, painéis perfurados, etc) e/ou móveis e fixos (beiral, varanda, sacada, marquise, brises, treliçados, elementos vazados, etc);
- Ventilação: maximizar a ventilação natural a partir da ventilação cruzada (horizontal) em ambientes com duas janelas e por efeito chaminé (vertical) em ambientes abertos tipo mezanino, caixa de escada, etc;
- Tratamento paisagístico**:** trabalhar com gramíneas, forrageiras, arbustos e árvores, privilegiando espécies nativas, recompondo paisagens naturais, alternado áreas sombreadas e expostas ao Sol.

Na parte do controle do excesso de Sol nas aberturas, foram desenvolvidos estudo de casos mostrando a diversidade tipológica e geométrica possível, em linguagens arquitetônicas das mais diversas, no sentido de criar um repertório arquitetônico para os alunos.

Foram apresentados 17 tipos de ECS, móveis e fixos, com possibilidade de uso nos projetos: marquise; persiana externa; veneziana; pergolado; beiral; brise vertical; sacada; elemento vazado; brise horizontal; laje em balanço; telas/toldos brise conjugado (horizontal e vertical); treliçado; painel opaco; varanda; grelha; painel perfurado.

Junto a isto, foram definidos um conjunto de critérios de avaliação para o desenvolvimento das propostas de projeto de arquitetura a ser desenvolvidas pelos estudantes, com base nas Premissas Bioclimáticas e Sustentáveis.

Objetivamente, nos critérios ambientais de avaliação, foram definidos a atenção do projeto de arquitetura quanto a:

- Adaptação à topografia, com cortes de até 1,5 metros;
- Adaptação à vegetação local existente, com identificação das árvores existentes no terreno;
- Orientação solar dos ambientes (layout dos setores íntimo, social e serviço) visando melhor insolação;
- Controle do excesso de Sol nos ambientes com uso de ECS nas aberturas;
- Ventilação natural cruzada nos ambientes de permanência, cozinha e banheiros;
- Aproveitamento dos visuais, da paisagem natural;
- Proteção contra chuva e vento para as fachadas;
- Identificação da orientação solar além da identificação de cada fachada, de acordo com a orientação solar.

As trinta e uma propostas de projeto de arquitetura realizadas em duplas e individual, foram desenvolvidas para um terreno em declive (15 x 30 m), com aproximadamente 450,00 m², localizado em uma rua residencial sem saída, em bairro próximo ao centro da cidade (2,5 km), numa altitude média de 40 metros.

Este terreno para o desenvolvimento do projeto residencial, foi escolhido pela situação topográfica (declive) e pela presença de árvores remanescentes (massa arbórea junto a metade para os fundos), além de visuais urbanos interessantes.

O programa de necessidades previsto definia uma área construída de aproximadamente 120,00 a 150,00 m², com taxa de ocupação de 60%, coeficiente de aproveitamento igual 1,2, recuo frontal de 4 metros, conforme a legislação municipal.

Na parte de atenção ao conforto ambiental no projeto com relação ao clima local, foram apresentados os dados caracterizadores desta questão, como adiante citados:

O clima de Santa Catarina é definido segundo Köppen como Mesotérmico (C), úmido (f), de verão quente (a) encontrado no litoral, vales e Oeste; e de verão fresco (b), nas zonas mais elevadas da serra e do planalto. Assim, predominam no estado os climas Cfa - com verão quente e Cfb - com verão fresco (SANTA CATARINA, 1991).

Segundo a NBR 15220-3: Norma Brasileira sobre Desempenho Térmico de Edificações, no documento Parte 3 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, Blumenau se enquadra na Zona Bioclimática 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Logo, para Blumenau, localizada no centro do Vale do Itajaí, numa altitude de 21 m e a cerca de 60 km do litoral, temos o tipo climático Cfa - Mesotérmico úmido com verão quente (BOGO, 2014).

O rigor térmico de dia e noite com base na aplicação das Tabelas de Mahoney para a cidade é adiante apresentado na tabela 1, identificando segundo Bogo (2014) um rigor térmico diurno de 6 períodos anuais de calor (Q).

Tabela 1– Rigor térmico segundo a Tabelas de Mahoney para Blumenau

MESES	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Dia	Q	Q	Q	Q/C	C	C	C	C	C	Q/C	Q	Q
Noite	Q/C	Q/C	Q/C	C	F	F	F	F	F	F/C	Q/C	Q/C

Fonte: Bogo (2014)

Também na disciplina integrada (Conforto Ambiental Térmico) com a de Projeto Integrado, foram apresentadas as exigências da norma brasileira NBR 1520-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), acerca do tema.

No que se refere a Zona Bioclimática 3 que inclui Blumenau, temos as seguintes informações quanto:

- As diretrizes construtivas:

  - Sombreamento das aberturas;

- Aberturas médias para ventilação;
- Cobertura leve e isolada;
- Permitir Sol durante o período frio;
- Paredes externas leve e isolada.

- Estratégias de condicionamento térmico passivo:
  - Verão: Ventilação cruzada;
  - Inverno: Aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica).

De acordo com Bogo (2014), temos na tabela 2 adiante os seguintes dados de Blumenau:

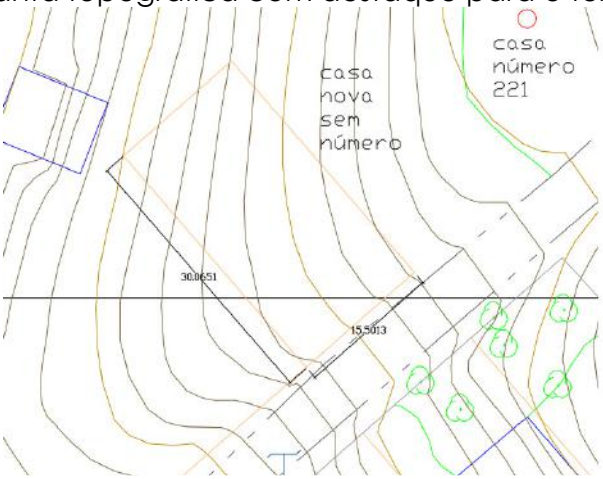
Tabela 2 – Dados de Blumenau

Rigor Climático: Q (calor) | F (Frio) **12 períodos do ano**			12 Q
Altitude (m)			21
Temperatura anual do ar (°C)	Média		20,10
	Máxima absoluta		37,80
	Mínima absoluta		4,50
	Média Máxima		27,00
	Média Mínima		16,10
Umidade Relativa do Ar **Média Anual (%)**			84
Insolação Média **(horas/mês)**	Verão (dezembro)		161
	Inverno (junho)		123
Ventos	Velocidade e Média Anual	m/s	1,18
		Km/h	4,26
	Direção Dominante	1º	NE (2)
		2º	----
Chuvas Média Anual (mm)			1.459

Fonte: Bogo (2014)

Sobre a caracterização física do local do projeto desenvolvido, adiante nas figuras 1, 2 e 3 são apresentadas respectivamente a planta topográfica do terreno, a rua em aclive, sem saída (Rua Herman Eckelberg, bairro Vila Nova), com uso residencial unifamiliar predominante, a vista área do terreno e entormo imediato e vista lateral do terreno, sentido NE.

Figura 1 –Planta topográfica com destaque para o terreno (15 x 30 m)



Fonte: Prefeitura Municipal de Blumenau (2013)

Figura 2 –Imagem aérea com destaque para o terreno e entorno com vegetação remanescente



Fonte: Google Maps (2013)

Figura 3 – Vista do terreno a partir da parte lateral para sentido NE e vegetação arbórea no lado esquerdo da foto



Fonte: acervo dos autores (2013)

O programa e a legislação conduziram a propostas com possibilidades de menor ocupação no terreno, maior aproveitamento dos atributos naturais do local, como vegetação existente, insolação, ventos, visuais, topografia natural, entre outros.

3 RESULTADOS

Os principais resultados desta avaliação identificaram as seguintes situações para cada um dos critérios ambientais de projeto:

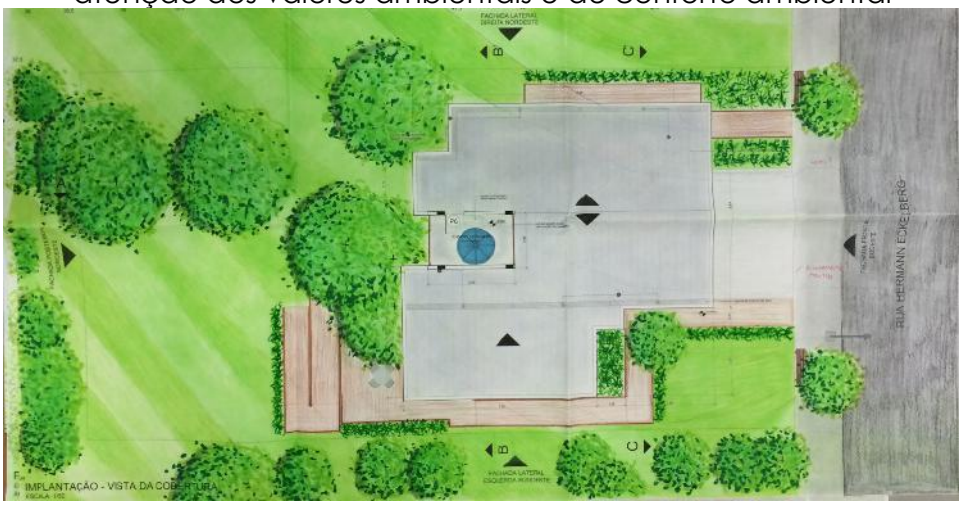
- Adaptação à topografia, com cortes de até 1,5m: 84% trabalhos seguiram esta diretriz; os demais 16%, trabalharam com cortes/aterros da ordem de 2 m;
- Adaptação à vegetação local existente, com identificação das árvores existentes no terreno: existiam 7 árvores no local. Os projetos apresentados identificaram um número diferente do existente, desde 3 até 7 árvores, inclusive em locações diferentes da existente no local. 57% trabalhos identificaram 6 árvores, numa situação majoritária das propostas; 10% dos trabalhos identificaram apenas 3 árvores e 19% apenas 4 árvores. No entanto, em 14% trabalhos, além da vegetação existente, foi previsto ampliação da arborização no terreno, com 10 a 15 árvores;
- Orientação solar dos ambientes: 38% dos 31 trabalhos seguiram esta diretriz com maior eficiência, com setor íntimo com aberturas voltadas para a insolação matutina. Outros 62% dos trabalhos apresentaram situações parciais, com alguns destes ambientes do setor íntimo em orientações solares variáveis, em situações de admissão excessiva de calor solar nas fachadas (ambientes mais quentes), mesmo com a adoção de algum tipo de proteção solar.
- Controle do excesso de Sol nos ambientes com uso de ECS nas aberturas (móveis e fixos): 42% dos trabalhos seguiram esta diretriz adequadamente.

Entretanto 58% dos trabalhos não projetaram aberturas com ECS para quartos, salas, escritórios e similares.

- Dos dezessete tipos de ECS, móveis e fixos apresentados aos estudantes nas explicações e assessorias, os mais adotados nos projetos foram as persianas externas, venezianas, brises diversos, marquises, varandas ou sacadas e elementos vazados, ou seja, apenas uma parte da diversidade tipológica existente.
- Ventilação natural: as propostas de projeto englobavam cerca de 10 ambientes internos na residência unifamiliar. Apenas em 33% das propostas de projeto foi previsto a ventilação natural cruzada para um mínimo de 5 ambientes ou mais. Em 67% das propostas foi prevista ventilação natural em apenas 1 a 3 ambientes;
- Aproveitamento dos visuais, da paisagem natural: 97% dos trabalhos seguiram esta diretriz, a partir da exploração do visual/paisagem interessante para os fundos do terreno;
- Proteção contra chuva e vento para as fachadas: 58% trabalhos seguiram este critério em grande parte. Outra parte (42%)seguiram uma estética despojada da arquitetura contemporânea, sem marquises, beirais, varandas, sacadas, com potenciais problemas futuros de patologias construtivas nas paredes;
- Identificação da orientação solar nas fachadas do projeto: 46% das propostas identificaram as orientações solares de forma incorreta seja para uma ou mais fachadas.

Adiante são apresentadas nas figuras 4, 5 e 6 imagens referentes aos projetos desenvolvidos com atenção para os valores ambientais e de conforto ambiental.

Figura 4 – Planta de implantação de uma das residências projetadas com maior atenção aos valores ambientais e de conforto ambiental



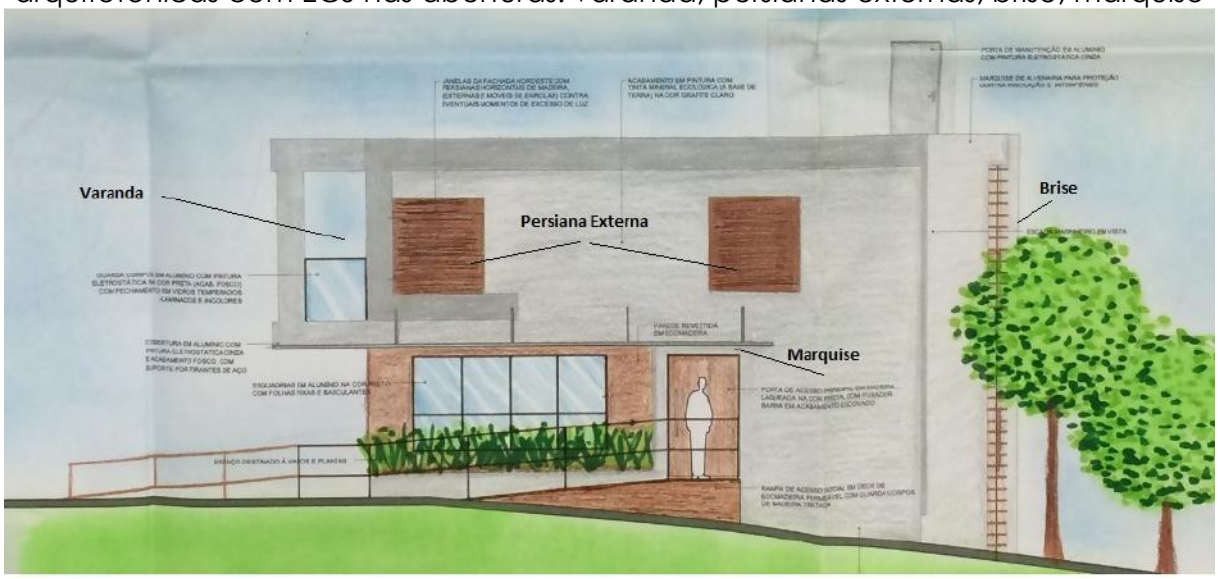
Fonte: acervo dos autores (2013)

Figura 5 – Planta de implantação, com destaque para área de lazer (deck e piscina) voltados para os fundos do terreno com a vegetação existente



Fonte: acervo dos autores (2013)

Figura 6 – Fachada Lateral Nordeste de uma residência projetada com soluções arquitetônicas com ECS nas aberturas: varanda, persianas externas, brise, marquise



Fonte: acervo dos autores (2013)

4 CONCLUSÕES

Referente à importância atribuída aos valores ambientais e de conforto ambiental no desenvolvimento de projeto de arquitetura residencial unifamiliar, observou-se que uma parte das propostas desenvolvidas pelos alunos não atribuíram a devida importância para a presença de vegetação no terreno.

Também observou-se problemas relacionados ao controle do excesso de Sol nos projetos, seja com aberturas em ambientes de permanência voltadas

para situações de calor solar vespertino ou ausência de ECS do tipo móveis para as aberturas.

Quanto ao controle solar nas aberturas, observou-se reduzida aplicação por parte dos alunos do uso de ECS móveis, como venezianas, persianas externas, mesmo sendo estes tipos com flexibilidade para melhor atender as necessidades de verão e inverno. Já ECS fixos do tipo marquises, varandas/sacadas, elementos vazados, são aceitos pelos alunos com maior facilidade, visto que muitas vezes estão contemplados no programa de necessidades do projeto.

A ventilação natural cruzada não foi implementada adequadamente na maioria dos trabalhos, para grande parte dos ambientes; erros de identificação da correta orientação solar das fachadas também ocorreram em boa parte dos trabalhos, refletindo falta de compreensão dos fenômenos de insolação sobre o terreno.

Valores físico-ambientais como adaptação a topografia, aproveitamento das visuais/paisagem, foram os de melhor resposta de projeto de arquitetura. No que se refere a topografia, em vista de constantes desastres naturais relacionadas a chuva e deslizamentos na região e na cidade de Blumenau parece haver maior compreensão das preocupações neste sentido.

Como exercício de ensino de Projeto Integrado de Arquitetura, percebeu-se melhorias na atenção aos valores ambientais (e de conforto ambiental) no processo de concepção de projeto, quando comparado com disciplinas de ensino de pojeto isoladas, sem conexões efetivas com outras exigências da arquitetura.

Uma das estratégias-chave para a integração dos conteúdos de conforto ambiental na prática projetual do ensino reside na figura de um professor arquiteto, com formação aprofundada em conforto ambiental e atuação tanto na disciplina de Conforto como na de Projeto Integrado. Esta situação é fundamental, visto que a formação do professor que muitas vezes ministra a disciplina de projeto está restrita a teoria da arquitetura e da forma, deixando de lado questões de conforto ambiental, essenciais no processo de concepção do projeto. Com a incorporação dos requisitos ambientais e de conforto, aumenta a complexidade do projeto de arquitetura, numa tendência de desejo de simplificação por parte do aluno, em situação contrária ao aprimoramento do projeto visando o atendimento das questões ambientais e de projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BOGO, A. J. **Clima e arquitetura em Blumenau**. Blumenau: FURB, Laboratório de Conforto Ambiental, 2014. 48 p, il.

BOGO, A. J. **Uma Experiência de Integração Disciplinar em Trabalhos de Conclusão de Curso de Arquitetura e Urbanismo: Parecer de Conforto Ambiental no Projeto Arquitetônico.** In: II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza CE. II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999.

BUTERA, F. M. **Da caverna à casa ecológica: história do conforto e da energia**.1. ed. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2009. 319 p, il.

CAMOUS, R.; WATSON, D. **El habitat bioclimatico: de la concepcion a la construccion**. Naucalpan: G. Gili, 1986. 159 p, il. (Alternativas). Tradução de: Lïhabitat Biochimatique.

COSTA, E. C. da. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: E. Blucher, c1982. 264, [1]p, il.

CROSBIE, M. J. **Green architecture: a guide to sustainable design**. Rockport: Rockport Publishers, c1994. 187p, il.

DEL RIO, V.. **A criatividade e os ventos dominantes na arquitetura**. Dynamis: revista tecno-científica, Blumenau, v. 8, n. 32 - parte I, p. 87-108, jul./set. 2000.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Arquitectura ecológica**. Barcelona: GG, 2002. 286p, il.

HOFFMANN, D. .**Understanding Frank Lloyd Wright's Architecture**. Dover Publications Inc., 1995.

IZARD, J. **Arquitectura bioclimática**. 2. ed. Mexico: G. Gili, 1983. 191p, il. (Construccion alternativa: Tecnologia y arquitectura). Título original : Archi bio.

JOURDA, F. **Pequeno manual do projeto sustentável**. São Paulo: Gustavo Gilli, 2013.

KEELER, M.; BILL, B.. **Fundamentos de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

LACOMBA, R.; FERREIRO, H. **Manual de arquitectura solar**. Mexico: Trillas, 1991. 292 p, il.

MAZRIA, E. **El libro de la energia solar pasiva**. 2. ed. Mexico, D. F : G. Gili, 1985. 368 p, il. (Tecnologia y arquitectura). Tradução de: The passive solar energy book.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseno bioclimatico para arquitectos y urbanistas**. Barcelona : G. Gili, 1998. 203p, il. Traducao de: Design with climate.

REYES, C; BARAONA P. E.; PIRILLO, C. **Arquitectura sostenible**. Valencia: Pencil, 2007. 357 p, il.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS-REES, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SANTA CATARINA. [1991]. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Florianópolis. SEPLAN, 135 p.

SERRA, R. **Clima, lugar y arquitectura**. [s.l] : Gala, [1989]. vii, 119p, il.

SNYDER, J. C; CATANESE, A. J. **Introdução à arquitetura**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 422p, il.

THE EUROPEAN COMMISSION; ARCHITECTS COUNCIL OF EUROPE; ENERGY RESEARCH GROUP. **A green Vitruvius: principles and practice of sustainable architectural design**. London : James E James, 1999. 145p, il.

WRIGHT, F. ; FUTAGAWA, Y.; PFEIFFER, B. B. **Frank Lloyd Wright: selected houses**. Tokyo: A.D.A. Edita, 1991. 8v, il.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DO RTQ-C QUANTO A VARIAÇÃO DA DENSIDADE DE CARGA INTERNA DE EDIFICAÇÕES DE ESCRITÓRIOS NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS 1, 2 E 3[1]

RUZICKI, Silvia(1); DUARTE, Carolina(2); BRANDALISE, Mariane(3); GRALA, Eduardo(4)

(1) UFPEL/LABCEE, e-mail: silvia-ruzicki@hotmail.com; (2) UFPEL/LABCEE, e-mail: carolinademesquitaduarte@hotmail.com; (3) UFPEL/LABCEE, e-mail: marianebrandalise@yahoo.com.br; (4) UFPEL/LABCEE, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

Questões de eficiência energética em edificações são debatidas mundialmente há décadas. No Brasil, observando o nível de eficiência energética das edificações, foi publicado em 2009 o RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Essa pesquisa tem como objetivo identificar a sensibilidade do RTQ-C à variação de densidade de carga interna de equipamentos, avaliando o desempenho energético da envoltória dos edifícios de escritórios na zona bioclimática 1, 2 e 3. O método foi dividido em cinco etapas: definição dos modelos de análise; caracterização das densidades de carga interna utilizadas, de acordo com a NBR 16401 (ABNT, 2008) e ASHRAE Fundamentals (2009); determinação das características da envoltória dos modelos de acordo com os níveis de eficiência A, B e C do RTQ-C; determinação do consumo energético dos modelos utilizando o software *DesignBuilder*; análise dos resultados. Estes, demostraram que edificações com envoltória de nível B, apresentam consumo menor do que edificações com envoltória nível A. E que conforme a zona bioclimática, edificações com elevada DCI e fator de forma máximo, com paredes e coberturas menos isoladas, apresentam consumo energético inferior a edificações com envoltória de maior resistência térmica.

Palavras-chave: RTQ-C. Densidade de Carga Interna. Edifícios de Escritórios.

ABSTRACT

Aspects about Energy Efficiency of the buildings are discussed in world wide about decades. In Brazil, observing the energy efficiency level of the buildings, it was published in 2009 the RTQ-C (Technical Requirements of Quality for the energy efficiency Level of Commercial Buildings). This work has as main objective to identify the RTQ-C sensibility to the variation of internal load density of equipments in the evaluation of the energy performance of office buildings envelope in Bioclimatic Zones 1, 2 and 3 of the Brazilian Bioclimatic zoning. For that, the research was divided into five stages: analysis models definitions, internal load density characterization, models envelope characteristics definition, according to RTQ-C pre requirements, definition of the models energy consumption using DesignBuilder software, energy comsumption performance comparison of the analyzed models. The results showed that the envelop with level "B" presents lower consumption than the envelop with level "A". It

[1] RUZICKI, Silvia et al. Análise da sensibilidade do RTQ-C quanto a variação da densidade de carga interna de edificações de escritórios nas zonas bioclimáticas brasileiras 1, 2 e 3. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

is also concluded that as the bioclimatic zone, buildings with high internal load density and maximum shape factor, with walls and roofs less insulated, presents low energy comsumption in comparison with buildings with more insulated.

Keywords: RTQ-C. *Office building. Equipment load density. Energy modeling.*

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil no Brasil cresceu muito nos últimos anos, o que estimulou a competitividade do mercado, e consequentemente aumentou o investimento em soluções inovadoras e eficazes, principalmente para as questões energéticas, que buscam reduzir os impactos ambientais através do uso eficiente da energia.

Atualmente no Brasil, os dois principais regulamentos na área da eficiência energética de edificações são o RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, de 2009, e o RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, de 2010.

Para edifícios de escritórios, o RTQ-C considera o nível A o mais eficiente, pois de acordo com a transmitância térmica das paredes e coberturas para este nível, sua envoltória possui uma maior resistência térmica. No entanto, o regulamento não considera a variação de densidade de carga interna da edificação, que segundo alguns estudos demonstraram, em edifícios de escritórios, são variáveis que influenciam de forma considerável o desempenho termoenérgetico da envoltória.

Segundo Westphal (2007), para um modelo de edifício de escritório na cidade de Curitiba, com a densidade de carga interna de 20 W/m², baixa absortância superficial externa, e padrão de uso de 8h/dia, o aumento da transmitância térmica, aumenta o consumo de energia elétrica em climatização. No entanto, quando se aumenta essa densidade de carga interna para 50 W/m², o aumento da transmitância térmica, reduz o consumo de energia elétrica em climatização.

E ainda, de acordo com o estudo realizado por Chvatal (2007), em climas tropicais, no verão, em edifícios comerciais, o desconforto é grande, pois os ganhos solares máximos somados a densidade de carga interna, pessoas e equipamentos, resultam em altos ganhos internos. Isso porque esses edifícios apresentam uma envoltória muito isolada, que não permite que os ganhos elevados de calor se dissipem.

Por perceber nesses estudos a influência da densidade de carga interna (DCI) no desempenho das edificações, e por avaliar que o RTQ-C não considera essa variável ao avaliar apenas com a DCI de 25W/m², no desenvolvimento da equação de regressão linear, julgou-se importante um estudo mais aprofundado. Na intenção de avaliar a eficiência das envoltórias em relação a densidade de carga interna nas zonas bioclimáticas brasileiras 1, 2 e 3, e verificar a influencia de climas mais frios e mais aproximados na avaliação da eficiência da envoltória em relação a sua transmitância térmica.

2 MÉTODO

O método, já utilizado em Brandalise et al. (2014), está dividido em cinco etapas: Definição dos modelos de análise; caracterização da densidade de carga interna de equipamentos (DCI) a serem utilizadas na configuração dos modelos; determinação das características da envoltória dos modelos de análise conforme o RTQ-C, determinação do desempenho energético dos modelos avaliados e comparação do consumo dos edifícios com envoltória nível A, B e C de diferentes densidades de carga interna.

2.1 Definição dos modelos de análise

Para melhor compreender o estudo, foram definidos cinco modelos de análise. O primeiro analisado foi definido com base no estudo desenvolvido por Carlo (2008). Carlo observou, através de um estudo em cinco cidades brasileiras, a presença de volumetrias típicas na paisagem urbana para algumas atividades comerciais. A partir desse levantamento, gerou um modelo representativo para cada atividade. O primeiro modelo definido foi identificado por Carlo como grandes escritórios e caracterizado como edificação vertical, área de pavimento tipo menor que 500m², com 5 pavimentos, forma retangular, dimensão de 27m de comprimento, 7,8m de largura e 15m de altura. A Figura 1 ilustra o modelo grandes escritórios.

Figura 1. Modelo 1- Grandes Escritórios



Fonte: Brandalise et al.2014

Os demais modelos analisados foram determinados conforme as equações do RTQ-C. O regulamento limita Fator de Forma mínimo para áreas de projeção maiores que 500m², e Fator de Forma máximo para áreas de projeção menores que 500m², conforme a zona bioclimática (Tabela 1). O Fator de Forma é determinado pela razão entre a área de envoltória e o volume total da edificação.

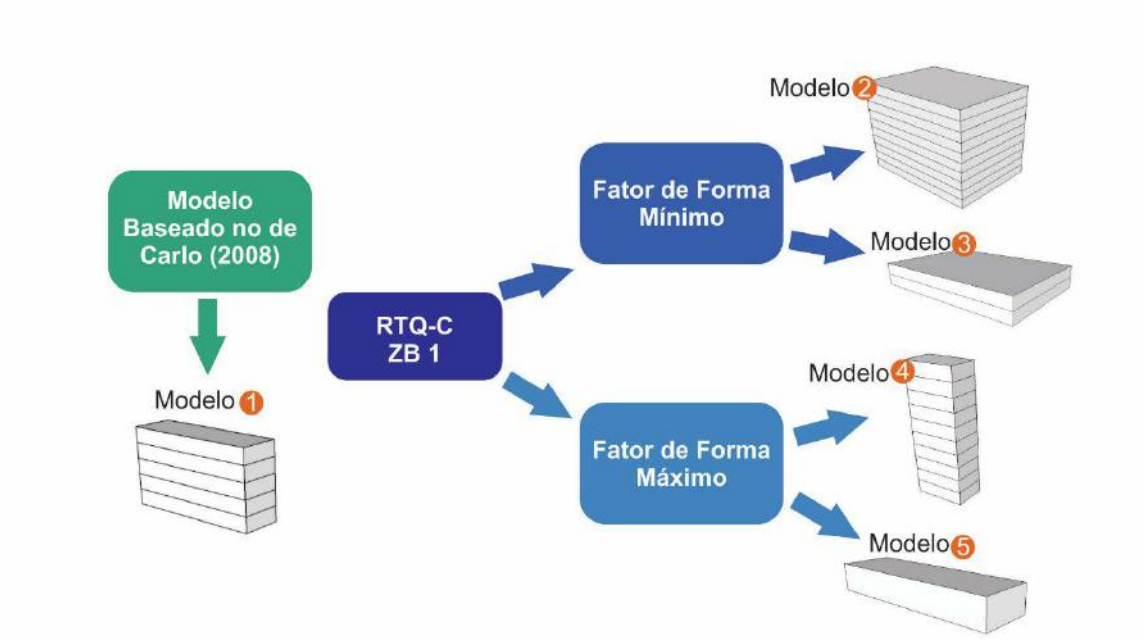
Tabela 1: Fator de Forma Máximo e Mínimo de acordo com a zona bioclimática

Fator de Forma/área de projeção	Zona bioclimática 1	2	3
Fator de Forma Mínimo (Ape > 500m²)	0,17	0,15	0,15
Fator de Forma Máximo (Ape ≤500m²)	0,60	0,70	0,70

Fonte: Autor

Foram definidos dois modelos para cada Fator de Forma mínimo e máximo, afim de analisar as diferenças entre a maior área de cobertura e paredes, conforme mostra a Figura 2, usando como exemplo a zona bioclimática 1. Assim, os modelos 2 e 3, com Fator de Forma mínimo, apresentam 10 e 2 pavimentos, respectivamente e os modelos 4 e 5, com Fator de Forma máximo, possuem 10 e 1 pavimentos, respectivamente. Desta forma, para cada zona bioclimática foram analisados 5 modelos com diferentes volumetrias como pode ser observada nas Tabelas 2 e 3.

Figura 1: Esquema dos modelos de análise



Fonte: Brandalise et al.2014

Tabela 2: Características da volumetria dos modelos baseados no RTQ-C para zona bioclimática 1

Variáveis	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Dimensão	35,00m x 25,00m	70,00m x 45,00m	10,00m x 6,00m	27,00m x 7,50m
Altura	30,00m	10,00m	30,00m	4,00m
Área por pavimento	875m²	3.150m²	60m	211m²
Área total	8.750m²	6.300m²	600m²	211m²
Fator Forma	0,17	0,17	0,60	0,60
Fator Altura	0,10	0,50	0,10	1,00
Número de pavimentos	10	2	10	1

Fonte: Autor

Tabela 3: Características da volumetria dos modelos baseados no RTQ-C para as zonas bioclimáticas 2 e 3

Variáveis	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Dimensão	40,00m x 30,00m	85,00m x 70,00m	8,00m x 4,70m	15,00m x 6,20m
Altura	30,00m	11,90m	30,00m	4,00m
Área por pavimento	1.179,784m²	5.910m²	34,001m²	86,936m²
Área total	11.797,84m²	11.820m²	340,01m²	86,936m²
Fator Forma	0,15	0,15	0,70	0,70
Fator Altura	0,10	0,50	0,10	1,00
Número de pavimentos	10	2	10	1

Fonte: Autor

2.2 Caracterização da Densidade de Carga interna a ser utilizada na configuração dos modelos

A densidade de carga interna (DCI) é definida pela soma dos três fatores que mais geram calor na edificação, como: iluminação, equipamentos elétricos e pessoas. O sistema de iluminação foi configurado com densidade de potência de iluminação de 10W/m². O RTQ-C classifica nível A o sistema de iluminação para edifícios de escritórios com densidade de potência limite de 9,7 W/m².

A norma ASHRAE Fundamentals (2009), classifica os escritórios em quatro tipos de DCI de equipamentos. Analisou-se apenas dois tipos de densidade, a média e a alta, uma vez que a baixa é possui atual configuração do RTQ-C. A Tabela 4 caracteriza os valores adotados de acordo com a Norma ASHRAE Fundamentals para a densidade de carga interna de equipamentos, NBR 16.401- Parte 3 para densidade de pessoas, e RTQ-C para a potência de iluminação.

Tabela 4: Caracterização das densidades de carga interna utilizadas nos modelos de análise

Tipo de Escritório	DCI Equipamentos (W/m²)	Densidade de Pessoas (pessoas/m²)	Potência de iluminação (W/m²)	Total (W/m²)
Média densidade	11,00	0,14	10,00	37,70
Alta densidade	21,00	0,20	10,00	54,88

Fonte: Autor

2.3 Determinação das características da envoltória da edificação

De acordo com RTQ-C a transmitância térmica e absortância das paredes externas e coberturas são pré-requisitos específicos da envoltória. Estes, possuem limites para cada zona bioclimática, de acordo com o nível de eficiência energética que se pretende alcançar. Neste estudo, as paredes e coberturas dos modelos foram configurados com as características térmicas conforme os pré-requisitos para zona bioclimática 1, 2 e 3, de acordo com as Tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Características da envoltória para as zonas bioclimáticas 1 e 2

Pré-Requisitos Envoltória	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância Térmica Cobertura (W/m².K)	0,50	1,00	2,00
Transmitância Térmica Parede externa (W/m².K)	1,00	2,00	3,70

Fonte: Autor

Tabela 6: Características da envoltória para a zona bioclimática 3

Pré-Requisitos Envoltória	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância Térmica Cobertura (W/m².K)	1,00	1,50	2,00
Transmitância Térmica Parede externa	3,70	3,70	3,70

Fonte: Autor

O RTQ-C não considera o Percentual de Abertura de Fachada Transparente (PAFT) um pré-requisito da envoltória, por isso calculou-se o PAFT limite para cada nível de eficiência em cada modelo. Assim, utilizou-se a equação do indicador de consumo da envoltória (ICenv) de cada zona bioclimática e a variável PAFT foi isolada na equação, como observa-se na Equação 1, com o exemplo da zona bioclimática 1 (BRANDALISE, 2014).

Equação 1:

$$PAFT<R> = \frac{ICR + 43{,}0.\ FA + 316{,}62.FF - 7{,}29.FS - 132{,}5FA/FF + 77FA.FF - 182{,}66}{16{,}38}$$

onde, ICR = Indicador de consumo do modelo de referencia (adimensional)

FA = Fator altura (Apco/Atot)

FF = Fator de forma (Aenv/Vtot)

PAFT = Percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação)

FS = Fator solar

Apco = Área de projeção da cobertura em (m²)

Aenv = Área da envoltória (m²)

Atot = Area total de piso (m²)

Vtot = Volume total de piso (m³)

Contudo, os modelos foram configurados com um PAFT inicial de 0,05, e sofreram variações de acréscimo de 0,05, até o PAFT limite para cada nível de eficiência.

2.4 Determinação do consumo energético dos modelos com características de acordo com diferentes níveis de eficiência energética do RTQ-C.

O software utilizado para se obter o consumo energético dos modelos com características de acordo com diferentes níveis de eficiência energética do RTQ-C, foi o ***DesignBuilder*** versão 3.0.0.15, onde foram feitas as simulações. O consumo energético analisado é a soma anual do consumo de energia elétrica para condicionamento de ar, lâmpadas e equipamentos. Inicialmente, foi configurado o arquivo climático PR_Curitiba.epw para a cidade de Curitiba (Zona Bioclimática 1), RS_Santa Maria.epw para a cidade de Santa Maria (Zona Bioclimática 2) e SC_Florianópolis.epw, para a cidade de Florianópolis (Zona Bioclimática 3), a fonte dos arquivos utilizados é o LABEEE/UFSC (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). Após a modelagem das edificações no software foram informados os parâmetros utilizados nas simulações, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros utilizados na simulação

Parâmetros	Valores Adotados
Padrão de uso (h/dia) (ocupação, equipamentos e Iluminação). Sábados e domingos não foram considerados como períodos de ocupação	08h0min0 até às 12h00min – 100% 12h00min até às 14h00min – 10% 14h00min até às 18h00min – 100%
Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar (W/W)	3,23/W para aquecimento e resfriamento
Setpoint de aquecimento (°C)	18 °C
Setpoint de resfriamento (°C)	24 °C
Orientação da maior fachada	Norte/ Sul

Fonte: Brandalise et al.2014

2.5 Comparação do consumo dos modelos com envoltória nível A, B e C com diferentes densidades de carga interna de equipamentos

Com os resultados obtidos nas simulações feitas no software *DesignBuilder* foi possível avaliar e comparar o desempenho energético para as diferentes configurações da envoltória de acordo com o RTQ-C. Os resultados são apresentados no item 3, em forma de tabelas com análises comparativas das diversas simulações.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados está divida em três partes, primeiro os resultados da zona bioclimática 1, depois da zona bioclimática 2 e por último da zona bioclimárica 3.

3.1. Zona Bioclimática 1

A tabela 8 apresenta uma síntese dos resultados encontrados para a zona bioclimática 1. De acordo com Brandalise et al. (2014), é válido ressaltar que as envoltórias que atendem ao níveis A, B e C apresentaram pequenas variações no desempenho energético, sendo que os modelo 2 e 3, por apresentarem uma maior área, demonstram uma maior diferença no consumo energético anual.

Tabela 8: Síntese dos resultados para a zona bioclimática 1

Resultados Zona Bioclimática 1											
Modelos	Menor consumo de energia		DCI Média PAFT					DCI Alta PAFT				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Modelo 1 	+	↑	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 2 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 3 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 4 	+	↑	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	C	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 5 	+	↑	A	A				B	B			
	−	↓	C	C				C	A			

LEGENDA:

+ ↑	Modelo com menor consumo energético
− ↓	Modelo com maior consumo energético

Fonte: Autor

3.1.1 Modelo 1

O modelo 1, baseado em Carlo (2008), com DCI de equipamentos média (37,70 W/m²), apresentou para envoltória que atende aos pré-requisitos do nível A consumo energético superior aos demais. Isto se deve pela envoltória ser mais isolada, dificultando a dissipação do calor do meio interno para o externo. Já o modelo nível B obteve menor consumo energético até o percentual de abertura na fachada total (PAFT) 0,15. A partir do PAFT 0,20 a envoltória nível C obteve menor consumo energético, com 0,19% (67 kWh) a menos que o nível B, para resfriamento.

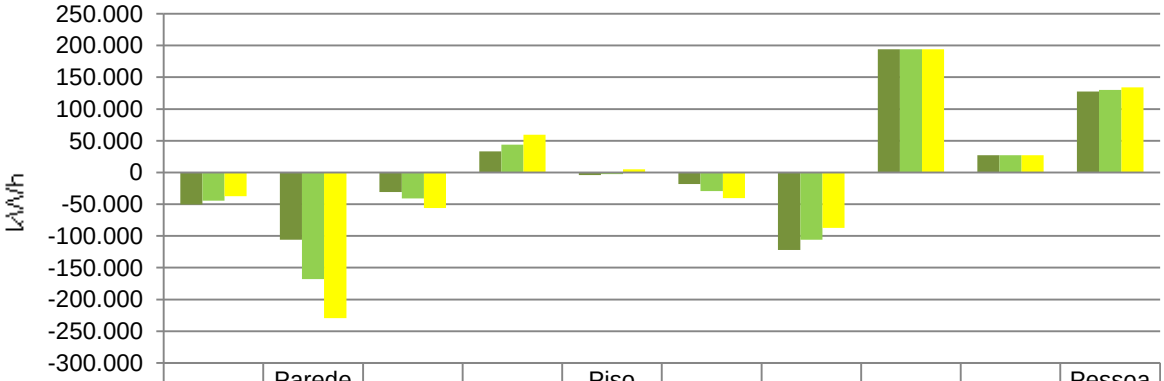
Quanto a influência da DCI nos resultados, percebe-se que na DCI alta (54,88 W/m²) o nível C apresentou menor consumo energético em todos os PAFTs. Com o aumento do calor interno, os edifícios mais isolados, nível A e B, necessitam maior uso do sistema de condicionamento de ar para resfriamento, pela dificuldade que o calor encontra de se dissipar para o meio externo.

3.1.2 Modelos 2 e 3

Nos modelos 2 e 3, o Fator de Forma é mínimo e a área interna é maior se comparado aos demais modelos. A envoltória com maior isolamento térmico, nível A, demonstrou maior consumo de energia elétrica em relação aos modelos com menor isolamento, nível B e C. Nota-se que os exemplares que atendem aos pré-requisitos para o nível C apresentaram melhor desempenho energético nas duas DCI. Na DCI alta as diferenças foram maiores, no modelo 2 com PAFT 0,15. O menor isolamento da envoltória dos exemplares referentes ao nível A para o nível B reduziu o consumo anual de energia em 5,13% (28.920 kWh), e em relação ao nível C apresentou diferença ainda maior de 9,64% (54.260 kWh).

Para um entendimento mais aprofundado, analisou-se o gráfico do fluxo térmico do modelo 2 com DCI alta, uma vez que este apresentou maiores diferenças de desempenho energético entre os níveis. Como a zona bioclimática 1 apresenta grandes variações climáticas entre o inverno e verão, foi realizada uma análise outono e inverno (de 21 de março a 23 de setembro) a fim de observar o comportamento das envoltórias que atendem aos pré requisitos do RTQ-C, e analisar, se mesmo no inverno os modelos nível A sofrem superaquecimento. Assim, ao verificar o fluxo térmico do modelo 2 no outono e inverno (Gráfico 1) observar-se que o exemplar configurado conforme o modelo nível C demonstrou maiores perdas de calor, principalmente pela parede (229.470 kWh). Como na DCI alta o calor gerado internamente é significante, o modelo com menor transmitância térmica, nível A, demonstrou maior consumo energético por necessitar um maior consumo do sistema de condicionamento de ar para resfriamento (56.910 kWh), Tabela 9. Observa-se que mesmo a análise sendo realizada no período outono e inverno, a necessidade de aquecimento dos modelos foi pouco significante, sendo que o envoltória de acordo com o nível A não demonstrou consumo energético para aquecimento, apresentando assim um superquecimento devido a dificuldade que do calor se dissipar para o meio externo.

Gráfico1: Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI alta outono e inverno



	Vidros	Paredes	Forro	piso	Piso térreo	Cob.	Infil.	Equip.	Ilum.	Pessoas
Nível A (kWh)	-50.630	-105.910	-30.850	33.280	-3.870	-18.290	-122.250	193.870	26.940	127.530
Nível B (kWh)	-44.310	-168.130	-40.890	43.900	-2.580	-29.230	-106.050	193.870	26.940	129.800
Nível C (kWh)	-37.320	-229.470	-55.820	59.450	5.220	-40.400	-87.200	193.870	26.940	134.050

Fonte: Brandalise et al.2014

Tabela 9: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	56.910 kWh	56.910 kWh
Nível B	30 kWh	40.320 kWh	40.350 kWh
Nível C	210 kWh	27.800 kWh	28.010 kWh

Fonte: Autor

3.1.3 Modelo 4

Este modelo apresenta um Fator de Forma máximo e dez pavimentos, com DCI média (37,70 W/m²), pode-se observar que no PAFT 0,05, o modelo com envoltória menos isolada, nível C, apresentou o maior consumo energético, uma diferença de 2,45% (459 kWh) a mais que o nível A. A partir do PAFT 0,10, com o aumento de ganhos de calor por radiação, o modelo nível A, começou a consumir mais energia. Os modelos nível A, apresentaram maior consumo energético para resfriamento, consumindo, então, mais energia do que os demais níveis. Enquanto que os exemplares que atendem os pré requisitos do nível B, apresentaram melhor desempenho energético até o PAFT 0,15, devido as temperaturas internas serem mais amenas, não necessitando do uso de ar condicionado para controlar o conforto térmico da edificação. Do PAFT 0,20 em diante, quando aumentaram os ganhos térmicos oriundos da radiação solar direta os modelos nível B, necessitaram maior consumo energético para resfriamento, obtendo maior consumo energético comparado aos modelos nível C.

Com o aumento da DCI, os modelos nível C apresentaram melhor desempenho energético, pois por possuírem maior transmitância térmica,

permitem uma maior troca térmica com o meio externo, permitindo assim, que o calor gerado pelo aumento da DCI dos equipamentos se dissipe mais facilmente para o meio externo, obtendo menor consumo energético para resfriamento. Já os modelos mais isolados, nível A e B, acabam gerando um superaquecimento no interior da edificação, necessitando o uso do condicionamento de ar para resfriamento.

3.1.4 Modelo 5

O modelo 5 em relação ao demais é o que apresenta a menor área, possui Fator de Forma máximo e um pavimento, com DCI média, os exemplares referentes ao nível A, apresentaram menor consumo energético. Já os modelos nível C obtiveram as maiores perdas pelas paredes e coberturas, por apresentaram uma maior transmitância térmica. Assim, por facilitarem maior troca de calor com o meio externo, os modelos nível C apresentaram o maior consumo energético tanto para aquecer quanto para resfriar a edificação, resultando no maior consumo de energia em relação aos demais níveis.

Já na DCI alta, o modelo com PAFT 0,05 do nível C apresentou maior consumo energético que o nível B, devido ao modelo nível C apresentar maior consumo energético para aquecimento. Enquanto que o modelo nível A, obteve maior consumo para resfriamento, pois apresentou as menores perdas de calor pelas paredes e coberturas, deixando o ambiente superaquecido.

3.2 Zona Bioclimática 2

Nessa zona, pode-se verificar que nos modelos 1 e 2 não houve influência nos resultados com a variação da DCI. No entanto nos demais modelos, percebe-se a semelhança dos resultados, o nível C, manteve-se em baixo desempenho energético em todos modelos de DCI média, e em parte da DCI Alta.

Na Tabela 10, pode ser observada uma síntese dos resultados da zona bioclimática 2.

Tabela 10: Síntese dos resultados para a zona bioclimática 2

Resultado Zona Bioclimática 2											
Modelos	Menor consumo de energia		DCI Média PAFT					DCI Alta PAFT				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Modelo 1 	+	↑	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	−	↓	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Modelo 2 	+	↑	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	−	↓	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Modelo 3 	+	↑	A	A	A	B	B	C	C	C	C	C
	−	↓	C	C	C	C	C	A	A	A	B	B
Modelo 4 	+	↑	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
	−	↓	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C
Modelo 5 	+	↑	A	B	B	B	B	B	B	B	B	C
	−	↓	C	C	C	C	C	C	A	A	C	B

LEGENDA:

+ ↑	Modelo com menor consumo energético
− ↓	Modelo com maior consumo energético

Fonte: Autor

3.3 Zona Bioclimática 3

A zona bioclimática 3, que apresenta temperaturas mais elevadas entre as analisadas, a envoltória nível C, na maioria dos modelos foi mais eficiente energeticamente, conforme pode-se observar na tabela 11.

Tabela 11: Síntese dos resultados da zona bioclimática 3

Resultados Zona Bioclimática 3											
Modelos	Consumo de energia		DCI Média					DCI Alta				
			PAFT					PAFT				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Modelo 1 	+	↑	C	B	B	B	B	C	B	B	B	B
	−	↓	A	C	C	C	C	A	C	C	C	C
Modelo 2 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 3 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	A	A	B	B	B	A	A	B	B	B
Modelo 4 	+	↑	A/B/C	A/C	C	B	C	C	C	C	C	C
	−	↓	B	A	A	C	B	A	A	A	B	B
Modelo 5 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	−	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B

LEGENDA:

+ ↑	Modelo com menor consumo energético
− ↓	Modelo com maior consumo energético

Fonte: Autor

4 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, percebeu-se que a densidade de carga interna instalada influencia no desempenho térmico das envoltórias das edificações, e que os níveis de eficiência energética analisados neste trabalho e classificados pelo RTQ-C, como níveis A, B e C, nem sempre correspondem a eficiência desejada. Ou seja, uma edificação com envoltória de acordo

com os pré requisitos do nível A, pode ter um consumo energético maior que a do nível C.

Além disso, notou-se que os modelos com DCI média (37,70W/m²) e envoltória de maior transmitância térmica (3,70 W/m².K) obtiveram um consumo energético maior para aquecimento do seu interior. Pois com DCI média, o número de equipamentos é menor, gerando menos calor e, com a envoltória menos isolada, este tende a se dissipar para o meio externo, neste caso mais frio.

Enquanto, que na DCI alta (54,88 W/m²), com envoltória de menor transmitância térmica (1,00 W/m².K), o consumo energético tende a ser maior pelo uso de ar condicionado para o resfriamento do ambiente, uma vez que esse, fica superaquecido devido ao aumento do número de equipamentos e com a envoltória mais isolada, possui dificuldade de se dissipar para o meio externo.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq pelo apoio à realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401-3 Instalação de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte 3:** Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETYFOR HEATING, REFRIGEREATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Handbook of Fundamentals.** Atlanta, 2009.

BRANDALISE, M. Análise da sensibilidade do RTQ-C quanto a variação da densidade de carga interna. (dissertação de mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015. 173p.

BRANDALISE, M.; AVILA, V.; OLIVEIRA, L.; CUNHA, E. Análise da sensibilidade do método prescritivo do rtq-c quanto à variação de densidade de carga interna. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Máceio, 2014. **Anais**...Máceio:ANTAC, 2014.

BRASIL**, Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001.** Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n°%204.059-2001.html>. Acesso: em 20 jun. 2013.

_____**Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 20 Jun. 2013.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação de eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. (Tese de doutorado). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 215 p.

CHVATAL, Karin, **Relação entre o Nível de isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil . Porto, Portugual 2007.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C.** Eletrobrás, 2010.

WESTPHAL, Fernando. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ELEMENTOS PROJETUAIS PARA ELEVAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CONJUNTOS HABITACIONAIS DO PMCMV NO RIO DE JANEIRO[1]

BRASILEIRO, Alice (1); MORGADO, Claudio (2); ALMEIDA, Tatiane (3)

(1) UFRJ/FAU/AMBEE, e-mail: alicebrasileiro@ufrj.br; (2) UFRJ/FAU/AMBEE e UFRJ/COPPE/LABFUZZY, e-mail: claudi.morgado@gmail.com; (3) UFRJ/FAU/AMBEE, e-mail: tatianepilar@hotmail.com

RESUMO

Os maiores custos relativos à vida útil (média 50 anos) de um edifício, desde a sua concepção, estão na fase de operação, e não na fase de construção. Um dos custos predominantes é a energia consumida pela edificação. Assim, é esperado que as soluções projetuais possibilitem a construção de edificações com menor demanda de energia. Tais afirmativas têm especial relevância nas habitações, pelo seu quantitativo em relação aos demais tipos de edificação e também pelo uso permanente, durante 24 horas. Voltando os olhares para habitações do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), questiona-se sua eficiência energética, pelo volume habitacional produzido. Assim, partindo de uma pesquisa desenvolvida sobre alguns conjuntos do PMCMV na cidade do Rio de Janeiro, que os classificou em relação à eficiência energética de suas envoltórias, o objetivo deste trabalho é desenvolver algumas proposições de aspectos projetuais que merecem especial atenção, quando se busca a eficiência energética da edificação. Os elementos desenvolvidos têm base no método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais–RTQ-R. Observou-se que sem alterações muito profundas nas tipologias características do PMCMV, porém significativas do ponto de vista da questão energética, melhores classificações podem ser obtidas.

Palavras-chave: RTQ-R. PMCMV. Habitação. Eficiência energética.

ABSTRACT

The costs related to the building, throughout its lifespan (average 50 years), have their biggest share on operation and maintenance phase, instead of construction phase. One of the biggest components on these operation costs composition is the consumed energy by the edification. Therefore, it may be expected that the design and construction solutions should allow the construction of edifications with lower energy consumption. Such premises have special importance in housing, for their quantitative value in relation to the others types of edification, and for its permanent use, during the 24 hours of the day. Observing the mass housing production, by the Program Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), a question about its level of energy efficiency arises. Thus, starting from a research developed on some housing complexes from PMCMV, on the city of Rio de Janeiro, the objective of the present work is to develop some alternate proposals of project elements that deserve special attention when looking for the energy efficiency of the edification. The elements were developed based on the Regulation for Energy Efficiency Labeling of Residential Buildings - RTQ-R. With no

[1]BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; ALMEIDA, Tatiane. Elementos projetuais para elevação da classificação do nível de eficiência energética em conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

profound changes in the original typology, but very significant as energy issues, better levels of classification were obtained.

***Keywords**: RTQ-R. PMCMV. Housing. Energy efficiency.*

1 INTRODUÇÃO/FUNDAMENTAÇÃO

A investigação do desempenho energético de uma edificação está intimamente ligada ao seu comportamento nas questões de desempenho térmico e lumínico, entre outros fatores. Dar condições satisfatórias de conforto ambiental ao usuário é um caminho para que ele não procure esse conforto utilizando meios ativos, ocasionando, portanto, o consumo de energia. Segundo Corbella e Yannas (2009), com o desenvolvimento tecnológico, em especial após a II Guerra Mundial, a tecnologia começou a suplantar as condições de conforto ambiental antes associadas à arquitetura. Essa dependência promoveu a difusão da ideia de que era possível desenvolver projetos arquitetônicos desconsiderando o clima local. Tal fato refletiu-se em edificações dependentes de sistemas artificiais de climatização, de modo que o consumo de energia e o impacto ambiental ficavam em um plano posterior de preocupações (CORBELLA; CORNER, 2011).

Segundo Ceotto (2006), 80% dos custos relativos à vida útil de uma edificação estão na fase de sua operação. Um dos custos predominantes é relativo à energia consumida pela edificação. Desse modo, esperar-se-ia que as soluções projetuais/construtivas adotadas desde a sua concepção possibilitassem a construção de edificações com menor demanda de energia. Tais premissas, apesar de poderem ser aplicadas a qualquer edificação, têm especial relevância nas habitações, pelo seu quantitativo em relação aos demais tipos de edificação e também por ser a habitação a edificação que está em permanente uso. Tratando-se da produção de habitações em massa, pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), levanta-se a questão do nível de eficiência energética das mesmas, pois se atualmente, o país já enfrenta problemas para a geração de energia, o futuro não tende a ser muito melhor.

Se por um lado, os produtos do principal programa habitacional da atualidade ainda ficam aquém do recomendado em termos de desempenho ambiental – entre outros requisitos – (FERREIRA, 2012; BENETTI, 2012), por outro, a preocupação com o gasto energético edilício foi mais evidenciada após 2001, ano da Lei 10.295 ("Lei da Eficiência Energética"). Posteriormente, em 2009, foi lançada a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações.

Diversos são os trabalhos sobre o PMCMV que o abordam sob a ótica do desempenho energético, havendo uma relação direta com o desempenho térmico, em função do clima. Diante da impossibilidade de citar todos eles, podem ser mencionados: Alves (2012), Batista *et alli*, (2014), Moreno (2013), Paulsen; Sposto (2013), Rodrigues; Oliveira; Carlo (2015) e Udaeta; Oliveira ; Baesso (2014).

Na mesma linha de raciocínio, em pesquisa anterior, classificou-se em relação à eficiência energética das envoltórias alguns conjuntos do PMCMV na cidade do Rio de Janeiro, constatando-se a ocorrência de alguns elementos presentes desde a concepção inicial que comprometiam o potencial desempenho energético da edificação[2]. A partir daqueles resultados, identificando os aspectos projetuais de maior relevância para a eficiência energética na Zona Bioclimática (ABNT, 2005) da cidade do Rio de Janeiro (ZB8), formulou-se o objetivo do presente trabalho: desenvolver diretrizes projetuais/construtivas que possam contribuir para a elevação do nível de classificação de eficiência energética das habitações produzidas pelo PMCMV no Rio de Janeiro e na sua zona bioclimática. Apesar de a eficiência energética não ser a única esfera a ser melhorada no programa, estudar este aspecto contribuirá bastante para a evolução qualitativa de sua produção.

Embora haja estudos no âmbito governamental que tratam dessa questão e também pontuais inserções do programa com características eficientes/sustentáveis (como a entrega de unidades com aquecimento solar da água[3] ou conjuntos com iniciativas relacionadas ao aumento da área de drenagem das águas pluviais[4]), no âmbito da grande massa de habitações produzidas, ainda não são vistas ações no sentido de adequar ambientalmente e energeticamente as edificações produzidas.

2 MÉTODO

A análise utiliza o método prescritivo do RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (BRASIL, 2012), documento oficial com a metodologia de cálculo para concessão da ENCE. Inicialmente, cabe esclarecer que considerou-se na avaliação apenas a envoltória da edificação e desconsiderou-se o sistema de aquecimento de água, que embora seja de grande importância, tem metodologia de cálculo própria, fugindo do foco do trabalho. Portanto, a investigação foi feita objetivando o resultado de EqNumEnv (Equivalente Numérico da Envoltória), que no Rio de Janeiro (ZB8), é constituído apenas pelas condições de verão, desprezando-se as condições de inverno (BRASIL, 2012). Seus resultados são produzidos em GHR[5], cujos limites de classificação na ENCE, para a ZB8, são apresentados na Tabela 1, representados pelas letras A, B, C, D e E (do melhor para o pior nível).

---

[2] Os conjuntos analisados pertenciam todos à Faixa 1 do programa, de 0 a 3 salários mínimos, e o estudo teve como desdobramento o Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da 3ª autora.

[3] http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/07/moradias-sao-equipadas-com-aquecimento-solar. Acesso em out 2015.

[4] http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/07/moradias-do-minha-casa-minha-vida-recebem-acoes-sustentaveis. Acesso em out 2015.

[5] GHR: Graus-hora de resfriamento, unidade na qual são produzidas as respostas na equação de $EqNunEnv_{Resfr}$, significando o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da segunda, no caso de esfriamento, adotando a temperatura de base como 26° C (BRASIL, 2012).

Tabela 1 – Limites de classificação dos valores em GHR para ZB-8

Classificação	Resultado em GHR
A	GHR =< 5209
B	5209< GHR =< 8365
C	8365< GHR =< 11520
D	11520< GHR =< 14676
E	GHR =< 14676

Fonte: BRASIL, 2012

A investigação foi dividida em três grandes etapas:

a) Verificação do EqNumEnv de conjuntos de edificações multifamiliares do PMCMV na cidade do Rio de Janeiro segundo os parâmetros do RTQ-R (BRASIL, 2012). A avaliação foi feita pelo método prescritivo; a partir dela verificou-se a classificação do nível de eficiência energética da envoltória dos edifícios (etapa realizada em pesquisa anterior). Esta avaliação mostrou que os conjuntos analisados apresentavam desempenho insatisfatório, com baixos níveis de classificação (C, D e E).

b) Organização e análise conjunta dos dados. Os dados da etapa anterior foram organizados de modo a retratar, no Rio de Janeiro, como alguns elementos-chave adotados nos projetos contribuíam para os baixos níveis de classificação. Entre eles, podem ser citados os vãos para ventilação natural; a ventilação cruzada nas unidades; o sombreamento das aberturas; a organização espacial dos ambientes, aumentando ou diminuindo a área de fachada da unidade; a relação entre área de envoltória e volume do ambiente; a orientação; o material constituinte da envoltória. Pelo limitado espaço de um artigo científico, nem todos os itens serão desenvolvidos neste trabalho.

c) Na sequência, foram **formuladas proposições a respeito dos elementos-chave**, com vistas à elevação do nível de classificação de eficiência energética das habitações produzidas pelo PMCMV no Rio de Janeiro.

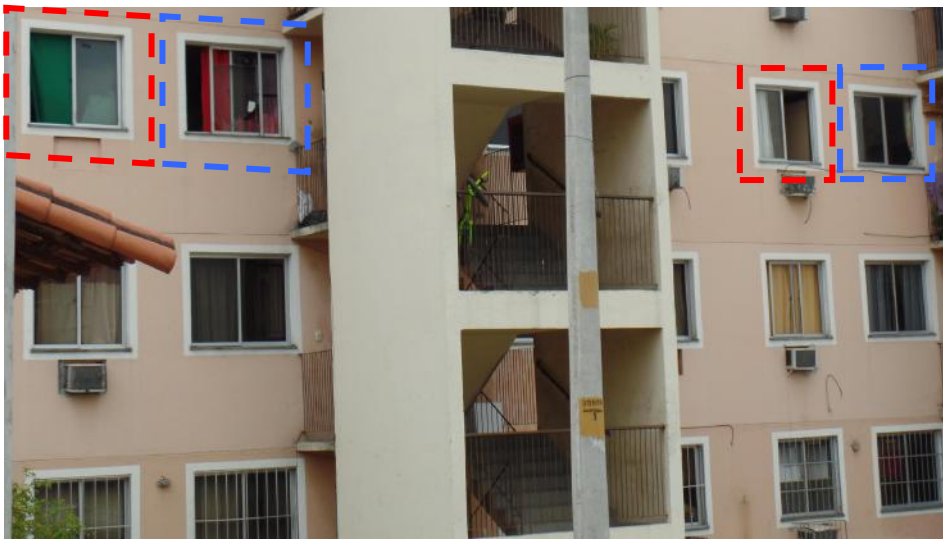
Cabe esclarecer que os parâmetros necessários para estabelecer a eficiência energética em uma edificação vão além dos mencionados acima. É necessário atentar para a eficiência de todos os sistemas componentes do edifício, como a iluminação artificial e demais, além de outros relacionados à arquitetura, como o nível de iluminação natural nos ambientes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ventilação Natural

O aproveitamento da ventilação natural é uma das mais importantes estratégias passivas para a melhoria do nível de eficiência energética. Na ZB8, o RTQ-R (BRASIL, 2012) indica que o percentual de ventilação em ambientes de permanência prolongada[6] (APP) deve corresponder a pelo menos 10% da área de piso do ambiente (caso contrário, a máxima classificação permitida para ele será C). Como nas unidades habitacionais (UH) comumente encontradas no PMCMV a área útil de dormitórios é cerca de 8m² e as salas, 12m², são necessários, respectivamente, 80cm² e 1,20m² para que o pré-requisito seja atendido. As esquadrias utilizadas, contudo, nem sempre atendem a esse percentual, porque proporcionam aproximadamente 65cm² de área de ventilação nos dormitórios e um pouco mais (Figura 1) e de tamanho mais variado nas salas, podendo às vezes possuir um peitoril em vidro também, porém sendo essa parte fixa (Figura 2). Sobre o mecanismo de abertura, quase sempre é o de correr, com folhas sobrepostas[7] (Figura 3).

Figura 1 – Janelas de dormitórios (indicação vermelha) e janelas das salas, ligeiramente maiores (indicação azul)



Fonte: Autores

[6] Normalmente, em uma unidade habitacional, são considerados ambientes de permanência prolongada (APP) os dormitórios e as salas. Estas, quando têm a cozinha integrada, a incorporam formando um único APP para efeito de cálculo (BRASIL, 2012).

[7] Há exceções, como algumas tipologias que contam com pequenas sacadas adjacentes à sala, e nesse caso, a porta pode ter uma folha e girar sobre o eixo vertical lateral, ao invés de correr (deslizar) uma folha sobre a outra.

Figura 2 – Janela com peitoril em vidro



Fonte: Autores

Figura 3 – Profusão de janelas de correr



Fonte: Autores

É no mecanismo de abertura que reside um dos elementos decisivos para atendimento da ventilação natural[8]. Ao abrir as folhas deslizantes, uma sobre a outra, não é possível usufruir de todo o vão, porque mais da metade dele estará obstruída pelas folhas, produzindo uma taxa de aproveitamento do vão de aproximadamente 45% do seu tamanho original. Para vãos de 1,44m^2, comumente utilizados, obtém-se uma área de ventilação igual a 65cm^2, suficiente para ventilar APPs de até 6,5m^2, menores do que as áreas

[8] Diferentemente do que ocorre na iluminação natural, onde são os elementos transparentes/translúcidos da esquadria que permitem a entrada da luz. A área desses elementos, pelo RTQ-R (BRASIL, 2012), deve ser no mínimo 12,5% da área do piso.

dos dormitórios (8m^2). Nas salas, apesar dos maiores tamanhos de vãos, frequentemente pode ser vista a mesma situação[9].

Portanto, um dos elementos-chave a ser considerado em projetos do PMCMV é a criteriosa escolha das esquadrias, permitindo uma maior área de ventilação. Podem ser adotadas esquadrias com mecanismos de folhas giratórias (de abrir) ao invés das deslizantes (de correr). Alternativamente, considerando o maior custo das esquadrias mencionadas, pode-se adotar, ainda na fase de projeto, um maior vão para a esquadria (de custo relativo não tão alto), de modo que sua área de ventilação seja suficiente, ainda que seu mecanismo de abertura seja limitante.

3.2 Ventilação cruzada

Outro elemento-chave na classificação de eficiência energética é a ventilação cruzada da UH. Por afetar à unidade como um todo, seu não cumprimento faz a classificação da UH alcançar nível máximo C (BRASIL, 2012). Para ser atendido, é necessário que a UH possua áreas de ventilação em mais de uma fachada, com uma proporção de 0,25 entre as áreas de ventilação contidas na fachada com mais aberturas e o somatório de todas as outras aberturas nas demais fachadas.

Em muitos conjuntos do PMCMV no Rio de Janeiro essa característica está presente, pela disposição linear das UH nos pavimentos[10]. No entanto, também são encontradas outras configurações, especialmente em alguns blocos em "H", que apesar de possuírem fachadas disponíveis para estabelecer uma ventilação cruzada, geralmente têm as laterais cegas, inclusive para permitir que os blocos tenham pouca ou nenhuma distância entre eles.

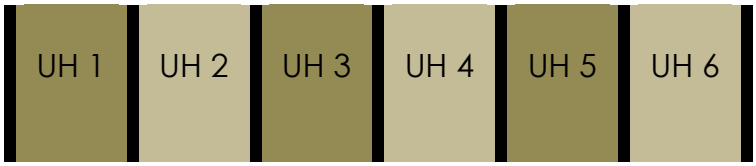
A possibilidade de resolução desta questão passa pela densidade populacional a ser atingida no conjunto e pela composição do projeto de arquitetura. Sem a pretensão de apontar uma fórmula "pronta" ou uma solução única, indica-se uma diretriz para a adoção do padrão linear de unidades no pavimento, de modo que possam ser justapostas pelas laterais, mas que ao mesmo tempo permaneçam com duas fachadas para ventilação (Figura 4)[11].

[9] O fato ocorre mesmo que haja a integração entre [sala] e [cozinha/área de lavagem de roupas] e suas respectivas ventilações.

[10] O que não significa que, necessariamente, a edificação seja confortável em termos térmicos apenas por essa razão.

[11] Nesse caso, o acesso poderia ser feito entre cada par de unidades.

Figura 4 – Exemplo de pavimento com as unidades dispostas linearmente



Fonte: Autores

3.3 Sombreamento

O sombreamento impede que a radiação solar direta penetre no ambiente. O RTQ-R (BRASIL, 2012) utiliza o sombreamento como uma de suas variáveis, denominada "Somb". Segundo Brasileiro, Morgado e Torres (2014), utilizar esquadrias com venezianas (sombreamento total das aberturas) pode melhorar a classificação da UH em até dois níveis, dependendo da orientação. Nos conjuntos multifamiliares do PMCMV na cidade do Rio de Janeiro, praticamente não existem aberturas sombreadas com venezianas; mesmo as parcialmente sombreadas (por beirais ou reentrâncias) são poucas. Seguindo um raciocínio que não é novo, o investimento em esquadrias sombreadas hoje significa redução de custos e de consumo energético no futuro.

3.4 Área de fachada da unidade habitacional e relação envoltória x volume do ambiente.

Uma decisão projetual que pode aparentar não interferir na eficiência energética é como a organização espacial dos ambientes poderá deixá-los mais ou menos expostos ao exterior. Verificou-se que os APPs situados em "quinas" ou com seus volumes projetados além do alinhamento da edificação possuíam pior classificação quando comparadas aos ambientes com mais paredes internas e menos paredes externas. Ao estar mais exposto ao ambiente externo, mesmo por vedações opacas, o ambiente, no Rio de Janeiro, está sujeito à maior carga térmica, seja pela incidência direta de sol ou em função de a temperatura externa estar acima do nível confortável, situação frequente na cidade. Sobre a relação entre maior envoltória e pior desempenho, Matos (2012), em pesquisa desenvolvida na cidade de Maceió (também ZB8), verificou a mesma tendência.

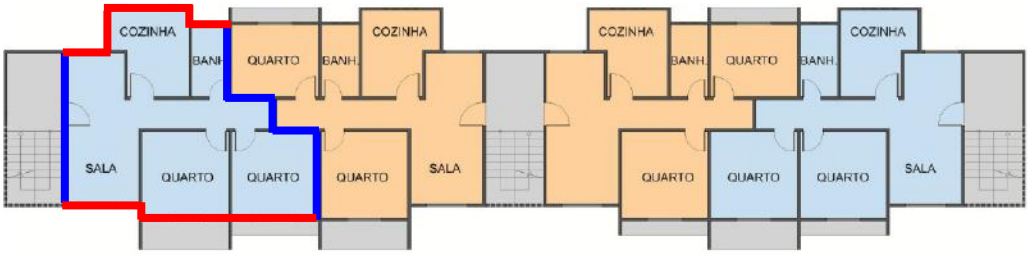
No mesmo raciocínio, também foi verificado que para ambientes com mesma dimensão de fachada (em única direção) e pé-direito, mas profundidades diferentes, aquele que possuir menor área terá uma classificação inferior ao que possuir maior área, já que o primeiro, proporcionalmente, encontrar-se-á mais exposto do que o segundo. Também Brown e Dekay (2004) apontam que para um mesmo volume,

envoltórias mais expostas podem representar uma vantagem se a estratégia visar aquecimento e a fachada for orientada a Norte. Entretanto, se a estratégia visa resfriamento, estando a fachada orientada a Leste ou Oeste, uma envoltória maior pode significar uma desvantagem.

Esses elementos-chave que tratam do nível de exposição da envoltória são cruciais na fase de concepção projetual, e dificilmente poderão ser modificados após certo nível de desenvolvimento do projeto. Uma das possibilidades para minimizar os efeitos da exposição excessiva é modificar a constituição da envoltória, utilizando composições de materiais que garantam menor transmitância térmica e consequentemente, maior nível de conforto interno em relação a altas temperaturas externas. Porém, o ideal seria que essa preocupação existisse ainda nas fases iniciais do projeto.

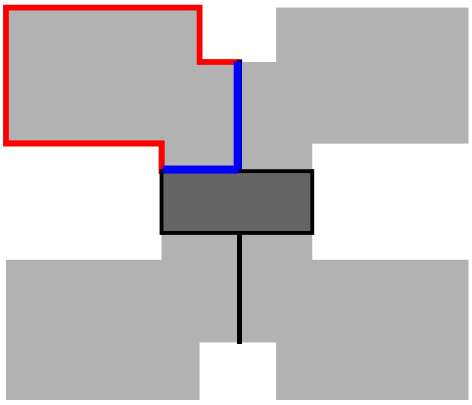
Ainda, um exercício projetual desenvolvido propõe a utilização da circulação vertical nas extremidades dos blocos, tornado-a um "escudo" para a UH imediatamente adjacente a ela, como pode ser visto na Figura 5. Embora possa atuar também como ponto de ligação entre blocos, a função de "escudo" toma lugar na UH da extremidade do bloco. Em comparação, pode ser visto um dos projetos do PMCMV no Rio de Janeiro, onde é observada a circulação vertical ao centro de quatro unidades, promovendo menor área de proteção em relação ao ambiente externo (Figura 6). Em ambas as figuras, é possível comparar a proporção de paredes externas (em vermelho) e paredes internas (em azul) da unidade como um todo. Na Figura 5, a UH está mais protegida do ambiente externo, enquanto na Figura 6, está mais exposta a ele.

Figura 5 – Exercício projetual desenvolvido, utilizando a circulação vertical como "escudo" das UH das extremidades.



Fonte: Autores

Figura 6 – Um exemplo de edifício de conjunto do PMCMV no Rio de Janeiro, onde a circulação vertical é centralizada.



Fonte: Edição gráfica sobre material de divulgação do PMCMV

Obviamente, há um custo maior ao se prever mais circulações verticais, mas novamente, é ratificado que o investimento inicial será compensado pelo menor custo operacional de energia da edificação, ao longo de um prazo maior.

Como já mencionado, os elementos apresentados aqui são apenas alguns dos identificados como elementos-chave para a classificação de eficiência energética de conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro. Mesmo os identificados pela pesquisa (mencionados no item 2 – letra b) e não explorados aqui revelam apenas uma parcela de diversas variáveis a serem consideradas no projeto e construção das habitações.

4 CONCLUSÕES

A avaliação prévia de conjuntos do PMCMV no Rio de Janeiro apontou a existência de situações que, de forma recorrente, impedem um potencial de boa classificação de eficiência energética das edificações. É objetivo deste trabalho, então, apontar diretrizes projetuais/construtivas que possam contribuir para elevação desse nível.

As situações foram detalhadas e organizadas dando origem a elementos-chave da classificação, que podem colaborar para um melhor resultado final. Por exemplo, se exigências como o atendimento ao percentual mínimo de área de ventilação e a ocorrência de ventilação cruzada forem atendidas, a habitação poderá obter níveis mais elevados do que C. Já decisões relacionadas à existência ou não de venezianas nas esquadrias e também aquelas que dizem respeito à conformação do projeto, como a distribuição dos ambientes no pavimento e o tamanho da sua área de exposição ao ambiente externo, não definem especificamente um nível limite de classificação. Contudo, se o projeto contemplar tais preocupações, desde o seu início, poderá elevar seu nível final de classificação de eficiência energética.

Cabe ressaltar que o resultado da avaliação de conjuntos do PMCMV, contido na base deste artigo, se alinha a outros semelhantes, como por exemplo, Moreno (2013), que analisando um exemplar unifamiliar típico do PMCMV, testado em todas as ZBs, obteve desempenhos gerais insatisfatórios, com predominância do nível D. Do mesmo modo, também obtiveram resultados insatisfatórios (C, D e E) na classificação de edificações multifamiliares do PMCMV Batista *et alli* (2014), em Maceió, e Rodrigues, Oliveira e Carlo (2015), que testaram um modelo multifamiliar típico do PMCMV nas cidades de Maceió, Belém, Vitória, Cuiabá, Campo Grande e Niterói.

Os elementos projetuais/construtivos aqui analisados contribuem para um dos enfoques necessários e urgentes a qualquer edificação, o seu desempenho energético. No âmbito da HIS, não é diferente, e embora haja diversos outros pontos críticos no programa, um bom desempenho energético é mais um entre os requisitos que deveriam ser cumpridos na construção de um grande parque habitacional, do porte do PMCMV.

Sem dúvida, qualquer decisão relacionada à HIS que envolva elevação nos custos, seja do projeto ou da execução, deve ser criteriosamente pensada. Porém, entende-se que é necessária uma mudança de paradigma, para o bem da questão energética. Nesse âmbito, a economia monetária feita hoje pode contribuir para um maior custo e maior gasto de energia no futuro.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3** Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

ALVES, A. F. M. **Todo Brasileiro merece nível A: habitação multifamiliar para o programa minha casa minha vida energeticamente eficiente**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). PPGAU/UFRN: Rio Grande do Norte, 2012.

BATISTA, Juliana; PEIXOTO, Ithiane; CAVALCANTE, Kherolyn; LIMA, Izabella. Desempenho térmico de habitação multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió – AL. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014, **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014.

BENETTI, Pablo. **Habitação Social e Cidade**. Rio de Janeiro: Rio Book's, 2012.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012.

BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; TORRES, Thiago. Influência das esquadrias na classificação do nível de eficiência energética de habitações no RJ. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014, **Anais...** Maceió, ENTAC 2014.

BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, vento & luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. São Paulo: Bookman, 2004.

CEOTTO, Luiz Henrique. A Construção Civil e o Meio ambiente: 1ª parte. **Notícias da Construção**, Ed. 51, São Paulo: Sinduscon SP, 2006. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/secoes.asp?subcateg=74&categ=16>. Acesso em 30 nov. 2011.

CORBELLA, Oscar; CORNER, Viviane. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para a redução do consumo energético.** Rio de Janeiro: Revan, 2011.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

FERREIRA, João S.W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano. Parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos**. São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012.

MATOS, Juliana M. **Qualificação de edifícios residenciais verticais em Natal/RN à luz do Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R).** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). PPGAU/UFRN, 2012.

MORENO, A.C.R. **Minha Casa Minha Vida: Análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), UFMG, Belo Horizonte, 2013.

PAULSEN, J.S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "My House My Life". In: **Energy and Buildings**, v. 57, p.95-102, 2013.

RODRIGUES, Thiago; OLIVEIRA, Carla de; CARLO, Joyce. Níveis de eficiência da envoltória de unidades habitacionais do programa minha casa minha vida em zonas bioclimáticas de 5 a 8. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

UDAETA, M. E. M.; DE ANDRADE OLIVEIRA, C. T.; BAESSO, J. A. Energy & Environmental Efficiency with Full Use of the Sun in a Sustainable Architecture Residence. In: **Journal of Engineering and Architecture**, v. 2, n. 2, p. 103–118, 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO SOBRE A CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONJUNTOS HABITACIONAIS DO PMCMV NO RIO DE JANEIRO[1]

BRASILEIRO, Alice (1); MORGADO, Claudio (2); ALMEIDA, Tatiane (3); SILVA, Thaísa (4)

(1) UFRJ/FAU/AMBEE, e-mail: alicebrasileiro@ufrj.br; (2) UFRJ/FAU/AMBEE e UFRJ/COPPE/LABFUZZY, e-mail: claudi.morgado@gmail.com; (3) UFRJ/FAU/AMBEE, e-mail: tatianepilar@hotmail.com; (4) UFRJ/FAU/AMBEE, e-mail: thaisamassacesi@hotmail.com

RESUMO

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) apresenta soluções habitacionais para atender o maior número possível de pessoas, com projetos/sistemas construtivos racionalizados e custos minimizados. À luz da Etiquetagem de Edifícios do Procel Edifica, cabe investigar até que ponto as soluções adotadas atendem também aos preceitos da eficiência energética. Sendo a habitação um bem consumidor de energia de extensa vida útil, não basta ser de baixo custo de produção, devendo ser também de baixo custo de operação. O objetivo do trabalho é avaliar e discutir o nível de classificação de eficiência energética segundo o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais–RTQ-R, de três conjuntos do PMCMV no Rio de Janeiro, erguidos com dois diferentes sistemas construtivos. Utilizando o método prescritivo do RTQ-R, foram avaliadas as envoltórias das unidades, chegando-se às suas classificações. Foi constatado que, embora o sistema construtivo exerça uma forte influência, é a resolução do projeto arquitetônico que pode determinar se uma edificação terá potencial para alcançar uma boa classificação ou se será condenada a um nível mais baixo, que muitas vezes não poderá ser contornado posteriormente, pela substituição de materiais ou mudança de cores da fachada.

Palavras-chave: RTQ-R. PMCMV. Habitação. Eficiência energética.

ABSTRACT

The Program Minha Casa Minha Vida (PMCMV) *offers housing solutions seeking attendance of the largest possible number of people, with construction projects/systems seeking the rationality of construction, minimizing costs and increase production. However, in light of the Procel Edifica's labeling buildings, it is worth investigating to what extent the adopted solutions also meet the principles of energy efficiency. Being housing an energy consuming good of extensive lifespan, it is not enough that the cost of production be low, the maintenance cost also must be. The objective is to evaluate and discuss the energy efficiency rating according to the Regulation for Energy Efficiency Labeling of Residential Buildings–RTQ-R, of three sets of PMCMV in Rio de Janeiro, with two different construction systems. It was found that although the building system has a strong influence, is the architectural design that can determine if a building has the potential to achieve or not a good classification.*

***Keywords**: RTQ-R. PMCMV. Housing, Energy efficiency.*

[1] BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; ALMEIDA, Tatiane; SILVA, Thaísa. Avaliação e discussão sobre a classificação do nível de eficiência energética de conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO/FUNDAMENTAÇÃO

De inegável importância, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) apresenta ampla produção habitacional, que para ser atendida, adota sistemas construtivos racionalizados e projetos padronizados, independentemente da região ou população beneficiada. Esse procedimento, por um lado, acelera a produção e a entrega das moradias, mas por outro, também significa que não necessariamente serão atendidas as diferentes características sociais, culturais e ambientais de um país extenso como o Brasil. Vários estudos já detectaram esses e outros problemas no PMCMV[2], e especificamente em termos de desempenho ambiental, alguns ressaltam a ausência de diferenciação projetual nos diferentes climas do país (FERREIRA, 2012).

A relação entre clima e eficiência energética em edificações já é conhecida há algum tempo (MASCARÓ, 1985), mas a preocupação com o gasto energético edilício aflorou mais decisivamente em 2001, quando foi estabelecida a Lei 10.295 ("Lei da Eficiência Energética") e posteriormente, em 2009, ao ser lançada a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações.

A habitação é, provavelmente, o bem consumidor de energia mais durável utilizado pela sociedade. Toda a preocupação com a eficiência energética de eletro-eletrônicos deve ser majorada ao se pensar em edifícios. Segundo Ceotto (2006), 80% dos custos relativos à vida útil de uma edificação estão concentrados na fase de sua operação, sendo a maior parte relacionada ao consumo de energia/água. No caso específico de habitações de interesse social (HIS), cujos custos são decisivos, não só sua produção deve ser de baixo custo, mas também sua manutenção, ao longo de sua operação.

Assim, sem prejuízo de todos os complexos problemas que envolvem a questão habitacional e o PMCMV, o objetivo deste artigo é avaliar e discutir a classificação de eficiência energética de seus conjuntos habitacionais na cidade do Rio de Janeiro. A investigação foi feita pelo método prescritivo do RTQ-R-Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (BRASIL, 2012), aplicado a três conjuntos de prédios multifamiliares do PMCMV nesta cidade.

Diversos são os trabalhos sobre o PMCMV com a ótica do desempenho energético, havendo uma relação direta com o desempenho térmico, em função do clima. Diante da impossibilidade de citar todos eles, podem ser mencionados: Alves (2012), Batista *et alli*, (2014), Breitenbach (2015), Dantas; Barbirato (2015), Moreno (2013), Paulsen; Sposto (2013), Rodrigues; Oliveira; Carlo (2015) e Udaeta; Oliveira ; Baesso (2014).

A importância da classificação da eficiência energética da produção do PMCMV, por si só, já justificaria a investigação, pelos motivos já expostos. O que direcionou o trabalho para os três conjuntos investigados foi a

[2] Como demonstraram Kowaltowski *et ali* (2015).

possibilidade de acesso aos seus dados construtivos/projetuais, imprescindíveis para os cálculos a serem realizados. Outra questão foi o fato de haver dois diferentes sistemas construtivos entre eles (paredes de concreto maciço moldado *in loco* e alvenaria estrutural de blocos de concreto), além de haver diferenças na concepção projetual também. Tais características impulsionaram o questionamento, no núcleo de pesquisa da instituição de origem dos autores, de até que ponto um sistema ou um projeto poderia ter desempenho melhor ou pior do que o outro? A partir daí, vislumbrou-se a oportunidade de avaliar e discutir seus resultados, observando os elementos projetuais/construtivos considerados.

Ressalta-se que os procedimentos de avaliação da classificação foram limitados à envoltória, calculando seu Equivalente Numérico (EqNumEnv), sem levar em consideração o sistema de aquecimento de água, que embora seja muito importante, é calculado à parte, fugindo da preocupação com projeto de arquitetura e o sistema construtivo, focos do trabalho.

2 MÉTODO

Para avaliação da classificação de eficiência energética de três conjuntos do PMCMV no Rio de Janeiro utilizou-se o método prescritivo do RTQ-R (BRASIL, 2012). Nesta cidade, pertencente à zona bioclimática 8 – ZB8 (ABNT, 2005), a avaliação da envoltória é feita somente para as condições de verão. Dessa forma, calculou-se o $EqNumEnv_{Resfr}$ (Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento) para todas as UH (unidades habitacionais) dos três conjuntos, obtendo um panorama de suas classificações.

Os resultados do $EqNumEnv_{Resfr}$ são produzidos em GHR[3], cujos limites de classificação na ENCE, para a ZB8, são apresentados na Tabela 1, onde é possível ver também a cor atribuída a cada nível de classificação (representados pelas letras A, B, C, D e E, do melhor para o pior nível).

Tabela 1 – Limites de classificação dos valores em GHR para ZB-8

Classificação	Resultado em GHR
A	GHR =< 5209
B	5209< GHR =< 8365
C	8365< GHR =< 11520
D	11520< GHR =< 14676
E	GHR =< 14676

Fonte: BRASIL, 2012

[3] GHR: Graus-hora de resfriamento, unidade na qual são produzidas as respostas na equação de $EqNunEnv_{Resf}$, significando o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da segunda, no caso de esfriamento, adotando a temperatura de base como 26° C (BRASIL, 2012).

Os três conjuntos, denominados no presente trabalho de Alfa, Beta e Gama[4], tiveram seus dados projetuais tabelados para inserção nas equações do RTQ-R (BRASIL, 2012). A classificação envolve a análise individual de cada ambiente de permanência prolongada (APP)[5] em cada UH e posteriormente é feita uma média ponderada por suas áreas úteis (além da verificação dos pré-requisitos de cada APP e UH).

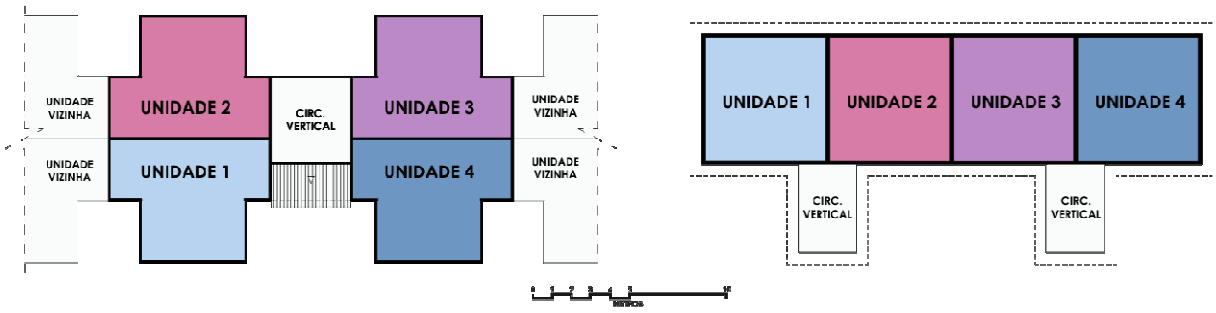
As UH, no cálculo, foram separadas inicialmente por grupos de mesma orientação e dentro destes, pelo pavimento (térreo/intermediário/cobertura). O conjunto Alfa possui aproximadamente 2000 unidades em blocos de cinco pavimentos. O conjunto Beta possui pouco mais de 1000 unidades e o conjunto Gama cerca de 600 unidades, ambos de quatro pavimentos.

Outra diferença entre os conjuntos é o sistema construtivo. O conjunto Alfa possui paredes de concreto maciço moldado *in loco*, e os conjuntos Beta e Gama são executados em alvenaria estrutural de blocos de concreto. As cores utilizadas nas fachadas dos conjuntos Alfa e Gama variam de claras a médias, e no conjunto Beta, claras e escuras. O material utilizado nas coberturas também difere, sendo telhas em fibrocimento sobre laje no conjunto Alfa e telhas cerâmicas sobre laje nos conjuntos Beta/Gama.

Em termos projetuais, o conjunto Alfa adota um partido, em planta, de unidades justapostas no pavimento (Figura 1), fazendo a junção de vários módulos como um único edifício.

Já os conjuntos Beta/Gama possuem projetos bastante semelhantes entre si, apenas com algumas diferenças de dimensões, mas ambos possuem as unidades dispostas de forma linear ao longo do pavimento (Figura 1).

Figura 1 – Conjuntos Alfa (esquerda) e Beta (direita)



Fonte: Edição gráfica sobre material de divulgação do PMCMV

[4] Os autores preferem omitir os nomes dos conjuntos pelo fato de que o objetivo do presente artigo não se constitui em uma crítica a projetos desenvolvidos por outros profissionais (mesmo porque, há diretrizes que os antecedem e que devem ser cumpridas), mas simplesmente, tomar exemplares produzidos pela política habitacional do governo federal como meio de estudo, desenvolvimento e aplicação da metodologia de avaliação da eficiência energética.

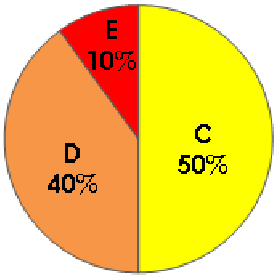
[5] Normalmente, em uma unidade habitacional, são considerados ambientes de permanência prolongada (APP) os dormitórios e as salas. Estas, quando têm a cozinha integrada, a incorporam formando um único APP para efeito de cálculo (BRASIL, 2012).

Cabe ressaltar que os conjuntos adotados encontram-se na Faixa 1 do PMCMV, de 0 a 3 salários mínimos, que pelas características de limitações de custos, também apresenta maior padronização. Além disso, no Rio de Janeiro, a produção dos conjuntos do PMCMV é especialmente padronizada, pelo fato de que dez empresas concentram 65% da produção (CARDOSO, 2013), e essas mesmas empresas utilizam projetos bastante semelhantes entre si.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

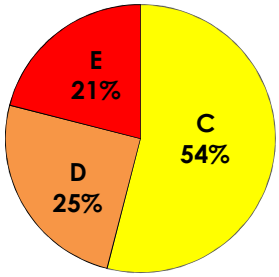
Os resultados de cada conjunto são apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3, onde podem ser vistos os percentuais de unidades (em relação ao total de unidades de cada conjunto) que atingiram a mesma classificação.

Gráfico 1 – Resultados da classificação das UH do Conjunto Alfa



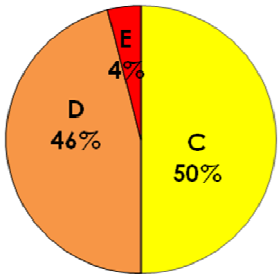
Fonte: autores

Gráfico 2 – Resultados da classificação das UH do Conjunto Beta



Fonte: autores

Gráfico 3 – Resultados da classificação das UH do Conjunto Gama



Fonte: autores

A primeira e marcante leitura que pode ser feita dos gráficos é que não há, em nenhum dos três conjuntos, unidades com classificação A ou B em suas envoltórias. Isso ocorre por mais de uma razão; a comum aos três é o não atendimento ao pré-requisito da ventilação natural por APP (a área de ventilação deve corresponder a 10% da área do piso – BRASIL, 2012). Tal fato faz com que a classificação máxima do APP seja C.

No caso do conjunto Alfa, independentemente do pré-requisito, verificou-se que alguns quartos e salas, de algumas unidades, obtiveram nível B, mediante o contato com o solo e/ou uma orientação favorável. Porém, ao se fazer a média ponderada da unidade, as classificações gerais não mantiveram o nível B, caindo para C. Além disso, há dois agravantes muito significativos no conjunto Alfa. O primeiro é o sistema construtivo, que adota paredes de concreto maciço com 10cm de espessura. Esta composição, sem a inclusão de nenhum material isolante, apresenta uma transmitância térmica[6] de 4,4 W/m²K (BRASIL, 2013), superior ao limite máximo permitido na ZB8, que é 3,7 W/m²K (BRASIL, 2012), se forem utilizadas cores médias/claras.

[6] Variável que indica o comportamento de um fechamento frente à transmissão de calor (Lamberts et al, 2014).

Por não cumprir o limite máximo para transmitância, todos os APPs das unidades têm seu $EqNumEnv_{Resfr}$ automaticamente rebaixado para a máxima classificação C.

O segundo agravante é o fato de que, pela conformação projetual, com unidades justapostas no pavimento (Figura 1) e a ventilação ocorrendo apenas por uma única fachada por unidade, o pré-requisito de ventilação cruzada da UH também não é atendido, fazendo com que o nível máximo do $EqNumEnv_{Resfr}$ da unidade seja C.

Esses dois agravantes, apenas, já seriam suficientes para que o nível máximo de todas as unidades do conjunto Alfa fosse C. Contudo, há unidades que obtiveram desempenho ainda pior, sendo 40% nível D e 10% nível E. São unidades de cobertura e/ou orientações desfavoráveis. A esse respeito, pode-se acrescentar uma observação sobre a disposição das UH do conjunto Alfa, com seu módulo projetual de laterais cegas, para possibilitar a junção de vários blocos. As unidades apresentam APPs que se "projetam" à frente das fachadas, tendo eles próprios uma parcela maior de suas paredes expostas, aumentando as chances de uma orientação desfavorável. Essa configuração gera uma desvantagem em termos de eficiência energética; contudo, ela também permitiria a adoção de duas medidas que poderiam compensar ou minimizar seu efeito.

A primeira medida seria justamente aproveitar os APPs que possuem mais de uma parede externa para que neles a abertura fosse posicionada de acordo com a orientação mais favorável (como mostrado por Brasileiro *et alli*, 2015).

A segunda medida, relacionada à primeira, é que, ao posicionar as aberturas em uma fachada diferente, haveria a possibilidade de permitir que houvesse a ventilação cruzada na unidade, atendendo, assim, ao pré-requisito pendente.

Essas medidas só alterariam, em termos projetuais, a posição das aberturas de alguns APPs nas unidades, não impedindo a junção dos blocos por suas laterais cegas.

Ainda, como medida também a ser considerada, haveria a substituição do material da envoltória, concreto maciço, por alguma composição que conduzisse menos calor. Em uma zona bioclimática quente como o Rio de Janeiro, a própria NBR 15220-3 (ABNT, 2005) admite que, em alguma parcela do ano, o resfriamento passivo não será suficiente. Porém, independentemente do que a norma preconiza, os moradores instalam aparelhos de ar-condicionado nas suas residências, o que se revela uma dificuldade em paredes que não permitem novas aberturas. As soluções incluem a inutilização de janelas (Figura 2), a sua substituição (Figura 3) ou a perfuração de paredes para o modelo *split* (Figura 4). Em qualquer das situações, essas são adaptações que poderiam ser evitadas, para não acarretar custos adicionais de novas esquadrias ou aumentar o custo operacional das unidades por não haver mais a ventilação natural (caso da impossibilidade de abertura da janela de correr, visto na Figura 2).

Figura 2 – Aparelho de ar-condicionado inviabilizando a abertura da janela



Fonte: autores

Figura 3 – Substituição da esquadria original para permitir a instalação do aparelho de ar-condicionado



Fonte: autores

Figura 4 – Parede em concreto, perfurada para instalação de aparelho de ar-condicionado tipo *split*



Fonte: autores

O sistema de paredes de concreto produz unidades padronizadas e é extremamente racionalizado, tanto em custos quanto em tempo de execução, o que facilita e agiliza a produção das unidades. Essas são características que beneficiam a todos (governo/agentes/população), em um primeiro momento. Porém, logo se revelam não tão benéficas ao principal interessado, o morador da unidade, que recebe uma moradia inflexível e com baixas condições de conforto ambiental.

No conjunto Beta, um dos quartos em duas unidades obteve nível B. Porém, ao calcular a média ponderada, as classificações gerais das UH não o mantiveram, caindo para C. A origem da classificação B é por serem unidades em contato com o solo e orientação favorável. Também contribui o fato de que, em cada pavimento, as duas unidades do centro têm menor

área de paredes externas.

Os resultados piores, nas classificações D e E, são influenciados, em parte, pela existência de algumas fachadas em cor escura; também são oriundos das unidades de cobertura, nas extremidades dos pavimentos e com orientações desfavoráveis.

Deve ser ressaltado que no caso do conjunto Beta (diferentemente do conjunto Alfa), foram atendidos os pré-requisitos da transmitância térmica da envoltória (alvenaria estrutural de blocos de concreto) e de ventilação cruzada, posto que todas as UH dispõem de duas fachadas para ventilação. Mas, a exemplo da indicação para uma melhor classificação, poderia ser pensada, em cada situação de orientação, a melhor fachada para posicionamento das aberturas, nas UH das extremidades do pavimento.

O conjunto Gama, cujo projeto de arquitetura é praticamente idêntico ao conjunto Beta, com o mesmo sistema construtivo, apresentou resultados com bastante diferença em relação a este, nas classificações D e E, como demonstrado nos Gráficos 2 e 3. A razão desta diferença deve-se à orientação na implantação dos blocos. Em ambos os conjuntos, há blocos cujo eixo longitudinal está na orientação Norte-Sul e outros na orientação Leste-Oeste. No conjunto Beta, os de orientação N-S representam 83%, contra 17% em L-O. No conjunto Gama, há 50% em N-S e 50% em L-O.

Já é clássica na literatura a recomendação da implantação do edifício com o seu maior eixo na direção L-O, voltando as fachadas com menores superfícies para estas mesmas direções; essa diretriz pode ser encontrada em diversas referências, como Olgyay (1998), Corbella e Yannas (2009), Keeler e Burke (2010) e Kwok e Grondzik (2013), entre muitos outros. Vem daí a principal razão para poucas UH no conjunto Gama receberem classificação E.

Outros fatores merecem ser analisados também. Nos conjuntos Beta/Gama, todas as classificações E referem-se às unidades de cobertura. Porém, nem todas as unidades de cobertura receberam esta classificação, especialmente no conjunto Gama. Apesar de o projeto ser praticamente idêntico, o número de unidades por pavimento é diferente, havendo quatro UH/andar no Beta e seis UH/andar no Gama. Ambos possuem a disposição de unidades em linha, como mostrado na Figura 1, o que faz com que no conjunto Beta, 50% das unidades de cada bloco sejam unidades das extremidades do pavimento. No conjunto Gama, esse número é reduzido a 33%. Proporcionalmente, o conjunto Gama possui menos UH com grande área exposta de paredes, o que contribuiu para melhor classificação (esse mesmo problema, de área excessiva de envoltória também existe no conjunto Alfa, questão já abordada anteriormente).

4 CONCLUSÕES

A classificação da eficiência energética em três conjuntos do PMCMV no Rio de Janeiro mostrou que, pelo menos nestes exemplares, o desempenho é

insatisfatório. Apesar de o presente trabalho ter avaliado apenas três exemplos, a já mencionada repetição de projetos indica que estes não são resultados isolados na cidade, sendo certamente encontrados em outros conjuntos também. Breitenbach (2015) obteve melhores desempenhos com uma residência do PMCMV em Porto Alegre; porém, como esta cidade situa-se em ZB3, zona na qual devem ser avaliadas também as condições do inverno (diferentemente do Rio de Janeiro-ZB8, onde só se avalia condições de verão), seus resultados refletem o produto da união das duas condições.

Também obtiveram resultados insatisfatórios (C, D e E) na classificação de edificações multifamiliares do PMCMV Batista *et alli* (2014) e Rodrigues, Oliveira e Carlo (2015). Ambas as pesquisas analisaram as habitações em climas quentes, onde, do mesmo modo que no Rio de Janeiro, são verificadas apenas as condições de verão. Assim, é possível verificar que os desempenhos insatisfatórios em termos de eficiência energética obtidos pelo presente trabalho também foram encontrados em outras investigações, em diferentes cidades.

O sistema construtivo possui grande impacto na classificação, podendo ser determinante do nível máximo a ser obtido pela edificação, mas essa é uma decisão que, até certo ponto, independe do projeto. É possível adequar um projeto arquitetônico para que seja modificado seu sistema construtivo. Por isso, são as decisões intrínsecas ao projeto (aquelas que com mais dificuldade poderão ser posteriormente modificadas), que merecem maior atenção, como também demonstram os resultados obtidos por Alves (2012). Por exemplo, decisões sobre as diversas orientações de cada conjunto são extremamente difíceis, porque esbarram na equação formato/tamanho dos terrenos disponíveis e quantidade de unidades, o que limita as possibilidades de decisão. Porém, é um dos fatores que influenciam na classificação, como visto na diferença entre os conjuntos Beta e Gama.

Obviamente, toda e qualquer decisão relacionada à HIS que envolva um custo maior deve ser criteriosamente pensada. Porém, este breve panorama traçado no artigo indica que é necessária uma mudança de paradigma, para o bem da questão energética. Toda economia monetária feita hoje pode estar contribuindo para um excessivo uso de energia futuramente, quando sua disponibilidade poderá estar mais reduzida.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3** Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

ALVES, A. F. M. **Todo Brasileiro merece nível A: habitação multifamiliar para o programa minha casa minha vida energeticamente eficiente**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). PPGAU/UFRN: Rio Grande do Norte, 2012.

BATISTA, Juliana; PEIXOTO, Ithiane; CAVALCANTE, Kherolyn; LIMA, Izabella. Desempenho térmico de habitação multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió – AL. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014, **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**. Brasília, 2013 [Anexo Geral V].

BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; TORRES, Thiago; POHLMANN, Gabriela. Ambientes residenciais com mais de uma fachada: influência na classificação de eficiência energética. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

BREITENBACH, L.G. **Estudo e simulação de uma habitação de interesse social e sua relação com o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UNISINOS, São Leopoldo, 2015.

CARDOSO, Adauto L. (org.). **O programa Minha Casa Minha Vida e seus efeitos territoriais**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013.

CEOTTO, Luiz Henrique. A Construção Civil e o Meio ambiente: 1ª parte. **Notícias da Construção**, Ed. 51, São Paulo: Sinduscon SP, 2006. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/secoes.asp?subcateg=74&categ=16>. Acesso em 30 nov. 2011.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

FERREIRA, João S.W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano. Parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos**. São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KOWALTOWSKI, Doris *et alli*. As pesquisas sobre "Minha Casa Minha Vida" e o conforto ambiental. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

KWOK, Alison G.; GRONDZIK, Walter T. **Manual de Arquitetura Ecológica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LAMBERTS, Robert; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2014.

MASCARÓ, Lúcia. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. Projeto: São Paulo, 1985.

MORENO, A.C.R. **Minha Casa Minha Vida: Análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), UFMG, Belo Horizonte, 2013.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima–Manual de Deseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

PAULSEN, J.S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "My House My Life". In: **Energy and Buildings**, v. 57, p.95-102, 2013.

RODRIGUES, Thiago; OLIVEIRA, Carla de; CARLO, Joyce. Níveis de eficiência da envoltória de unidades habitacionais do programa minha casa minha vida em zonas bioclimáticas de 5 a 8. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

UDAETA, M. E. M.; DE ANDRADE OLIVEIRA, C. T.; BAESSO, J. A. Energy & Environmental Efficiency with Full Use of the Sun in a Sustainable Architecture Residence. In: **Journal of Engineering and Architecture**, v. 2, n. 2, p. 103–118, 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONTRIBUIÇÕES PARA O APRIMORAMENTO DA NORMA REGULAMENTADORA NR 15 PARA AVALIAÇÃO DA SOBRECARGA TÉRMICA DE TRABALHADORES[1]

BRITO, Adriana C. de (1); AKUTSU, Maria (2); Aquilino, Marcelo de M. (3), VITTORINO, Fulvio (4)

(1) IPT, e-mail: adrianab@ipt.br; (2) IPT, e-mail: akutsuma@ipt.br; (3) IPT, e-mail: aquilino@ipt.br, (4) IPT, e-mail: fulviov@ipt.br

RESUMO

A Norma Regulamentadora NR 15 estabelece critérios para se efetuar a avaliação da sobrecarga térmica de trabalhadores brasileiros com base em medições e no cálculo do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG. Entretanto, a referida norma não indica procedimentos para efetuar as medições que incluam a época do ano e o período em que as medições devem ser efetuadas. Desse modo, o avaliador tem liberdade para tomar decisões sobre tais questões. Quando se trata de recintos de edificações, que sofrem influências do clima, o momento e a duração da avaliação são determinantes dos seus resultados, havendo a necessidade de defini-los em função de critérios que possam garantir que o trabalhador não será exposto a condições de sobrecarga térmica. Neste trabalho tem-se o objetivo de apresentar contribuições para o aprimoramento da norma NR 15, sobre a avaliação das condições de sobrecarga térmica do trabalhador, levando em conta também as características climáticas do local. Foram efetuados estudos de caso das condições térmicas de ambientes de fábricas e realizadas medições de parâmetros ambientais para o cálculo do índice IBUTG. Os resultados obtidos foram utilizados como base para sugerir a adoção de procedimentos para a realização da avaliação de sobrecarga térmica de trabalhadores levando em conta o clima do local.

Palavras-chave: Sobrecarga térmica. IBUTG. Trabalhador.

ABSTRACT

The Brazilian Standard NR 15 establishes criteria in order to evaluate the heat stress of workers based in measurements and calculation of Wet-bulb globe temperature (WBGT) - WBGT. However, this standard does not specify procedures to perform the measurements including the time of year and the period in which the measurements have to be made. The evaluator is free to make decisions on such issues. As the climatic conditions influence the thermal behavior of the buildings it can affect also the IBUTG values. Thus, it is necessary take into consideration the period of the year in the assessment. The objective is to present contributions to the improvement of the Brazilian Standard NR 15 related to the assessment of the heat stress of workers. It was presented a case study and the results were used as a basis to suggest the adoption of procedures for evaluation of heat stress according to The Brazilian Standard NR 15.

***Keywords**: Thermal stress. IBUTG. Worker.*

[1] BRITO, Adriana et al. Contribuições para o aprimoramento da Norma Regulamentadora NR 15 para avaliação da sobrecarga térmica de trabalhadores. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a saúde de trabalhadores, em locais cuja combinação entre taxa metabólica e condições ambientais pode expô-los a sobrecargas térmicas, levou ao desenvolvimento de diversos índices e métodos de avaliação, com diferentes níveis de detalhamento.

O Anexo 3 da Norma Regulamentadora nº 15 (NR 15) da Portaria 3.214/78 do Ministério do Trabalho e Empregodo (Brasil, 1978) estabelece valores limites máximos para o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG, utilizado como referência para avaliar eventuais situações de sobrecarga térmica de trabalhadores brasileiros. Visando proteger a saúde do trabalhador, as condições térmicas internas dos recintos não devem ultrapassar os valores limites máximos deste índice, que levam em conta a atividade executada pela pessoa, expressa pela taxa metabólica em função do regime de trabalho, contínuo ou com pausas.

Há equações específicas para o cálculo do IBUTG, para a avaliação de ambientes internos ou externos, em situações com ou sem exposição do trabalhador à radiação solar. Devem ser feitas medições dos parâmetros necessários ao cálculo do IBUTG e este é calculado para o intervalo de uma hora.

A NR 15 apresenta somente os critérios de avaliação da sobrecarga térmica de trabalhadores, não indicando, em seus procedimentos para efetuar as medições, determinações que considerem a época do ano e o período/momento do turno de trabalho em que as citadas medições devem ser efetuadas, deixando estes aspectos a cargo do avaliador. Como os ambientes de edificações sofrem influências do clima, o momento e a duração da avaliação são determinantes dos seus resultados, havendo a necessidade de defini-los em função de critérios que possam garantir que o trabalhador não será exposto a condições de sobrecarga térmica.

Neste trabalho tem-se o objetivo de apresentar contribuições para o aprimoramento da norma NR 15, sobre a avaliação das condições de sobrecarga térmica do trabalhador, levando em conta também as características climáticas do local.

2 AVALIAÇÃO DA SOBRECARGA TÉRMICA

Trabalho realizado em ambientes com temperatura do ar elevada, fontes radiantes de elevada intensidade, alta umidade ou exigindo taxas metabólicas elevadas tem potencial de gerar uma sobrecarga térmica nos seres humanos lá atuantes. Alguns exemplos de processos de produção nessas condições são as fundições de metais de elevado ponto de fusão, como o aço; plantas de produção de peças cerâmicas; unidades de produção de vidro; fornos de padarias e cozinhas industriais; carregamento de peças pesadas sob o sol (OSHA, 2015).

A atenção maior é dada, tanto pelos documentos técnicos que apresentam os métodos de avaliação como por artigos científicos acerca da sobrecarga

térmica, aos métodos de cálculo; aos equipamentos empregados nas avaliações; nas condições de instalação destes em relação aos processos produtivos; e na estimação da taxa metabólica do trabalhador, tanto no seu posto de trabalho, como em seu local de repouso. Nesses documentos, são virtualmente, ignorados os efeitos das condições climáticas e do impacto do edifício. Essa posição é razoável em situações em que a carga higrotérmica decorrente do processo produtivo é significativamente maior que as demais e contínua.

2.1 Características do IBUTG

Há vários indicadores para se avaliar o grau de severidade da condição de exposição do trabalhador ao ambiente higrotérmico. Há mais de 40 desses índices, desenvolvidos a partir de 1905. Dentre eles, o mais usado, atualmente, é o IBUTG, seja pela sua simplicidade de obtenção seja por ter sido alvo de uma norma ISO, de número 7243 (ISO, 1989).

O IBUTG foi desenvolvido no final da década de 1950 pelo Departamento do Corpo de Recrutas de Fuzileiros Navais dos EUA *em Parris Island* na Carolina do Sul. Nessa região de elevada umidade relativa, os fuzileiros realizavam exercícios vigorosos vestindo trajes militares, sob sol intenso. Seu uso, em substituição ao método anterior, baseado na temperatura e umidade do ar, provou-se mais efetivo, uma vez que reduziu o número de ocorrências de problemas de saúde e de horas de treinamento perdidas em relação ao que se verificava anteriormente (Governo Australiano, 2016). O uso do termômetro de globo permite a avaliação de cargas radiantes, bem como do efeito da circulação de ar (BUDD, 2007).

Associados à adoção da temperatura de globo, foram importantes para se conseguir melhorar a proteção térmica dos trabalhadores: a realização de estudos epidemiológicos para definir limites de exposição seguros e a consideração de adoção de limites especiais para as populações mais frágeis. Contudo, Budd, ressalta que os limites de IBUTG têm de ser avaliados com cuidado, pois estudos demonstram que ambientes com elevada umidade e baixa circulação de ar acabam por gerar maior stress térmico em trabalhadores do que os verificados onde há elevada carga radiante, mesmo estando todos com o mesmo valor de IBUTG.

2.2 Exigências da NR 15 referentes à sobrecarga térmica

A Norma Regulamentadora NR 15 estabelece valores limites máximos para o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG de acordo com a atividade executada pelo trabalhador (taxa metabólica), em ambientes internos ou externos, com ou sem exposição ao sol, considerando-se regime de trabalho contínuo ou com pausas. Em ambientes internos, sem exposição ao sol, como o local analisado no presente trabalho, o IBUTG é calculado de acordo com a equação [1].

$$IBUTG = 0,7\ TBN + 0,3\ TG \qquad [1]$$

Onde:

- *TBN* — *Temperatura de Bulbo Úmido Natural*
- *TG* — *Temperatura de Globo*

Os valores limites máximos do IBUTG para regime de trabalho contínuo e regime de trabalho intermitente, com descanso no próprio local de trabalho, são indicados na Tabela 2.1. Os valores das taxas metabólicas por tipo de atividade são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Valores limites máximos do IBUTG para regime de trabalho contínuo ou intermitente com descanso no próprio local de trabalho

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	**Tipo de Atividade**		
	Leve	**Moderada**	**Pesada**
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos de trabalho	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
15 minutos de descanso			
30 minutos de trabalho	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
30 minutos de descanso			
15 minutos de trabalho	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
45 minutos de descanso			
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle.	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

(Fonte: NR 15)

Tabela 2.2 – Taxa de metabolismo por tipo de atividade.

Tipo de atividade	**kcal/h**
Sentado em repouso	100
Trabalho leve	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.: datilografia)	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir)	150
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada	150
Trabalho Moderado	
Sentado, movimentos vigorosos	180
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada com alguma movimentação	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300
Trabalho Pesado	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar, arrastar	440
Trabalho fatigante	550

(Fonte: NR 15)

Nos casos em que o regime de trabalho é intermitente, com período de descanso em outro local, com condições térmicas mais amenas, calcula-se a taxa metabólica média ponderada para uma hora, determinada pela equação [2]. Nessa situação, deve ser calculado o IBUTG médio ponderado para uma hora, de acordo com a equação [3] e considerados os valores limites máximos do IBUTG indicados na Tabela 2.3.

$$M = (Mt \times Tt + Md \times Td)/60 \quad \textbf{[2]}$$

Onde:

- *Mt* — *Taxa metabólica do trabalhador no local de trabalho.*
- *Tt* — *Soma dos tempos, em minutos, em que o trabalhador permanece no local de trabalho.*
- *Md* — *Taxa metabólica do trabalhador no local de descanso.*
- *Td* — *Soma dos tempos, em minutos, em que o trabalhador permanece no local de descanso.*

$$\underline{IBUTG} = (IBUTGt \times Tt + IBUTGd \times Td)/60 \quad \textbf{[3]}$$

Onde:

- *IBUTGt* — *Valor do IBUTG no local de trabalho.*
- *IBUTGd* — *Valor do IBUTG no local de descanso.*
- *Tt e Td* — *Como definido anteriormente.*

Tabela 2.3 – Valores limites máximos do IBUTG para regime de trabalho intermitente com descanso em local com condições térmicas mais amenas.

M (kcal/h)	IBUTG Máximo
175	30,5
200	30,0
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26,0
450	25,5
500	25,0

(Fonte: NR 15)

2.3 Necessidades de uma visão geral

A NR 15 estabelece que o IBUTG deve ser calculado para o período de uma hora. Porém, não são fornecidas informações tais como a época do ano ou período em que a avaliação das condições térmicas do ambiente deve ser efetuada. Sabendo-se que o comportamento térmico de edificações sofre influências do clima, esse fator deve ser levado em

consideração na avaliação do risco de sobrecarga térmica de um local de trabalho.

Para a adequada avaliação das condições de sobrecarga térmica à qual podem estar expostos os trabalhadores e gerar medidas efetivas para a manutenção de sua salubridade térmica é necessário que seja adotada uma abordagem mais abrangente e detalhada do que a realização de uma série de medições de IBUTG. Recomenda-se, considerar fatores como: as condições climáticas locais; os aspectos construtivos do edifício; realizar entrevistas com os trabalhadores; e analisar registros históricos de ocorrência de problemas relativos à exposição ao calor. Em particular, essas 3 últimas recomendações são apresentadas também em manual desenvolvido pelo departamento norte-americano *Occupational Safety & Health Administration* - OSHA, (OSHA, 2016)

Para se considerar o efeito do edifício, deve ser feita uma vistoria técnica onde se determine as suas características construtivas; regime de operação das principais fontes de calor, como fornos, a presença e operação de equipamentos como exaustores; confirmar as informações obtidas das entrevistas com os trabalhadores e realizar algumas medições exploratórias acerca das condições higrotérmicas locais. Somente após esses passos, as demais atividades necessárias à determinação do IBUTG, como estimativa de taxas metabólicas deve receber atenção (OSHA, 2016).

3 MÉTODO

Foram efetuadas medições da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido natural e temperatura de globo em pontos considerados críticos na área de produção de uma fábrica de produtos plásticos, situada na cidade de São Paulo, com o intuito de avaliar situações de sobrecarga térmica de trabalhadores, tendo-se como referência as exigências indicadas na Norma Regulamentadora NR 15 do Ministério do Trabalho.

3.1 Descrição da edificação

A edificação é composta por paredes em blocos vazados de concreto revestidos com argamassa comum em ambas as faces, com espessura total de 14 cm e cobertura em painéis de concreto com espessura de 5 cm, com acabamento externo em cor escura. A área da fábrica é subdividida em quatro setores, com fontes internas de calor significativas compreendendo máquinas, iluminação e funcionários.

3.2 Procedimentos adotados

Foi selecionado um setor localizado na região central da fábrica, distante de aberturas para ventilação, e que apresenta maior quantidade de máquinas de conformação plástica a quente e outros elementos que dissipam quantidade significativa de calor para o ambiente. Esse setor foi identificado durante uma vistoria técnica inicial como aquele que tem maior potencial

de proporcionar sobrecarga térmica aos trabalhadores. Ainda nessa vistoria técnica inicial, foram feitas imagens termográficas de áreas da fábrica para se determinar as temperaturas das superfícies de equipamentos a fim de se ter maior confiança na seleção dos ambientes termicamente mais críticos do ponto de vista do possível estresse térmico de trabalhadores.

Após a vistoria inicial, foram feitas medições de parâmetros térmicos com o intuito de: a) avaliar o risco de sobrecarga térmica; b) obter informações sobre a resposta térmica da edificação em função do clima; e c) no caso de ocorrência de sobrecarga térmica, identificar em quais situações isso ocorre.

As medições foram realizadas em 2 etapas, respectivamente nos meses de julho e setembro de 2015, com duração de uma semana cada, aproximadamente, com aquisição de dados em intervalos de quatro minutos, intervalo de tempo considerado adequado, tanto à estabilidade dos processos produtivos, como à resposta térmica da edificação. Foram obtidas as seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, umidade relativa e temperatura de bulbo úmido natural no setor selecionado. Na área externa da edificação, foram feitas medições da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa. Foi efetuado o cálculo do IBUTG do dia com condições mais críticas quanto à possibilidade de ocorrência de sobrecarga térmica. Em todas as medições foram utilizados equipamentos que atendem os requisitos de normas técnicas de medição (ISO, 1998), com certificado de calibração válido.

Observando-se as atividades realizadas pelos trabalhadores, constatou-se que elas são do tipo "leve com alguma movimentação" às quais pode ser atribuída uma taxa metabólica da ordem de 175 kcal/h.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nas Figuras 4.1 e 4.2 são apresentados, respectivamente, os valores da temperatura de bulbo seco exterior, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e temperatura de bulbo úmido natural interior, no dia 24/07 e os valores calculados do IBUTG. Nas Figuras 4.3 e 4.4 são indicados os mesmos parâmetros para o dia 19/09. Na Figura 4.5 são apresentadas imagens termográficas da área da produção e, nas Tabelas 4.1 e 4.2, são indicados os intervalos de valores do IBUTG e o regime de trabalho permitido segundo a NR 15.

Ressalta-se que, apesar dos meses de julho e setembro não estarem compreendidos no período de verão, a temperatura do ar exterior encontrava-se em patamares elevados em relação aos valores típicos desses meses. Em especial, destaca-se que a temperatura máxima do dia 19/09 atingiu 35 °C, valor característico de dia de verão extremo na cidade de São Paulo.

Figura 4.1 – Temperatura de bulbo seco do ar exterior, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e temperatura de bulbo úmido natural no dia 24/07

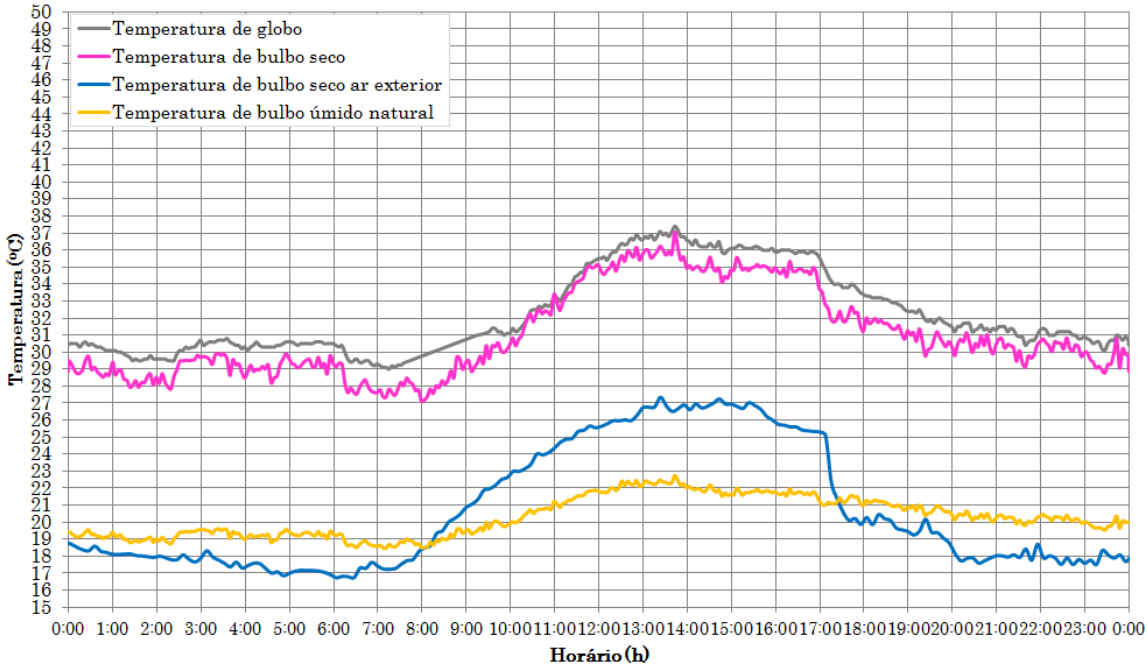


Figura 4.2 – IBUTG calculado para o dia 24/07

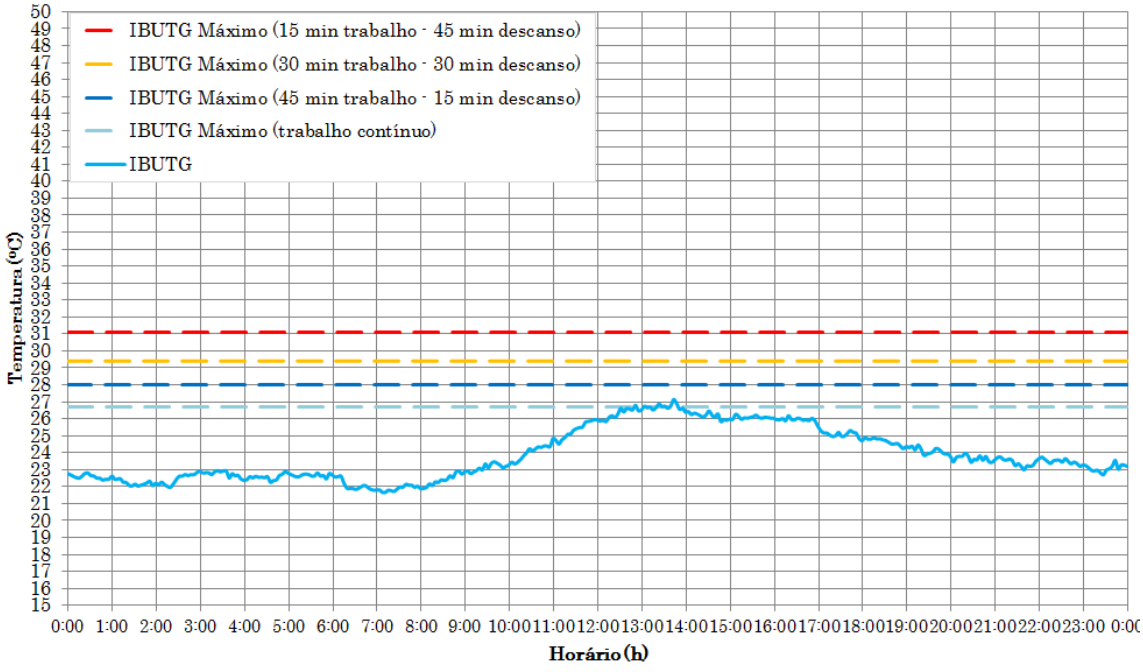


Figura 4.3 – Temperatura de bulbo seco do ar exterior, Temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e temperatura de bulbo úmido natural no dia 19/09

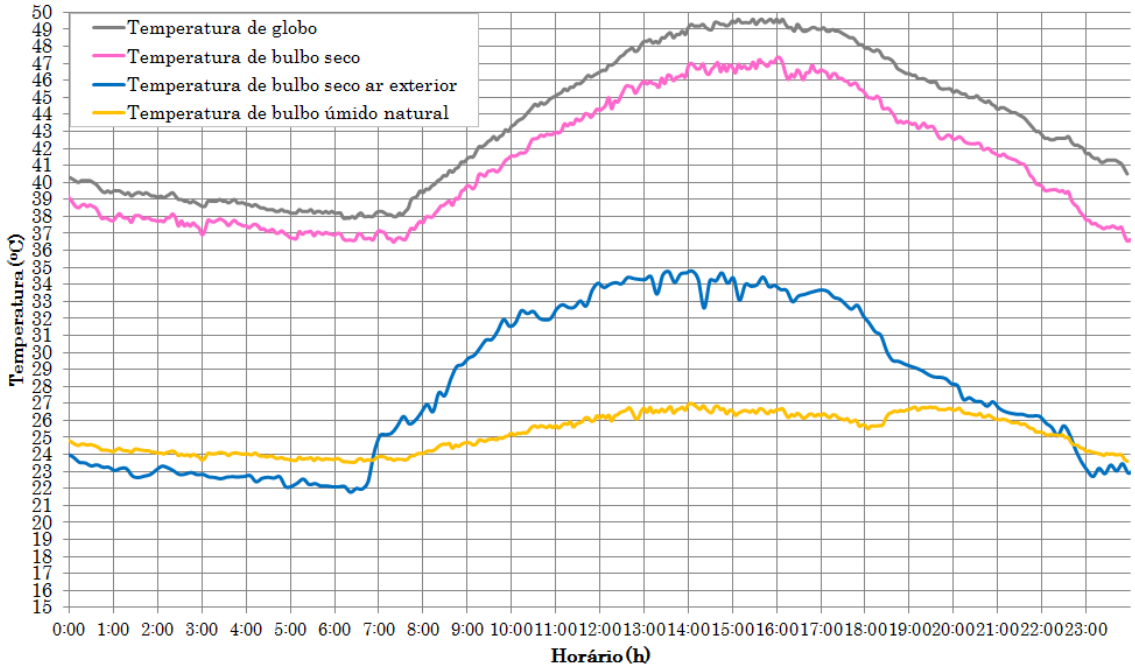


Figura 4.4 – IBUTG calculado para o dia 19/09

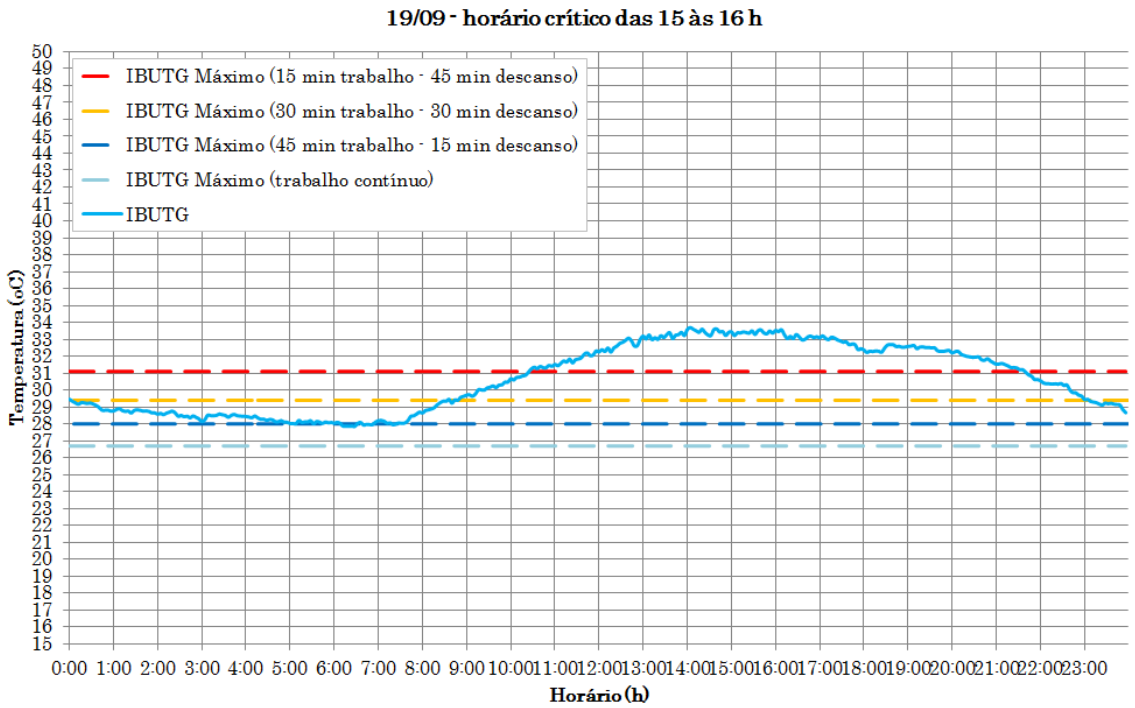


Figura 4.5 – Imagens termográficas de áreas da fábrica indicando temperaturas das superfícies de equipamentos no dia 24/07

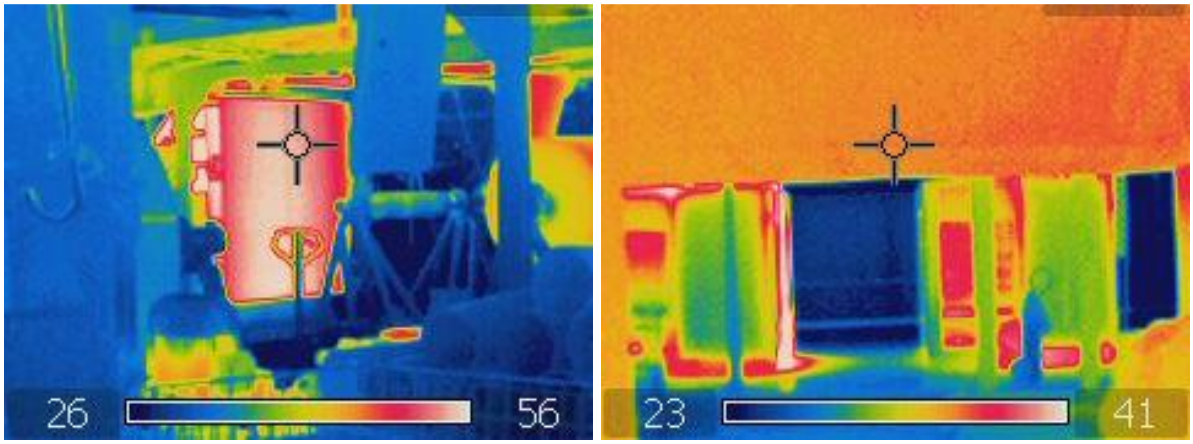


Tabela 4.1 – Valores máximos do índice IBUTG e regime de trabalho permitido segundo a NR 15 no dia 24/07.

IBUTG	Regime de trabalho permitido	Horário
≥ 27,2	45 minutos de trabalho e 15 minutos de descanso no próprio local de trabalho	13 h às 14 h
< 27	Trabalho contínuo	Antes das 13 h e após as 14 h

Tabela 4.2 – Valores máximos do índice IBUTG e regime de trabalho permitido segundo a NR 15 no dia 19/09.

IBUTG	Regime de trabalho permitido	Horário
29,4 > IBUTG > 28	45 minutos de trabalho e 15 minutos de descanso no próprio local de trabalho	0 às 9 h e após 23 h
31,1 > IBUTG > 29,4	30 minutos de trabalho e 30 minutos de descanso no próprio local de trabalho	9 h às 10h30 e das 21h30 às 23 h
IBUTG > 31,1	Trabalho não permitido sem medidas de controle	10h30 às 21h30

4.1 Condições térmicas da fábrica

Nos dias com condições térmicas mais críticas, apresentados nas Figuras 4.1 a 4.4, o valor da temperatura do ar interior da área de produção da fábrica é da ordem de 10 °C a 13 °C maior do que o valor da temperatura do ar exterior. Essa situação é decorrente, majoritariamente, das fontes internas de calor, como máquinas de conformação de plástico a quente, equipamentos, iluminação e pessoas, que contribuem de modo significativo para a elevação da temperatura do ar interior. Entretanto, a interação da envoltória com o clima também exerceu efeito importante na resposta térmica da edificação.

A temperatura de globo é maior do que a temperatura do ar interior nos dois períodos de medições. Isso evidencia que ocorrem ganhos de calor

significativos por radiação, emitida por pessoas, iluminação, máquinas e componentes com superfície de alta emissividade aquecidos. Isso pode ser observado nos gráficos das Figuras 4.1 e 4.3 e nas imagens termográficas indicadas na Figura 4.5. A cobertura da edificação também contribui para o aquecimento dos ambientes por não possuir forro e ter superfície externa com baixa refletância à radiação solar (cor escura), que proporciona maior absorção da radiação solar.

Essas características da fábrica resultam em um local propício à sobrecarga térmica de trabalhadores, também em função do clima. Observou-se que, quando a temperatura do ar exterior for maior do que 27 °C, o que pode ocorrer em parte significativa do ano na cidade de São Paulo, não somente no período de verão, pode haver sobrecarga térmica de trabalhadores nos horários mais quentes do dia.

4.2 O IBUTG obtido em função das condições climáticas da cidade

No dia 24/07, período de inverno, em que a temperatura máxima do ar exterior ficou acima de 27 °C, a temperatura máxima do ar e a temperatura máxima de globo no interior da fábrica foram da ordem de 37 °C, como indicado na Figura 4.1. Nessa circunstância, no período entre as 13 e as 14 h, foi ultrapassado o valor limite do índice IBUTG que permite trabalho contínuo conforme a NR 15, indicando a necessidade de se alterar o regime de trabalho para 45 minutos de atividades e 15 minutos de descanso no próprio local de trabalho (Figura 4.2 e Tabela 4.1).

Situação mais crítica ocorreu no dia 19/09 em que a temperatura máxima do ar exterior foi da ordem de 35 °C (Figura 4.3). Nessa data, no interior da edificação, a temperatura máxima do ar e a temperatura máxima de globo, foram, respectivamente, 47 °C e 49,5 °C, com valor calculado do IBUTG acima de 31,4 °C em parte significativa do dia, indicando que não é permitido trabalho sem a adoção de medidas de controle (Figura 4.4 e Tabela 4.2).

Esses resultados mostram a importância da escolha adequada do período e horários para se efetuar as medições dos parâmetros térmicos do local para o cálculo do IBUTG e avaliação com base nos critérios da NR 15. No dia 24/07, caso fossem analisadas as condições térmicas do local fora do horário mais crítico do dia, em termos de risco de sobrecarga térmica do trabalhador, (das 13 às 14 h), o recinto seria considerado adequado ao trabalho contínuo. Além disso, analisando-se apenas os dados obtidos nesse dia, não se teria conhecimento das condições significativamente mais críticas às quais os trabalhadores estariam expostos em um dia com clima mais quente, como ocorreu no dia 19/09. Assim, considerando a ausência de procedimentos na NR 15 para se efetuar a avaliação, o seu resultado poderia ser impreciso e inadequado, colocando a saúde dos trabalhadores em risco, o que indica a necessidade de rever tal norma.

Nesse contexto, propõe-se que sejam acrescentados na NR 15, procedimentos que incluam questões como o clima do local e o momento

no qual deve ser realizada a avaliação, considerando que, em nenhum horário do dia o trabalhador deve ser exposto às condições que repercutam em riscos à sua saúde.

Para se considerar condições climáticas do local, dias típicos de verão ou de inverno, com frequência de ocorrência conhecida, podem ser adotados como referência na avaliação. Isso possibilita ter o conhecimento da abrangência dos resultados da avaliação. Na Norma Brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), há dados de dias típicos de projeto para algumas capitais brasileiras com frequência de ocorrência da ordem de 10% (Tabela 4.4). Especificamente para a cidade de São Paulo, há também dados climáticos de dias típicos de projeto apresentados por Akutsu e Vittorino (1991), para condições com frequência de ocorrência entre 1 e 30 %, como indicado na Tabela 4.5.

Tabela 4.4 – Valores máximos da temperatura do ar exterior em dias típicos de verão em algumas capitais brasileiras segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013)

Cidade	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar no plano horizontal (Wh/m²)
Brasília	31,2	12,5	20,9	4625
Campo Grande	33,6	10	23,6	5481
Cuiabá	37,8	12,4	24,8	4972
Curitiba	31,4	10,2	21,3	2774
Manaus	34,9	9,1	26,4	5177
São Paulo	31,9	9,2	21,3	5180

Tabela 4.5 – Valores máximos da temperatura do ar exterior em dias típicos de verão em função da sua frequência de ocorrência segundo Akutsu e Vittorino (1991)

Frequência de ocorrência (%)	Temperatura máxima do ar exterior
1	33,2
2,5	32,5
5	32,2
10	31,4
20	30,0
30	29,1

5 CONCLUSÕES

As condições climáticas de verão em várias localidades brasileiras podem contribuir com parcela significativa de calor no ambiente interno de edificações podendo levar à sobrecarga térmica de trabalhadores.

Desse modo, para uma avaliação criteriosa do risco de sobrecarga térmica de trabalhadores é fundamental levar em conta tanto as características da edificação e da sua ocupação, quanto as condições climáticas do local em períodos representativos das condições de verão, tendo em vista os

momentos mais críticos a serem considerados na avaliação do desempenho térmico do ambiente. Isto foi evidenciado no estudo de caso apresentado, onde se pode observar a grande variação da temperatura do ar interior ao longo do período de ocupação dos trabalhadores, o que define os horários mais adequados para se proceder as medições, como também os níveis de temperatura alcançados no ambiente interno, em função dos níveis de temperatura apresentados pelo ar externo, o que define os períodos do ano mais adequados para as medições.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de procedimentos para o tratamento de dados climáticos. In: Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, 1990. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:** Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BUDD, Grahame M. Wet-bulb globe temperature (WBGT) — its history and its limitations - School of Exercise and Sport Science, Faculty of Health Sciences, The University of Sydney, Australia, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Standard 7726:** Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. Geneva, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil** – Temperatura máxima absoluta - 1961-1990, obtida no sítio eletrônico: www.inmet.gov.br, 2016.

MINISTÉRIO DO TRABALHO DO BRASIL. **NR-15** - Norma Regulamentadora. Portaria 3.214 de 08 de junho de 1978.

Governo Australiano, sítio eletrônico: http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/#wbgt

Occupational Safety & Health Administration (OSHA), obtida no sítio eletrônico: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html#7, 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO DE ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR PROJETADOS ATRAVÉS DE MODELAGEM PARAMÉTRICA[1]

CARTANA, Rafael Prado (1); PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (2); BERTÉ, Eduardo João (3)

(1) UNIVALI/UFSC, e-mail: cartana@univali.br; (2) UFSC, e-mail: ruttkay.pereira@ufsc.br; (3) UNIVALI, e-mail: eduardoberte@univali.com

RESUMO

Considerando a importância da radiação solar e iluminação natural no desempenho das edificações, juntamente aos recentes avanços da computação, como a geração paramétrica de geometrias complexas e sua avaliação por simulação computacional, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. Como metodologia foram desenvolvidos modelos de elementos de controle utilizando a suíte Rhinoceros+Grasshopper. Tais modelos foram avaliados empregando os aplicativos Diva-for-Rhino e Autodesk Ecotect Analysis. O desempenho térmico foi avaliado por meio da admissão da radiação solar incidente e de mascaras de sombra, enquanto o desempenho lumínico foi avaliado pela admissão e distribuição da luz natural, utilizando as medidas: FLD (Fator de Luz Diurna), DA (*Daylight Autonomy*) e UDI (*Useful Daylight Illuminances*). Como principais resultados, os elementos que possuem componentes direcionais foram os únicos que apresentaram capacidade seletiva de admissão de radiação entre inverno e verão. Os elementos que possuem componentes horizontais apresentaram distribuições mais homogêneas da iluminação natural. Como principais conclusões, os resultados demonstram que apesar das possibilidades computacionais de geração e simulação de formas complexas, reforca-se a importância da compreensão da geometria da insolação para o desempenho dos elementos de controle solar.

Palavras-chave: Elementos de controle solar. Modelagem paramétrica. Desempenho térmico e lumínico. Radiação solar.

ABSTRACT

Considering the importance of solar radiation and daylight in buildings performance, along with recent advances in computing, such as parametric generation of complex geometries and their evaluation by computational simulation, this paper aims to evaluate the thermal and luminic performance of solar control devices designed using parametric modeling. As methodology were developed models of solar control devices using the suite Rhinoceros+Grasshopper. These models were evaluated using the DIVA-for-Rhino and Autodesk Ecotect Analysis tools. Regarding to thermal performance were evaluated the incident solar radiation and its shadow masks. Regarding the luminic performance were evaluated the daylight admission and distribution in a test environment using the metrics: DF

[1] CARTANA, R.P.; PEREIRA, F.O.R.; BERTE, E.J.. Avaliação de desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

(Daylight Factor), DA (Daylight Autonomy) and UDI (Useful Daylight Illuminances). As main results, the devices that have directional components were the only ones who presented a selective capacity regarding solar radiation admission between winter and summer. The devices which have horizontal components provided more homogeneous distribution of daylight. As main conclusions, the results showed that despite the computational possibilities of generation and simulation of complex shapes, is reinforced the importance of solar geometry understanding for the performence of solar control devices.

***Keywords**: Solar control devices. Parametric modeling. Thermal and luminic performance. Solar radiation.*

1 INTRODUÇÃO

Os elementos de controle solar desempenham importante papel no comportamento ambiental das edificações, principalmente em climas onde se faz necessária a admissão seletiva da radiação solar direta. Sendo os envelopes construtivos, responsáveis pelas trocas térmicas com o meio, assim como a admissão de luz natural; o desempenho ambiental dos sistemas de fachadas vem se tornando cada vez mais importante na arquitetura, principalmente devido ao aumento da proporção de áreas envidraçadas nos edifícios atuais (BADER, 2010; FAJKUS, 2013; CHO; YOO; KIM, 2014).

Considera-se relevante, ainda, que o emprego de ferramentas digitais se estabeleceu nas últimas décadas como um dos principais direcionadores de exploração na arquitetura contemporânea (CASTLE, 2013). Neste contexto, as tecnologias digitais vêm se tornando cada vez mais importantes não apenas para uma representação gráfica ágil e precisa, mas também no auxílio às decisões de projeto, através do emprego integrado de recursos como modelagem paramétrica e simulação computacional.

A modelagem paramétrica é um recurso computacional que permite definir relações entre elementos ou grupos de elementos, aplicando valores ou expressões para organizar e controlar estas definições (TAGLIARI; FLORIO, 2009; DUNN, 2012). A variabilidade de soluções paramétricas facilita a avaliação de diversas alternativas de projeto antes da escolha de uma solução definitiva (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). Nestas situações, a simulação computacional surge como importante ferramenta de auxilio à tomadas de decisão.

A suíte Rhinoceros 3D+Grasshopper, aplicativos utilizados neste trabalho, possibilitam a modelagem paramétrica de formas complexas. O Rhinoceros3D tem como principal característica a capacidade de trabalhar com NURBS (*Non Uniform Rational Basis Splines*), possibilitando descrever uma infinidade de formas orgânicas. O plug-in de modelagem paramétrica Grasshopper consiste em um editor visual de programação computacional que permite a manipulação dos elementos de lógica em forma gráfica e não textual (AKOS; PARSONS, 2014).

Para as avaliações de desempenho térmico e lumínico foram empregados índices e medidas relativos à radiação solar e à iluminação natural. Para as simulações foi utilizado o plug-in DIVA-for-Rhino, capaz de produzir mapas de radiação e medidas de iluminação natural baseadas em dados climáticos,

juntamente com o aplicativo Ecotect Analysis, que oferece funcionalidades como a geração automática de máscaras de sombra.

Em relação à iluminação natural foram empregadas as medidas dinâmicas: Autonomia da Iluminação Natural (DA) e UDI - *Useful Daylight Illuminances*, juntamente com medida estática, Fator de Luz diurna (FLD). As medidas dinâmicas são assim denominadas por utilizarem condições realísticas da variação de céu e insolação ao longo do tempo, fornecendo resultados para cada hora do ano em cada ponto considerado no ambiente (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

A Autonomia da Iluminação Natural (DA) – *Daylight Autonomy* é definida como: a porcentagem de horas ocupadas do ano onde um valor mínimo de iluminância, no caso 300lx, é atingido (REINHART; WIENOLD, 2011). Como limitação, a medida DA não apresenta limite superior, dificultando a indicação da possibilidade de desconforto por excesso de luz (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). Por sua vez, a medida UDI - *Useful Daylight Illuminances* estabelece limites inferior e superior para admissão da iluminação natural. Definindo em 100lx a medida inferior, onde um ponto sobre um plano horizontal estaria muito escuro e 2.000lx o limite superior onde o mesmo estaria muito claro (REINHART, F; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). Tanto as medidas de DA, quanto de UDI são expressas em porcentagem das horas do ano (%) para cada ponto analisado.

Em estudos similares ao desenvolvido neste trabalho, Niloufar, Khodadadi e Buelow (2014) avaliaram o desempenho lumínico de telas de sombreamento com formas complexas. Como limitação, apesar de empregar medidas dinâmicas, o estudo não estabelece um limite superior para admissão de luz natural e consequentemente de radiação solar.

Também abordando formas complexas, Bader (2010) apresenta um estudo de um protótipo para um elemento de controle solar, onde foram feitas análises de admissão de radiação solar e distribuição de luz natural. Como limitação o estudo não emprega medidas dinâmicas além de avaliar a distribuição da luz natural em um ambiente com pouca profundidade.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados por meio de modelagem paramétrica.

3 MÉTODO

Visando a atingir o objetivo proposto, o presente trabalho foi desenvolvido segundo as etapas descritas a seguir:

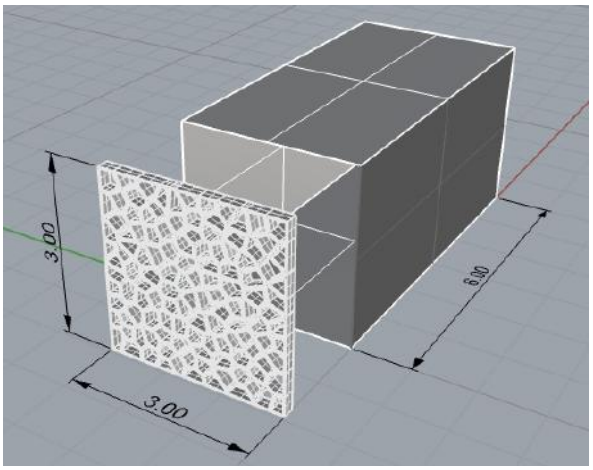
- Definição dos parâmetros geométricos para elaboração dos elementos de controle solar;
- Modelagem dos elementos de controle solar empregando a suíte de aplicativos Rhinoceros+Grasshopper;

- Simulações computacionais para avaliação do desempenho térmico e lumínico dos elementos desenvolvidos.

3.1 Definição dos parâmetros geométricos para elaboração dos elementos de controle solar

Os elementos de controle solar produzidos foram adequados a uma fachada plana, de orientação Oeste, com 3m de largura por 3m de altura, frente a um ambiente de 18m², com 6m de profundidade e toda área de fachada (9m²) aberta ao exterior, como apresentado na figura 1.

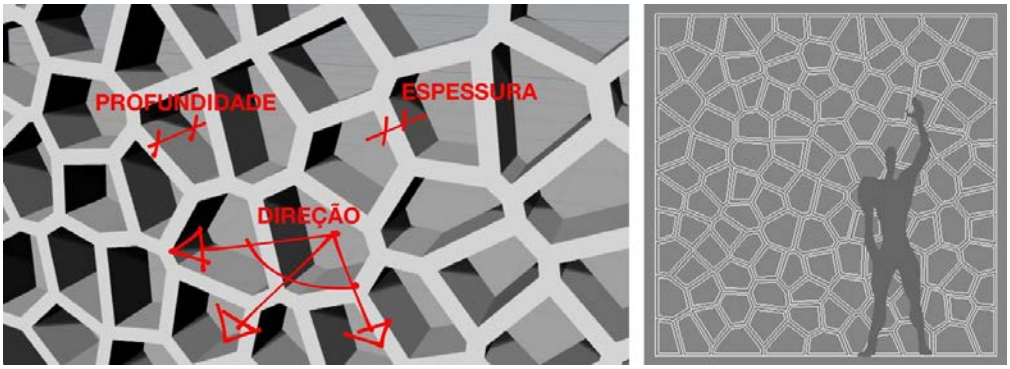
Figura 1 – Dimensões dos elementos de controle solar e ambiente de análise.



Fonte: Os autores

Visando o estabelecimento de relações de causa e efeito entre a geometria e desempenho dos elementos desenvolvidos, foram definidos os seguintes parâmetros geométricos de variação entre os modelos: direção, espessura e profundidade dos componentes (no caso, das aletas). Complementarmente foi calculada a permeabilidade visual através dos elementos em relação ao plano normal à fachada, como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Paramentos geométricos dos elementos de controle solar e permeabilidade visual no plano normal à fachada.

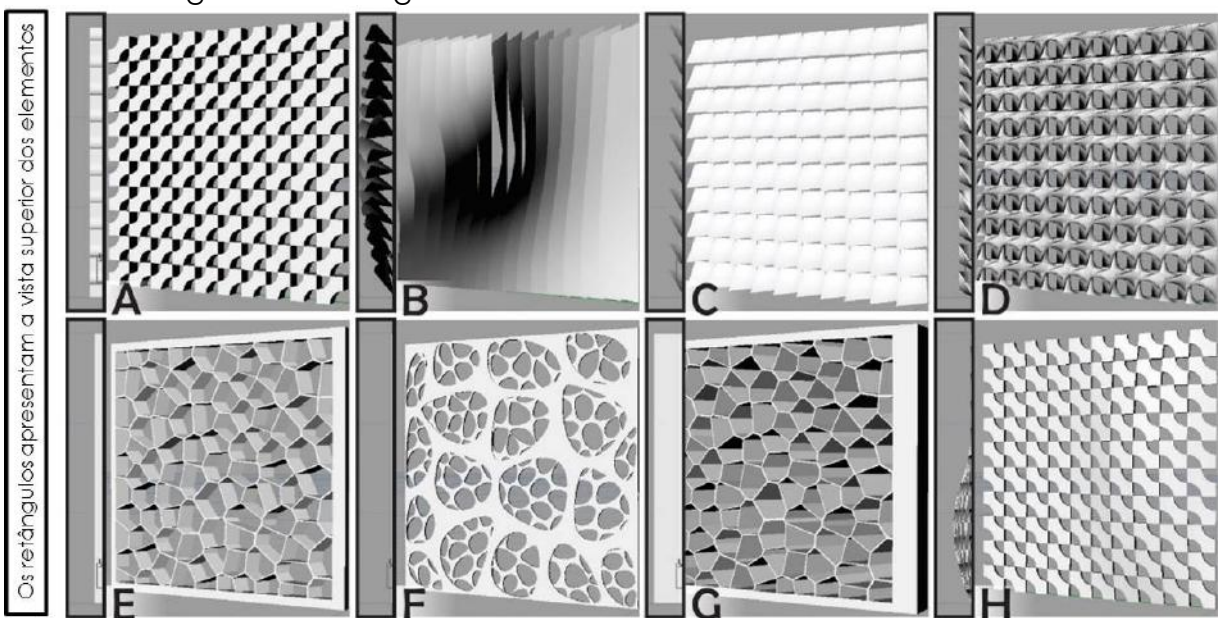


Fonte: Os autores

3.2 Modelagem dos elementos de controle solar empregando a suíte de aplicativos Rhinoceros+Grasshopper

Visando investigar as possibilidades computacionais na geração de formas complexas empregando a suíte de aplicativos Rhinoceros3D+Grasshopper foram produzidos os modelos de elementos de controle solar apresentados na figura 3. O principal critério de concepção dos modelos foi a exploração de diferentes formas que pudessem ser utilizadas como elementos de controle solar.

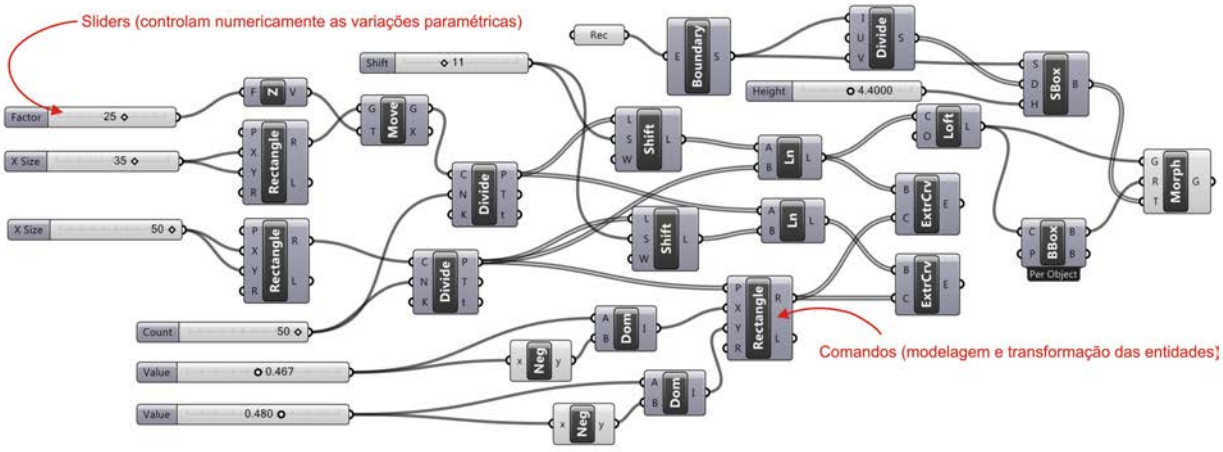
Figura 3 – Visão geral dos elementos de controle solar desenvolvidos.



Fonte: Os autores

Visando exemplificar a interface dos aplicativos utilizados, a figura 4 apresenta o algoritmo de modelagem do elemento D no Grasshopper. Onde em destaque podem ser observados os comandos empregados e suas variações paramétricas.

Figura 4 – Algoritmo de modelagem do elemento D no Grasshopper.

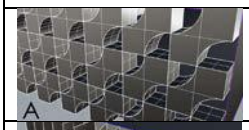
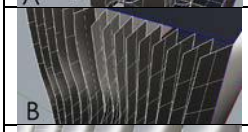
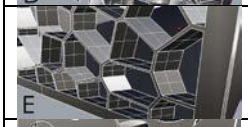
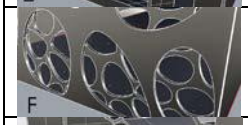


Fonte: Os autores

Em uma breve descrição de sua concepção geométrica, os elementos A, C, D e H, foram desenvolvidos através da repetição de um módulo em uma malha de cem unidades. O elemento B foi desenvolvido a partir da distorção de um conjunto de aletas verticais, já os modelos E, F e G, foram desenvolvidos empregando algoritmos Voronoi, gerando malhas de células irregulares.

O quadro 1 apresenta os parâmetros geométricos e principais comandos de modelagem empregados no Grasshopper. Por limitação de espaço neste trabalho torna-se inviável a apresentação completa dos algoritmos das oito modelagens.

Quadro 1 – Parâmetros geométricos e principais comandos de modelagem empregados no Grasshopper.

Elemento	**Profundidade (cm)**	**Espessura (cm)**	**Direção**	**Principais comandos Grasshopper**
 A	16	Variável	Oeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox)
 B	No máximo 41	Superfícies (sem espessura)	Variável, de Oeste à Noroeste	Divide Curve (Divide) Rotate 3D (Rot3D) Loft
 C	No máximo 17	Superfícies (sem espessura)	Variável de Norte à Noroeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox)
 D	No máximo 16	Superfícies (sem espessura)	Noroeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox) Extrude Along (ExtrCrv)
 E	11	De 1 à 2	Noroeste	Populate 2D (Pop2D) Voronoi Extrude (Extr)
 F	4	Variável	Oeste	Populate 2D (Pop2D) Voronoi Offset / Extrude (Extr)
 G	34	De 1 à 2	Noroeste	Populate 2D (Pop2D) Voronoi Extrude (Extr)
 H	3	Variável	Oeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox)

Fonte: Os autores

Quanto aos parâmetros geométricos, profundidade, espessura e direção, os elementos F e H se diferenciam dos demais por possuírem menores profundidades; quanto à espessura, torna-se importante estabelecer a relação entre a mesma e permeabilidade normal à fachada, onde os elementos C e G apresentam as maiores obstruções; quanto à direção, os elementos B, C, E e G possuem componentes verticais propositalmente orientados à Noroeste em sua composição.

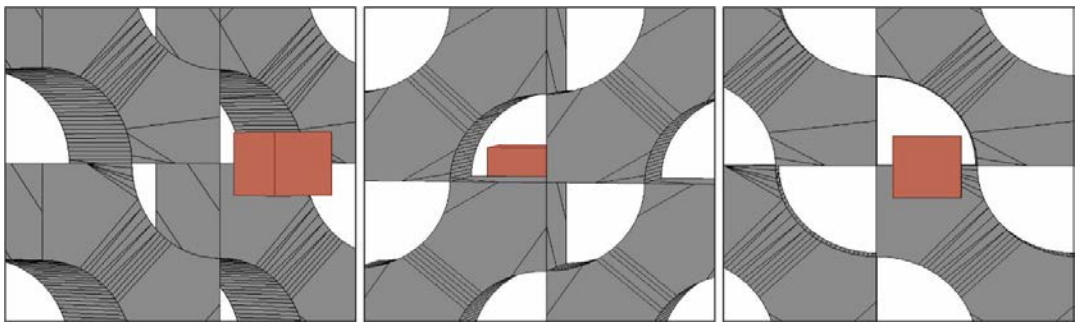
3.3 Simulações computacionais para avaliação do desempenho térmico de lumínico dos elementos desenvolvidos

Como referido anteriormente, devido à sua maior sensibilidade à admissão de radiação solar, foi escolhida a fachada Oeste para realização de todas as simulações. Para as mesmas foi utilizado o arquivo climático BRA_ Florianopolis.838990_SWERA.epw, referente à cidade de Florianópolis/SC, (latitude 27°S). Disponível em: https://energyplus.net/weather

3.3.1. Mascaramento e permeabilidade normal à fachada

Utilizando o aplicativo Ecotect Analysis foram geradas máscaras de sombra a partir das aberturas dos elementos de controle. Visando facilitar o posicionamento dos pontos de geração das máscaras, foram criados cubos de 10x10x10cm, as mascaras foram geradas a partir dos centros das faces verticais orientadas para as aberturas dos elementos de controle. Assim como se procede em análises de janelas, os cubos foram posicionados centralizados aos componentes verticais e alinhados com a base inferior dos componentes horizontais dos elementos analisados, como exemplificado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo de posicionamento do cubo para geração da máscara de sombra do elemento A.



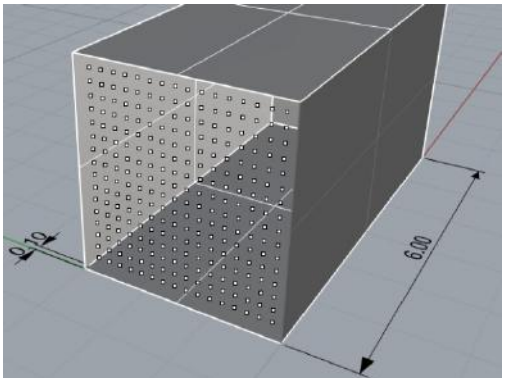
Fonte: Os autores

Complementarmente, por meio da planificação dos elementos em entidades 2D, foi possível o cálculo de sua permeabilidade visual em relação ao plano normal à fachada.

3.3.2. Análise de radiação incidente

Utilizando o *plug-in* DIVA-for-Rhino foram realizadas simulações da radiação solar incidente para os meses de Janeiro e Julho, por corresponderem respectivamente aos meses de maior e menor radiação incidente. Para todas as simulações de radiação foi criado um plano vertical de análise com sensores espaçados em uma malha de 20x20cm, afastada em 10cm do alinhamento da fachada, como demonstrado na figura 6.

Figura 6 – Plano de análise da radiação incidente.



Fonte: Os autores

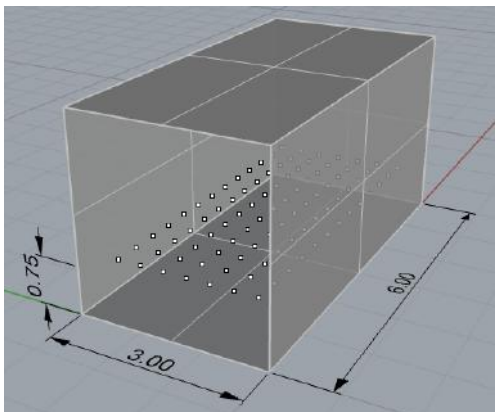
Para as análises de radiação foi utilizada uma medida denominada neste trabalho como: "Coeficiente de admissão da radiação solar incidente". Resultado da comparação percentual entre a radiação incidente no plano de análise antes e depois da utilização dos elementos de controle solar desenvolvidos.

A capacidade seletiva dos elementos em proporcionar a rejeição da radiação nos períodos de verão e admissão nos períodos de inverno, foi adotada como critério de eficiência nas análises realizadas.

3.3.3. Análise da admissão e distribuição da luz natural

Para as simulações de desempenho lumínico foram empregadas as medidas: Autonomia da Iluminação Natural (DA) – *Daylight Autonomy*, UDI - *Useful Daylight Illuminances* e Fator de Luz Diurna Médio no ambiente. Para estas simulações foi criado um plano de análise horizontal, posicionado à 75cm do piso do ambiente e com 50cm de afastamento entre os sensores, como demonstrado na figura 7. As simulações foram realizadas para o período de um ano inteiro, e assim como em relação à radiação, inicialmente foi simulado um modelo sem nenhuma obstrução na fachada, possibilitando a verificação do desempenho lumínico do ambiente em sua configuração original.

Figura 7 – Plano de análise da radiação incidente.



Fonte: Os autores

4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados e análises das simulações descritas no item 3.3.

4.1 Mascaramento e permeabilidade normal à fachada

Pela análise dos dados apresentados na tabela 1 e mascaramentos na figura 8, verificou-se que devido à sua profundidade e componentes direcionais orientados à Noroeste, os elementos C (9,89%) e G (10,59%) possuem as menores permeabilidades visuais no plano normal à fachada. O que se apresenta adequado para o controle da radiação para orientação Oeste. Juntamente com C e G, porém com maiores permeabilidades, os elementos B (34,44%) e E (41,44%), também favorecem a admissão de sol no inverno e rejeição no verão por apresentarem componentes direcionais orientados à Noroeste em sua geometria, o que pode também ser verificado nos mascaramentos.

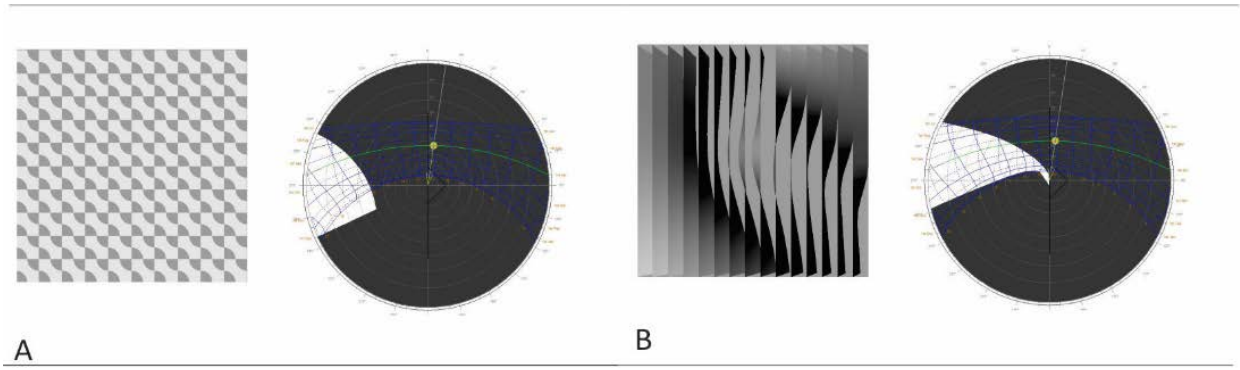
Os elementos F, E, A e H são respectivamente os que apresentam maiores permeabilidades visuais (F=44,54%, E=41,44%, A=39,44% e H=38,00). Através dos mascaramentos pode-se observar que as geometrias de F, H e A não favorecem a seletividade de radiação entre inverno e verão, sendo excessivamente abertas para a admissão de sol no verão. Diferentemente de E que é mais aberto para admissão de sol no inverno.

Tabela 1 – Área e porcentagem da permeabilidade visual normal à fachada (Oeste)

	Sem obs.	A	B	C	D	E	F	G	H
Permeabilidade Visual Normal									
m²	9,00	3,55	3,10	0,89	2,84	3,73	4,01	0,95	3,42
(%)	100,00	39,44	34,44	9,89	31,56	41,44	44,54	10,59	38,00

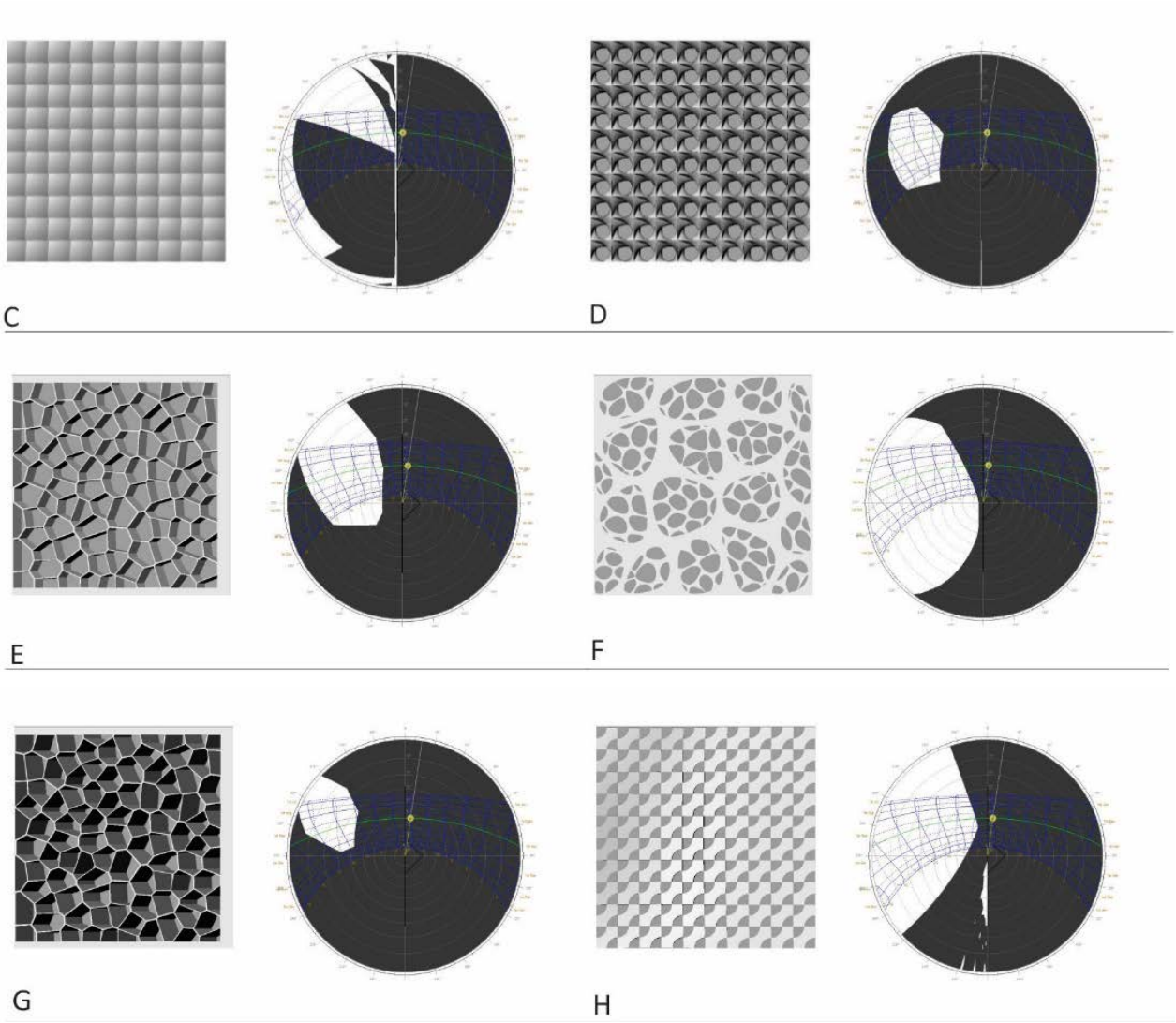
Fonte: Os autores

Figura 8 (parte 1) – Permeabilidade visual normal à fachada (Oeste) e mascaras de sombra dos elementos de controle solar desenvolvidos.



Fonte: Os autores

Figura 8 (parte 2) – Permeabilidade visual normal à fachada (Oeste) e mascaras de sombra dos elementos de controle solar desenvolvidos.



Fonte: Os autores

4.2 Análise de radiação incidente

Pode-se observar na tabela 2 e figura 9, que B, F, E e H, respectivamente, foram os modelos que mais admitiram radiação em Janeiro (B=32,19 Kwh/m², F=29,81 Kwh/m², E=29,62 Kwh/m² e H=23,07 Kwh/m²), com destaque para o elemento B, que não possui componentes horizontais em sua geometria e apesar de ser apenas o 5º em permeabilidade visual (B=34,44%), acaba sendo o 1º em admissão de radiação em Janeiro. Cabendo aqui uma ressalva sobre a eficácia da recomendação genérica de utilização de elementos verticais para controlar a radiação na fachada Oeste.

Estabelecendo uma relação com o item anterior (4.1) F, E, A e H são os elementos que possuem as maiores permeabilidades visuais, destaca-se nesse grupo as grandes admissões de radiação em Janeiro, com exceção do elemento A (12,03 Kwh/m²) que diferentemente dos demais possui maior profundidade, o que pode ser observado no quadro 1 apresentado

anteriormente.

Reforçando os resultados dos mascaramentos apresentados no item anterior (4.1), as análises comparativas de radiação incidente entre Janeiro e Julho, demonstram quantitativamente que os elementos B,C, E e G, apresentam capacidade seletiva de admissão de radiação, o que se dá devido à presença de componentes direcionais em sua geometria (ver quadro 1 e figuras 3 e 9). Fato que destaca a importância da compreensão da geometria da insolação no projeto dos elementos de controle solar.

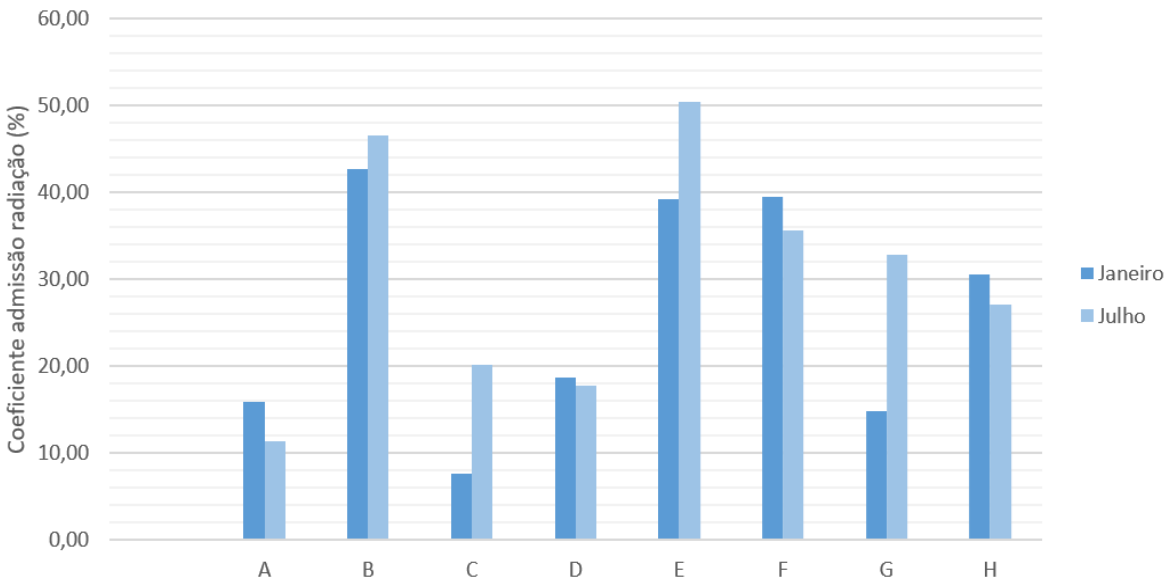
Entre este grupo, os elementos C e G apresentam-se mais eficientes quanto à capacidade seletiva, fato que se dá em função de sua maior profundidade e menor permeabilidade que os demais (razão entre Janeiro e Julho: C=0,38 e G=0,45). Visando a compreensão dos valores da tabela 2, cabe explicar que: para demonstrar a capacidade seletiva dos elementos, foi dividido o coeficiente de admissão de radiação de Janeiro, pelo de Julho. Como resultado, quanto menor o valor obtido, maior é a capacidade do elemento de rejeitar a radiação no verão e admitir no inverno.

Tabela 2 – Radiação solar incidente, Coeficiente de admissão de radiação e Razão entre Janeiro Julho.

	Sem obs.	A	B	C	D	E	F	G	H
Radiação (Kwh/m²)									
Janeiro	75,48	12,03	32,19	5,76	14,06	29,62	29,81	11,22	23,07
Julho	45,42	5,17	21,14	9,13	8,09	22,89	16,16	14,89	12,32
Coeficiente admissão radiação (%)									
Janeiro		15,94	42,65	7,63	18,63	39,24	39,49	14,86	30,56
Julho		11,38	46,54	20,10	17,81	50,40	35,58	32,78	27,12
Razão entre janeiro e julho		1,40	0,92	0,38	1,05	0,78	1,11	0,45	1,13

Fonte: Os autores

Figura 9 – Coeficiente de admissão de radiação para os meses de Janeiro e Julho.



Fonte: Os autores

4.3 Análise da admissão e distribuição da luz natural

Pela análise dos resultados apresentados na tabela 3 e figura 10, notamos que, assim como nas avaliações de radiação, B foi o elemento que apresentou maiores valores de FLD e DA. Confirmando o alto valor destas medidas (FLD=4,75% e DA=76,73) como indicativo de entrada excessiva de luz e calor.

Ao contrário de B, o elemento C, que possui permeabilidade visual de 9,89%, foi o que apresentou os mais baixos valores de admissão e distribuição da luz natural (FLD=1,09%, DA=26,64% e UDI=47,74%), o que indica que apesar de sua seletividade entre inverno e verão, o mesmo acaba admitindo pouca radiação e consequentemente, pouca luz.

Comparativamente a C, o elemento G, que também apresentou boa capacidade seletiva de radiação, admite e distribui melhor a luz natural (FLD=1,13%, DA=48,65 e UDI=77,42%), fato que se dá em função de sua geometria ser mais aberta às porções zenitais do céu e também por possuir elementos horizontais que facilitam a condução da luz para a parte mais profunda do ambiente.

Em relação à distribuição da iluminação natural nos ambientes, avaliada através da medida de UDI, pode ser observado nos elementos B e F (UDI B=69,78 e UDI F=74,84%) o efeito da pouca profundidade e falta de componentes horizontais na admissão excessiva de luz próximo à fachada.

Os elementos A, D, E e G, que possuem mais profundidade em relação às dimensões de suas aberturas, apresentaram os melhores desempenhos em relação ao UDI médio, todos acima de 77%. Com destaque para o elemento D (UDI=81,09%), que devido a seus componentes horizontais que funcionam como prateleiras de luz, distribui a luz natural da maneira mais homogênea entre todos os demais casos.

Com exceção do modelo C, pode-se afirmar que os elementos desenvolvidos proporcionaram uma melhor distribuição espacial dos valores de UDI em relação ao modelo desobstruído. Cabe observar que o ambiente de análise, sem elementos de proteção, apresenta admissão excessiva de radiação solar e distribuição heterogênea da luz natural.

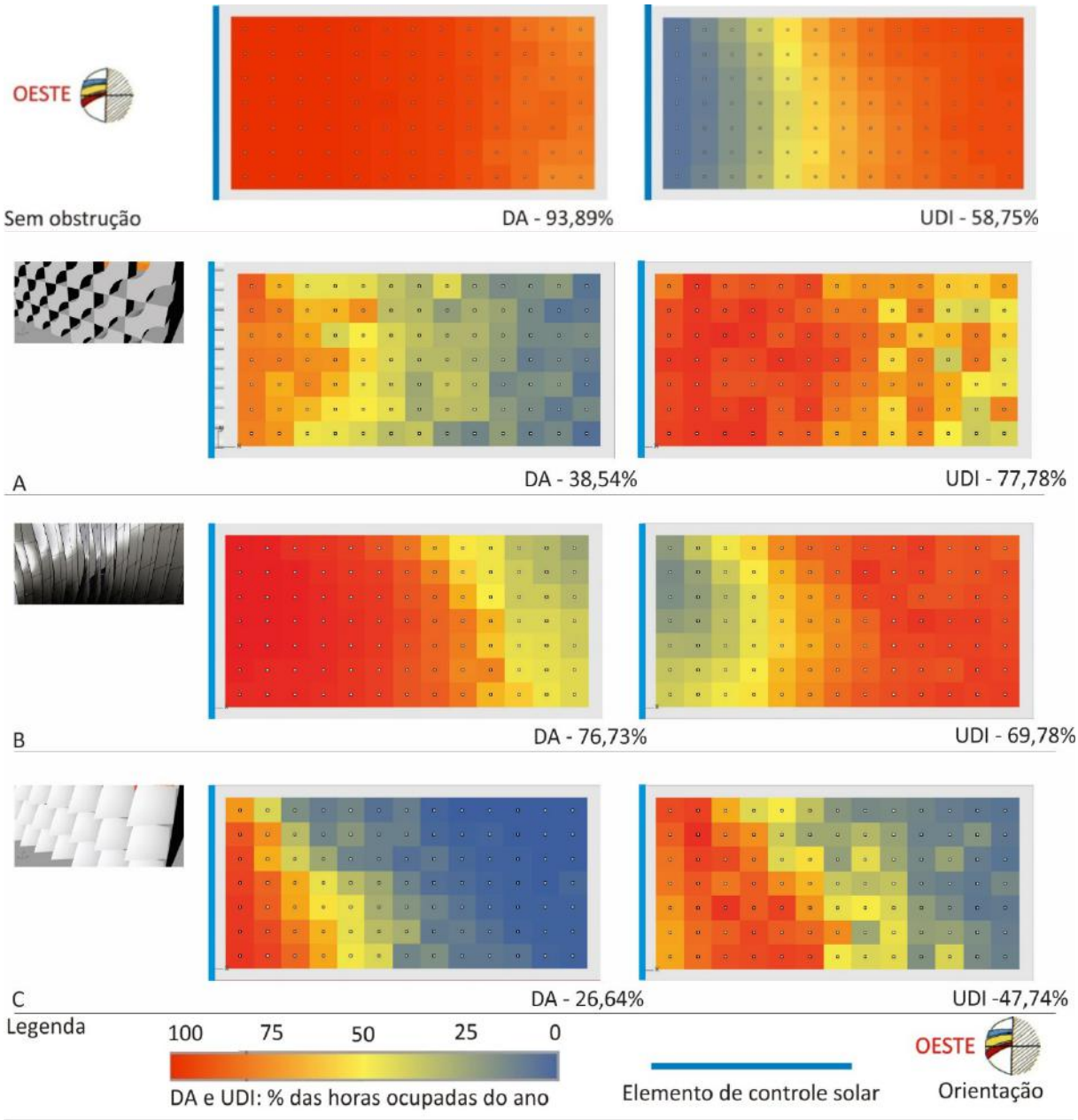
Por fim, cabe salientar que a leitura independente da medida DA dissociada do UDI pode ocasionar equívocos na avaliação do desempenho lumínico de um ambiente, por não apresentar um limite superior para admissão de luz e consequentemente admissão excessiva de calor, além da possibilidade de desconforto visual por ofuscamento nos usuários do ambiente.

Tabela 3 – Fator de Luz Diurna Médio (FLD), Autonomia da Luz Natural Média (DA) e *Useful Daylight Illuminances* Médio (UDI).

	Sem obs.	A	B	C	D	E	F	G	H
Fator de Luz Diurna Médio - FLD(%)	10	1,04	4,75	1,09	1,4	3,26	3,69	1,13	2,88
Auton. Da Iluminação Natural Média - DA (%)	93,89	38,54	76,73	26,64	47,96	73,26	67,16	48,65	61,09
Useful Daylight Illuminances Médio - UDI (%)	58,75	77,78	69,78	47,74	81,09	77,23	74,84	77,42	76,25

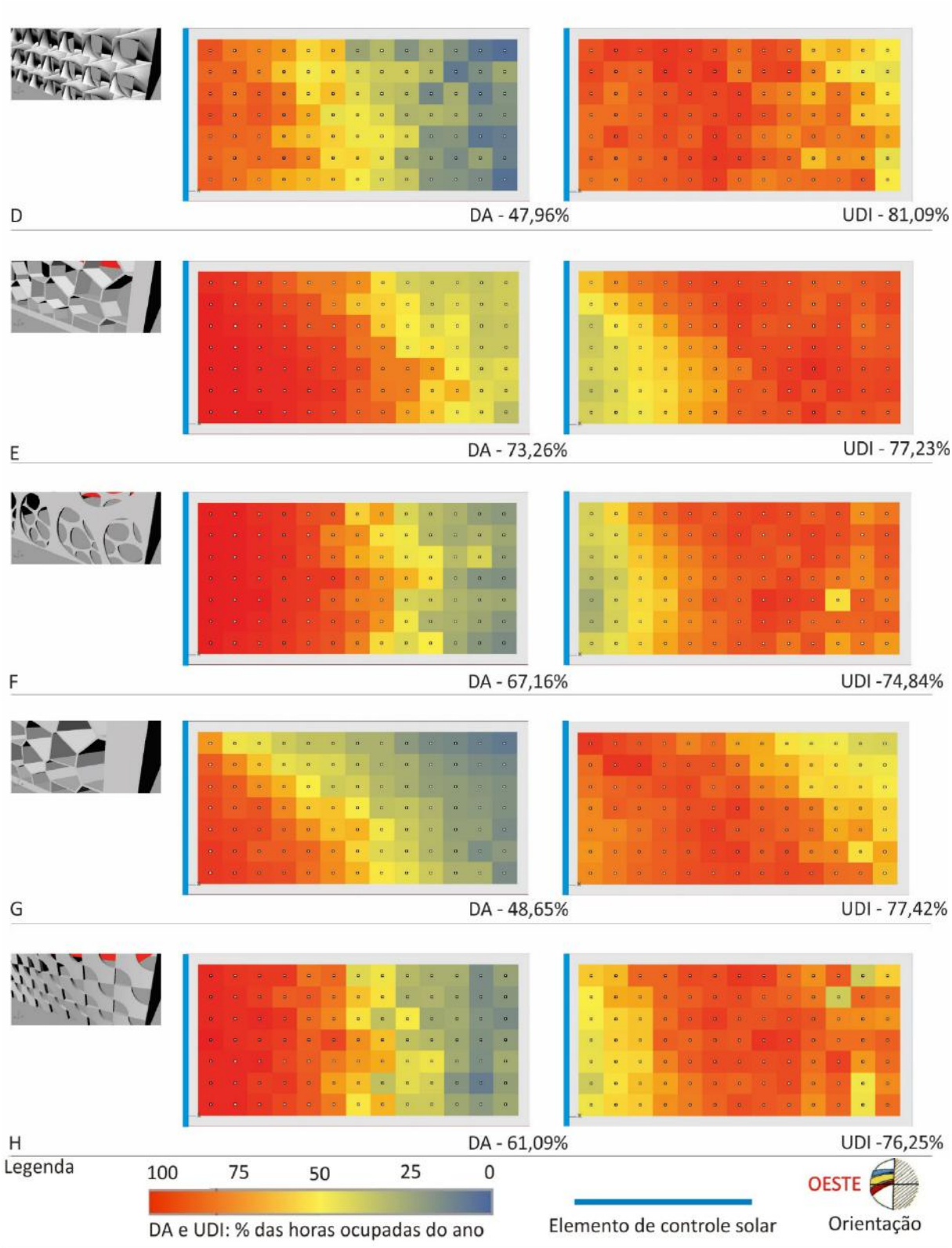
Fonte: Os autores

Figura 10 (parte 1) – Autonomia da Iluminação Natural (DA) e *Useful Daylight Illuminances (UDI).*



Fonte: Os autores

Figura 10 (parte 2) – Autonomia da Iluminação Natural (DA) e *Useful Daylight Illuminances (UDI).*



Fonte: Os autores

5 CONCLUSOES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. Como principais conclusões destaca-se a importância dos componentes direcionais e horizontais nos elementos de controle solar desenvolvidos. Os componentes direcionais orientados à Noroeste determinaram a capacidade seletiva de admissão da radiação solar entre inverno e verão. Enquanto os componentes horizontais contribuíram com uma melhor distribuição da luz natural no ambiente de análise, funcionando como prateleiras de luz, reduzindo o excesso de luz e radiação próximo à fachada e aumentando os níveis de iluminação no fundo do ambiente.

Exemplificando estas considerações, destaca-se o desempenho dos elementos C, D, E e G. Onde, o primeiro (C) foi o que demonstrou melhor capacidade seletiva de admissão de radiação solar, resultando na maior admissão no mês de julho, quando comparado ao mês de janeiro (razão de 0,38). Entretanto, sua pouca permeabilidade conferiu-lhe os piores desempenhos nas análises de iluminação, resultando em um FLD de apenas 1,09%, e valores de DA e UDI de 26,64% e 47,74% respectivamente, os mais baixos entre o grupo avaliado.

Por não possuir componentes direcionais, o elemento D, não apresentou resultados tão satisfatórios em relação à seletividade na admissão da radiação quanto o elemento C; porém como decorrência do funcionamento de seus elementos horizontais, D apresentou o maior valor de UDI entre os demais (81,09%). Na figura 10 pode-se observar a uniformidade da distribuição da luz natural ao longo do plano de análise, sem excessos próximos à abertura.

Devido à sua geometria com elementos horizontais juntamente com direcionais, os elementos E e G, tanto foram capazes de admitir percentualmente mais radiação no inverno relativamente ao verão (com razões de 0,78 e 0,45 respectivamente), quanto proporcionar altos valores de UDI (acima de 77%). Cabe também observar na figura 10, que apesar de sua capacidade seletiva, os elementos direcionais distribuíram a luz natural de forma assimétrica no ambiente de análise.

Complementarmente, os mascaramentos apresentados na figura 8 reforçam os demais resultados apresentados, relacionando os valores de radiação e luz natural admitidos à parcelas de céu visível e trajetórias solares. Demonstrando que apesar das possibilidades computacionais de geração e simulação de formas complexas, a compreensão da geometria da insolação no projeto de elementos de controle solar apresenta-se imprescindível para seu desempenho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, UFSC e UNIVALI pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento e divulgação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AKOS, G.; PARSONS, R. **Foundations. The Grasshopper Primer Third Edition,** New York, 2014. Disponível em: <http://modelab.is/grasshopper-primer/>. Acesso em: março de 2015.

BADER, S. **High-performance façades for commercial buildings**. Austin, Texas: The University of Texas at Austin - School of Architecture, 2010.

CASTLE, H. Editorial - Computation Works: The Building of Algorithmic Thought. **Architectural Design**, v. 83, n. 2, p. 5–5, 2013.

CHO, J.; YOO, C.; KIM, Y. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings : Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. **Energy & Buildings**, v. 82, p. 771–785, 2014.

DUNN, N. **Digital Fabrication in Architecture**. London: Laurence King Publshing, 2012.

FAJKUS, M. **Superficial skins? Super Skins? Shading structures and thermal impact analysis.** In: Proceedings Advanced Building Skins - Energy Forum. p. 23-27. Bressanone, Italy: 2013

KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. **Performative architecture beyond instrumentality**. 1. ed. New York: Spoon Press, 2005.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905–913, 2006.

NILOUFAR, E.; KHODADADI, A.; BUELOW, P. VON. **Design of Shading Screens Inspired by Persian Geometric Patterns : An Integrated Structural and Daylighting Performance Evaluation**Proceedings of the IASS-SLTE 2014 Symposium "Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints". **Anais**...Brasilia: 2014

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 386–396, 2011.

REINHART, F, C.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **L E U K O S V O L 3 N O 1**, p. 7–31, 2006.

TAGLIARI, A.; FLORIO, W. **Fabricação Digital de Superfícies: Aplicações da Modelagem Paramétrica na Criação de Ornamentos na Arquitetura Contemporânea.** In: Anais XIII Sigradi - Congresso Iberoamericano de Gráfica Digital. p. 77-79. São Paulo: Brazil, 2009.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE PEÇAS DE DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO PARA O COMPORTAMENTO DA LUZ SOLAR REFLETIDA EM SALA DE AULA NA CIDADE DE MACEIÓ[1]

CARVALHO, Marlise Lila Silva (1); CABÚS, Ricardo Carvalho (2)

(1) UFAL, e-mail: marlise.carvalho@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: ricardo.cabus@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do número de peças de dispositivos de sombreamento para o desempenho da iluminação natural e comportamento da luz solar refletida para um ambiente de sala de aula, em Maceió. Procurou-se relacionar a contribuição desta componente ao desempenho da iluminação natural, a partir de simulações computacionais no software TropLux. Definiram-se três sistemas de dispositivos para as orientações norte, sul e leste, com diferentes números de peças, mantendo-se mesma área de exposição e ângulos de proteção. Para cada sistema foram definidos três modelos a partir da variação das características de reflexão, mantendo-se mesma refletância. Foram considerados os horários das 8h às 16h, todos os dias do ano, sob céu claro e parcialmente nublado. Os resultados mostraram que o aumento no número de peças apenas mostrou-se vantajoso para o desempenho da iluminação natural no caso da orientação norte e para reflexão difusa. Maior especularidade resultou em sistemas mais eficientes em aproveitar a luz solar e redirecioná-la para áreas mais distantes das aberturas, mas gerou aumentos na iluminância, reduzindo a iluminância útil. Nas demais orientações, os modelos mais simples apresentaram mesmo comportamento daqueles com mais peças, comprometendo menos a visão do usuário para o exterior.

Palavras-chave: Iluminação natural. Luz solar refletida. Dispositivos de proteção.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the influence of the number of pieces of shading devices for the performance of daylighthing and behaviour of sunlight reflected to a classroom environment in Maceió. It was tried to relate the contribution of this component to the performance of daylighting by the use of *computer simulations* through *TropLux. It was* set *three devices systems for* the *orientations* north, south and east *with different number of pieces,* keeping *the same area and obstruction angles.* It was set three models from the variation of the reflection characteristics for each system, with *the same reflectance*. It was considered the time from 8am to 4pm, every day, *under clear and partly cloudy* skies. *The results showed that the increase in the number of pieces only proved advantageous for the performance of daylighthing in the case of north orientation and diffuse reflection.* Higher *specularity resulted in more efficient systems* that take advantage of *sunlight and redirect it to areas* furthest from *the openings,* it *generated increases in illuminance,* reducing *the useful*

[1] CARVALHO, Marlise; CABÚS, Ricardo. A influência do número de peças de dispositivos de sombreamento para o comportamento da luz solar refletida em sala de aula na cidade de Maceió. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

illuminance. For *the other orientations, the simplest models* showed *the same behaviour of* those with more pieces, not hindering the user's view to the outside.

Keywords: *Daylighting. Sunlight reflected. Shading devices.*

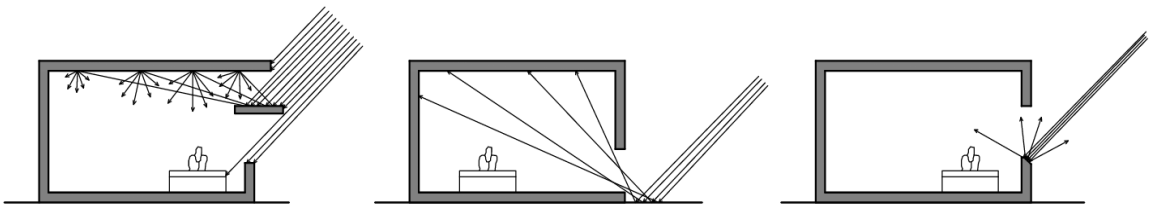
1 INTRODUÇÃO

A admissão de luz solar no ambiente deve ser cuidadosamente controlada: se nos climas temperados a maioria das pessoas manifestam preferência pela presença de luz solar, nas latitudes mais próximas ao Equador sua admissão pode ser indesejada.

Nos trópicos, onde a presença de luz solar direta é condição predominante e existe a imposição de proteção das aberturas, a consideração do entorno como fonte de luz difusa caracteriza-se como uma importante ferramenta para o incremento da iluminação natural nos ambientes.

Para o controle da luz solar direta, o projetista pode fazer uso de recursos arquitetônicos com o objetivo de receber a luz de forma indireta, refletida, e redirecioná-la ao ambiente. Tais recursos podem modificar a quantidade de luz admitida e sua distribuição no espaço. Deve-se estar atento ao potencial da luz refletida por superfícies naturais e artificiais. Planejar a forma das superfícies torna-se uma importante ferramenta para o aproveitamento da luz solar refletida (Figura 01).

Figura 1- Luz direta refletida pelo solo e por elementos da fachada, antes de chegar ao ambiente.



Fonte: Adaptado de Lam (1986) e Baker (2002)

Diversos estudos apontam que o uso de dispositivos de sombreamento pode proporcionar consideráveis níveis de redução do consumo de energia elétrica. Pesquisa desenvolvida por Ho et al. (2008) demonstra que uma configuração apropriada desses elementos pode reduzir em até 71,5% os gastos com iluminação artificial em salas de aula em Taiwan. Chua e Chou (2010) apontaram redução de até 26,5% na carga de refrigeração do ambiente a partir da inserção de dispositivos de sombreamento em edificações residenciais. Martins (2007) comparou a redução dos gastos com refrigeração em edificações de escritórios proporcionada pelo uso de protetores em relação à abertura exposta, nas diversas orientações na cidade de Maceió. Os resultados mostraram que na orientação oeste a inserção de dispositivos resultou em uma redução anual do consumo de energia de 18,7%.

Com a inserção de elementos de controle, como o brise-soleil, que podem ser horizontais, verticais e mistos, a trajetória da luz solar refletida para o ambiente é modificada, bem como a quantidade total admitida. Essa

admissão de luz natural através de aberturas varia também a partir da configuração geométrica e das características dos materiais empregados, ainda que o ângulo de proteção solar seja mantido (MAJOROS, 1998).

Sendo assim, a quantidade de luz natural refletida por esses dispositivos e sua distribuição espacial no interior da edificação variam de acordo com diferentes padrões de dispositivos. Torna-se relevante investigar a influência desses padrões de dispositivos para o desempenho da iluminação natural no ambiente, levando em consideração o comportamento da luz solar refletida, a fim de identificar os padrões de dispositivos mais eficientes em aproveitar essa fonte de luz, predominante no nosso clima.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do número de peças de dispositivos de sombreamento para o desempenho da iluminação natural e comportamento da luz solar refletida para um ambiente de sala de aula, na cidade de Maceió. Os objetivos específicos são:

- Identificar padrões de sistemas de proteção solar inseridos em aberturas laterais mais eficientes em refletir a luz solar para o ambiente diante da influência:
    i. Das propriedades de difusividade e especularidade das superfícies dos dispositivos;
    ii. Da geometria dos dispositivos.
- Analisar a relação existente entre a luz solar refletida por dispositivos de sombreamento e desempenho da iluminação natural em salas de aula na cidade de Maceió.

3 METODOLOGIA

2.1 Definição do modelo virtual

As simulações foram realizadas para um modelo de sala de aula dimensionada para 40 alunos[2], conforme Figura 2. As refletâncias das superfícies do modelo baseiam-se em um estudo prévio de iluminação natural em Maceió, desenvolvido por Cabús (2004). As demais características do modelo se encontram no Quadro 1.

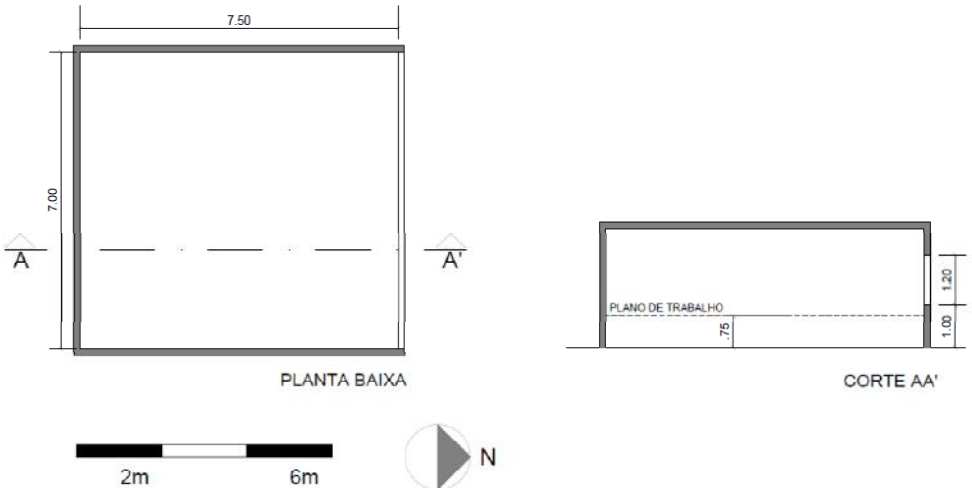
A norma da ABNT ISO/CIE 8995 baseia-se no tamanho e na forma da superfície de referência para a determinação da malha de pontos para simulação computacional. No caso do ambiente em estudo, recomenda-se a utilização de uma malha de 9 x 8, totalizando 72 pontos.

[2]A capacidade do modelo padrão foi definida a partir do levantamento das salas de aula projetadas e construídas no Campus A. C. Simões da UFAL durante o período de duração do REUNI: entre as 115 salas de aula construídas no período, 30% corresponde a essa capacidade.

Quadro 1– Características do modelo

Características do Modelo	
Dimensões	7,00m x 7,50m
Área	52,5m²
Pé-direito	2,80m
Refletâncias (piso/parede/teto)	0,30/0,60/0,70
Abertura	7,00m x 1,20m (peitoril 1,00m)

Figura 2– Modelo de sala de aula utilizado na pesquisa.



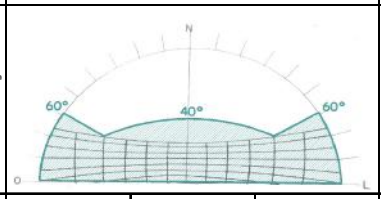
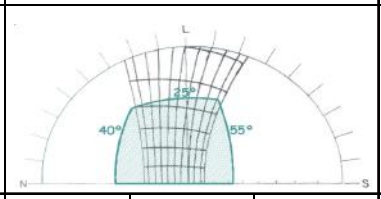
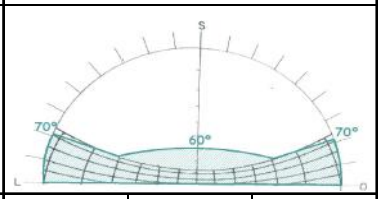
2.2 Horários, tipos de céu e orientação

As simulações foram realizadas para a cidade de Maceió, Alagoas, (Latitude 9°40'S, Longitude 35°42'O). Foram analisados nove horários do dia, entre 8h e 16h (hora solar), hora a hora, todos os dias do ano. Foram definidos dois tipos de céus-padrão CIE (CIE, 2003) para as simulações computacionais, sendo eles o céu 10 (parcialmente nublado) e o céu 14 (céu claro). Foram realizadas simulações considerando as orientações Norte, Sul e Leste (a orientação Oeste não foi considerada por apresentar geometria de insolação similar à orientação leste) e não serão consideradas obstruções no entorno do modelo

2.3 Configuração dos dispositivos de sombreamento

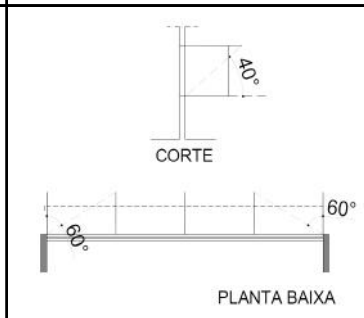
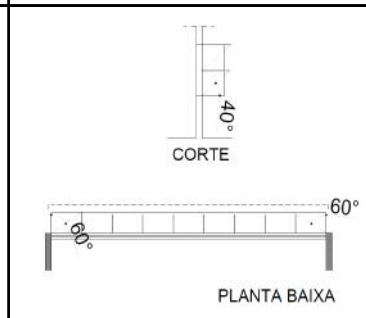
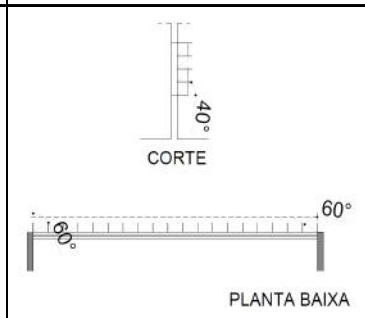
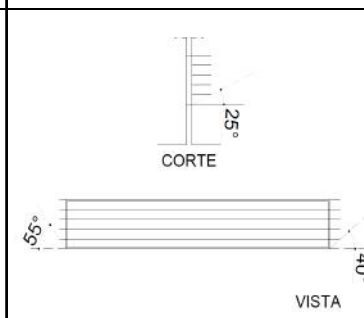
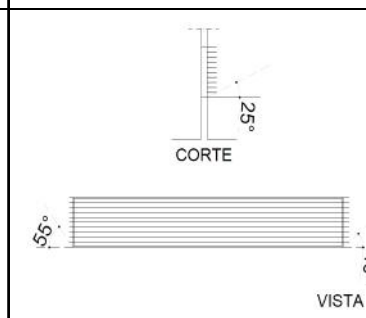
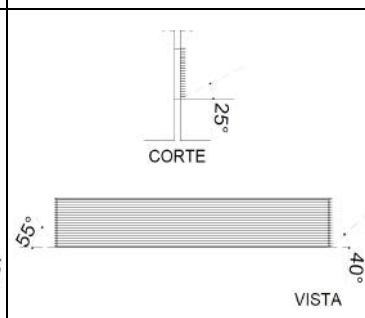
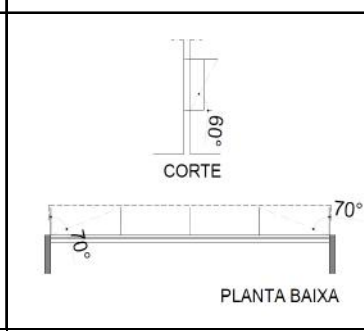
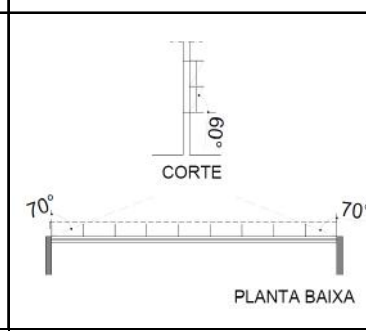
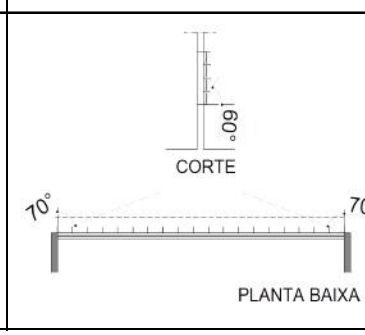
Para este estudo foram configurados três sistemas de proteção, a partir do uso de dispositivos horizontais e verticais, para as orientações Norte e Sul e dispositivos horizontais para a orientação Leste. Foram utilizados os mesmos ângulos de proteção para os sistemas de cada orientação, de modo que no período definido para o estudo não houvesse luz solar direta no ambiente. A Figura 3 mostra as máscaras de sombra e os respectivos ângulos de sombreamento.

Figura 3– Máscaras de sombra orientações norte, leste e sul.

	NORTE			LESTE			SUL		
Máscaras de sombra por orientação									
Ângulos	α	β	Y	α	β	Ye/ Yd	α	β	Y
	40°	60°	-	25°	-	40°/ 55°	60°	70°	-

Os sistemas foram desenvolvidos de maneira que a área total das peças de cada sistema totalizasse sempre o mesmo valor, mantendo-se assim a mesma área de exposição solar, conforme Figura 4. Não foi considerada a espessura das peças.

Figura 4–Sistemas de dispositivos de sombreamento por orientação

	SISTEMA 01	SISTEMA 02	SISTEMA 03
NORTE			
LESTE			
SUL			

2.4 Propriedades de reflexão dos dispositivos: definição dos modelos utilizados no estudo

Foram utilizados três modelos diferentes para cada sistema, definidos a partir da variação das características de difusividade e especularidade, conforme Quadro 2.

Quadro 2- Modelos de dispositivos definidos a partir das características de reflexão

ORIENTAÇÃO	**NORTE**		
SISTEMAS	SISTEMA 01	SISTEMA 02	SISTEMA 03
MODELOS	N1D90	N2D90	N3D90
	N1E90	N2E90	N3D90
	N1D45E45	N2D45E45	N3D90
ORIENTAÇÃO	**LESTE**		
SISTEMAS	SISTEMA 01	SISTEMA 02	SISTEMA 03
MODELOS	L1D90	L2D90	L3D90
	L1E90	L2E90	L3E90
	L1D45E45	L2D45E45	L3D45E45
ORIENTAÇÃO	**SUL**		
SISTEMAS	SISTEMA 01	SISTEMA 02	SISTEMA 03
MODELOS	S1D90	S2D90	S3D90
	S1E90	S2E90	S3E90
	S1D45E45	S2D45E45	S3D45E45

Cada modelo apresenta na sua nomenclatura a representação da orientação e sistema ao qual pertence, além das suas características de reflexão. Por exemplo, o modelo "L2D45E45" corresponde à orientação leste, sistema 2 e possui refletância mista de 90%, sendo 45% difusa e 45% especular. Todos os modelos possuem refletâncias dos dispositivos de 90%.

2.5 Definição do software

O programa *TropLux* permite a simulação das características da iluminação natural no ambiente interno a partir da configuração do céu de acordo com a proposta da CIE (2003) possibilitando variação em dias e horas. Em relação às aberturas, o programa permite localizá-las variando sua dimensão e posicionamento, além de possibilitar a utilização de elementos arquitetônicos externos ou internos para proteção solar, sendo, portanto, uma ferramenta adequada aos objetivos desta pesquisa.

2.6 Indicadores de desempenho para avaliação

2.6.1 Variação da iluminância média global (ΔE_m)

Para esta pesquisa será analisada a variação da iluminância média proporcionada por cada modelo de dispositivo de cada um dos três grupos de cada sistema, considerando como padrão de cada grupo sempre o dispositivo com reflexão difusa. O aumento da iluminância média é dado pela seguinte equação:

$$\Delta E_m = \frac{E_{mt} - E_{mp}}{E_{mp}} \quad (1)$$

Sendo E_{mp} a iluminância média do tipo padrão de cada grupo e E_{mt} a iluminância média dos demais tipos.

2.6.2 Iluminância Útil de Luz Natural (IULN)

Como método de avaliação serão utilizados os valores da IULN, Iluminância Útil de Luz Natural (UDI, *Useful Daylight Illuminance*), propostos por Mardaljevic e Nabil (2011), que são determinados pelos níveis de iluminação natural considerados úteis: intervalo de 100 lx a 3000 lx, de acordo com a tabela abaixo (Quadro 2).

Quadro 3- Internalos de iluminância útil de luz natural

Intervalos da IULN	
Valores< 100 lx	Insuficientes
Valores entre 100 lx e 500 lx	Passíveis de integração com a iluminação artificial
Valores entre 500 lx e 3.000 lx	Iluminância desejável
Valores> 3.000 lx	Excessivos

Fonte: MARDALJEVIC, NABIL (2011)

O método foi definido por considerar como úteis valores menores que aqueles fixados em norma, já que podem substituir parcialmente o uso de iluminação artificial; e por indicar a ocorrência de altos níveis de iluminância, associados a desconforto visual e térmico (valores acima de 3000 lx).

2.6.3 Uniformidade (U)

A Norma Brasileira da ABNT ISO/CIE 8995-1 de 2013- Iluminação em Ambientes de Trabalho que indica que a uniformidade da iluminância na tarefa não deve ser menor que 0,7 (razão entre o valor mínimo e o valor médio). A expressão matemática abaixo a demonstra:

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (2)$$

O valor recomendado pela norma citada não foi estabelecido como parâmetro devido à dificuldade de ser obtido apenas com o uso da iluminação natural.

2.7 Eficiência de luz solar refletida (η_{sr})

A fim de avaliar a contribuição da luz solar refletida para a iluminação do ambiente, essa componente será analisada separadamente e será relacionada à iluminância global no plano de trabalho, de maneira a

identificar a eficiência de cada sistema de dispositivos de proteção para as orientações estudada. A eficiência de cada sistema em refletir a luz solar para o ambiente interno será dada através da seguinte equação:

$$\eta_{sr} = \frac{E_{sr} x\ 100\%}{E_g} \quad (3)$$

Onde E_g é a iluminância global e E_{sr} corresponde à iluminância relativa à componente de luz solar refletida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção foi analisada primeiramente a eficiência de luz solar refletida dos modelos, levando em consideração as características de reflexão. A partir da identificação dos modelos mais eficientes em refletir a luz solar para o ambiente, buscou-se analisar os indicadores de desempenho, a fim de verificar a relação existente entre luz solar refletida e o comportamento da iluminação natural.

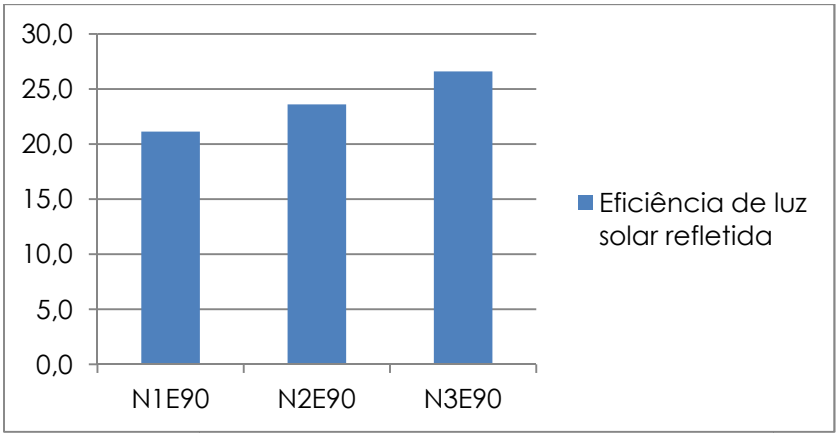
4.1 Análise da eficiência da luz solar refletida (η_{sr})

Em todos os modelos de dispositivos estudados, observou-se que aqueles que atingiram maiores índices de eficiência de luz solar refletida foram os modelos com reflexão especular e pertencentes ao sistema 03, com maior número de peças. Em relação aos tipos de céu analisados, o céu claro, tipo 14, proporcionou maiores índices em todas as orientações estudadas.

Porém, as três orientações definidas para este estudo proporcionaram aos seus sistemas correspondentes, desempenhos diferenciados, levando em consideração a variação no número de peças e as características de reflexão.

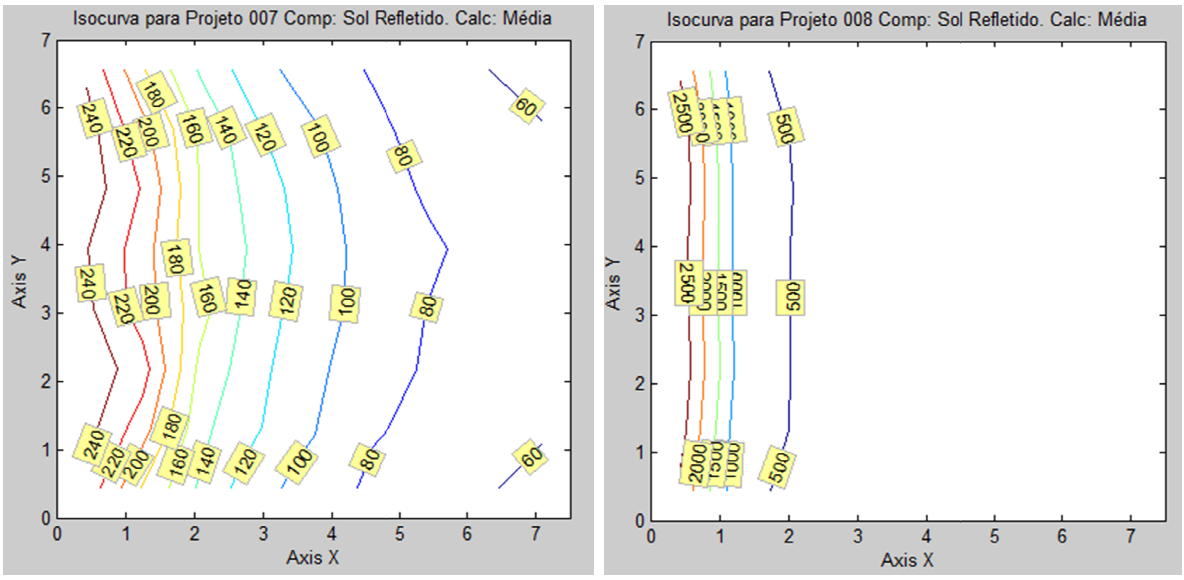
Na orientação Norte, o aumento no número de peças nos modelos especulares incrementou em até 23% o índice sob céu parcialmente nublado, e em 16% sob céu claro. O gráfico da Figura 5 mostra o efeito do aumento no número de peças na eficiência de luz solar refletida, sob céu parcialmente nublado.

Figura 5: Comportamento da eficiência de luz solar refletida a partir do aumento no número de peças dos sistemas. Orientação norte, céu parcialmente nublado.



Em relação à variação das características de reflexão das superfícies dos dispositivos, observou-se que entre os modelos do sistema 03 o aumento da especularidade causou aumento de 53% no índice, sob céu claro. Esse aumento também atuou na distribuição desta componente de iluminação no ambiente. O modelo especular mantém maiores médias de iluminância nas áreas mais distantes da abertura, conforme mostra a figura abaixo, que corresponde à comparação dos gráficos de isocurvas dos dois modelos em questão.

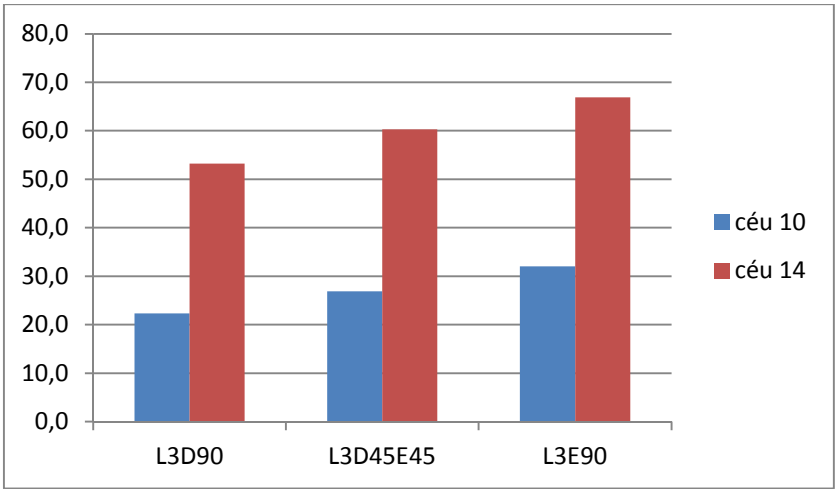
Figura 6: Curvas de isoiluminâncias referentes à componente de luz solar refletida nos ambientes- comparação entre sistemas com reflexão difusa e especular.



N3D90 N3E90

No caso da orientação leste, o aumento no número de peças do sistema não acarretou em incremento da eficiência nos dois tipos de céu, diferentemente do observado em relação às características de reflexão. Comparando-se o modelo L3D90 (reflexão difusa) com o modelo L3D45E45 (reflexão mista), percebe-se que houve variação de 20%, e entre este último e o modelo L3E90 (reflexão especular), houve incremento de 19% na eficiência do modelo, conforme mostra o gráfico da Figura 7.

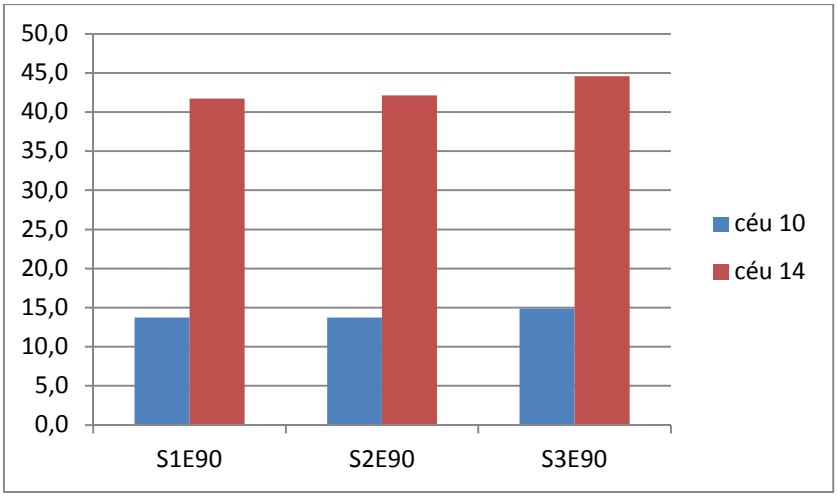
Figura 7: Comportamento da eficiência de luz solar refletida a partir da variação das características de reflexão, sistema 03, orientação leste



O modelo mais eficiente desta orientação, L3E90, chega a um índice de eficiência de mais de 60%.

Já a orientação sul, de maneira diferente do que foi observado nas demais orientações, não apresentou variação no índice de eficiência a partir da variação das características dos modelos. Observou-se apenas variações entre os tipos de céu analisados, conforme mostra o gráfico da Figura 8.

Figura 8: Comportamento da eficiência de luz solar refletida a partir do aumento do número de peças dos sistemas especulares, orientação leste



4.2 Desempenho da iluminação natural

Esta seção analisa o desempenho da iluminação natural dos variados modelos de dispositivos de sombreamento a partir dos indicadores estabelecidos para este estudo: iluminância útil de luz natural (IULN), variação da iluminância média (ΔE_m) e uniformidade (U).

4.2.1 IULN e variação da iluminância média (ΔE_m)

Como foi visto na seção anterior, o céu claro foi responsável pelos maiores

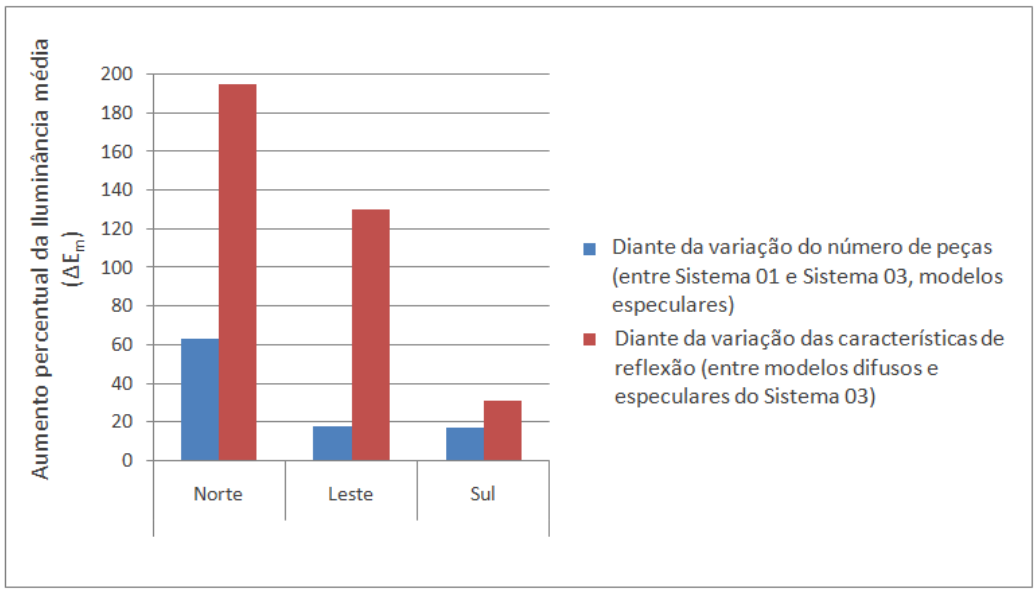
índices de eficiência de luz solar refletida, devido à maior disponibilidade desta fonte de luz no referido céu. Porém, em relação à iluminância média global no plano de trabalho, observa-se que todos os modelos analisados mantêm as maiores médias sob céu parcialmente nublado, céu mais recorrente na cidade de Maceió (CABÚS, 2002).

Em relação à variação da iluminância média, observou-se que, em todas as orientações, essa variação foi mais sensível às mudanças nas características de reflexão do que ao aumento no número de peças. O gráfico da Figura 9 mostra os ganhos percentuais de iluminância média diante das variações das características dos modelos: aumento no número de peças e variação das características de reflexão entre modelos difusos e especulares, sob céu claro, em todas as orientações estudadas.

Observa-se que a fachada norte apresenta maiores variações da iluminância média, seguida da leste, e que a fachada sul apresenta as menores variações diante das mudanças físicas dos sistemas de dispositivos.

A iluminância útil de luz natural proporcionada pelos sistemas a partir da mudança das suas características de reflexão também apresentou resultados satisfatórios sob céu parcialmente nublado, com percentuais acima de 80%. Todos os modelos com reflexão totalmente difusa apresentaram valores de iluminância útil iguais ou próximos de 100%, em todas os orientações estudadas. Já os modelos com reflexão especular, apresentaram desempenho inferior, sobretudo na orientação leste, devido ao excesso de iluminação em determinados períodos. A Figura 10 mostra a comparação entre as porcentagens de iluminância útil sob céu parcialmente nublado.

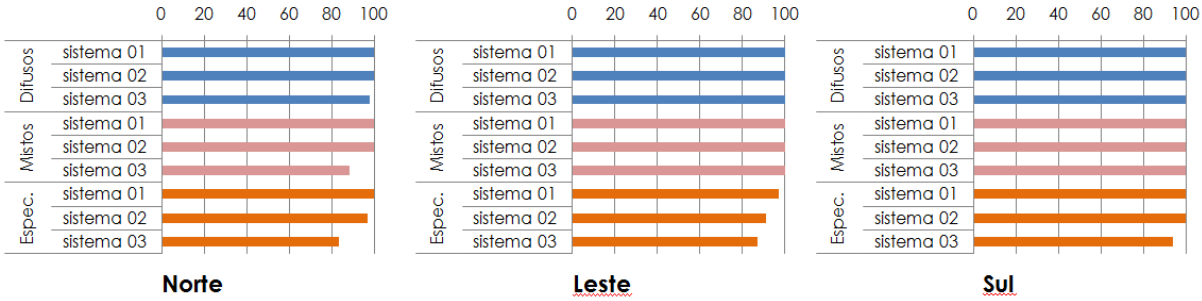
Figura 9: Percentual de ganho na iluminância média a partir da variação do número de peças e das características de reflexão dos dispositivos



Os modelos especulares e com maiores números de peças, como foi visto, garantem maiores índices de eficiência de luz solar refletida e maiores

iluminâncias médias. Porém, devido ao fato de incrementarem esses valores, tais modelos reduzem o percentual de iluminância útil, por resultarem em iluminâncias excessivas durante parte do ano.

Figura 10: Iluminância útil de luz natural por orientação. Céu parcialmente nublado



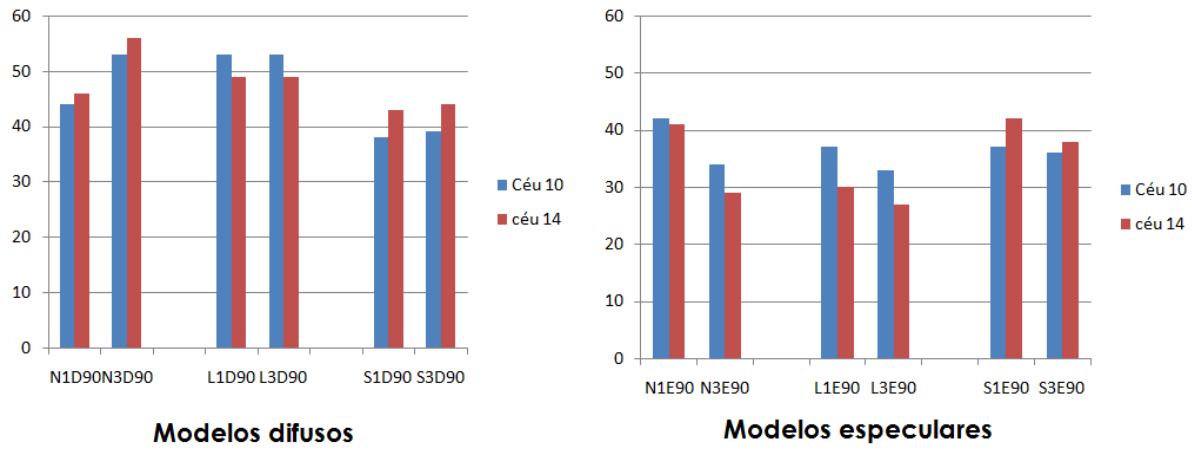
4.2.2 Uniformidade

Na orientação Norte, o aumento do número de peças entre os modelos N1D90 e N3D90, com reflexão difusa, resultou em incremento de 20% no índice de uniformidade, resultado de uma melhor distribuição de iluminâncias no plano de trabalho. Já entre os modelos com reflexão especular, N1E90 e N3E90, o mesmo aumento acarretou em redução de 29% no índice, sob céu claro.

Na orientação leste, a variação no número de peças dos modelos difusos não resultou em ganhos na uniformidade das iluminância, e o índice manteve-se constante. No caso dos especulares, observou-se uma redução de 10% a partir do aumento no número de peças. A orientação sul apresentou o mesmo comportamento, conforme mostram os gráficos da Figura 11, que comparam o desempenho da uniformidade diante da variação dos sistemas.

Nota-se que os modelos com reflexão difusa apresentam, de forma geral, melhor distribuição de iluminâncias no plano de trabalho em relação aos especulares.

Figura 11: Comportamento da uniformidade entre os modelos difusos e especulares



5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, percebeu-se que entre as orientações analisadas, para a cidade de Maceió, a orientação Norte apresenta as maiores variações dos indicadores definidos para esse estudo. As mudanças no número de peças e nas características de reflexão das superfícies dos dispositivos resultaram, nestas condições, em maiores variações na eficiência de luz solar refletida, iluminância média e uniformidade.

De modo geral, o aumento no número de peças dos dispositivos proporcionou desempenho diferente entre os modelos com reflexão difusa e com reflexão especular. No caso dos primeiros, esse aumento atuou no incremento da iluminância média e do índice de uniformidade. Em todas as orientações, os modelos difusos garantiram percentuais de iluminância útil de luz natural próximos de 100%.

O aumento da especularidade gerou maiores variações dos indicadores, principalmente na orientação Norte. Maior especularidade resultou em sistemas mais eficientes em aproveitar a luz solar refletida e redirecioná-la para áreas mais distantes das aberturas, e também gerou maiores aumentos na iluminância média, o que reduziu o percentual de iluminância útil sobretudo na orientação Leste. Maior especularidade ainda contribuiu para a redução do índice de uniformidade em todos as condições estudadas.

Os dispositivos com reflexão mista apresentaram desempenho semelhante aos dispositivos com reflexão difusa, garantindo maiores variações de iluminância média e índices de uniformidade superiores aos modelos especulares. Em relação à iluminância útil, os dispositivos mistos também tiveram desempenho satisfatório.

Entre os modelos estudados, percebeu-se que o aumento no número de peças do sistema de dispositivos apenas mostrou-se vantajoso no caso da orientação Norte, e para reflexão difusa. O modelo N3D90 apresentou melhor desempenho em relação aos indicadores analisados. Nas demais orientações, os modelos mais simples conseguiram manter esses índices nos mesmos patamares que aqueles com mais peças, com a vantagem de comprometer menos a visão do usuário para o exterior.

Em relação à iluminância útil de luz natural, vale ressaltar que, embora tenha sido adotado para este trabalho o limite de 3000lx a partir do qual a iluminância é considerada excessiva, a ocorrência de níveis de iluminância acima deste valor sem a presença de mancha solar no plano de trabalho não precisariam ser descartados a priori.

Para o projeto de um ambiente e de dispositivos de sombreamento, bem como a adaptação de um espaço existente, é importante que o desempenho esperado esteja claro, como por exemplo uma melhor distribuição de iluminâncias, ou o incremento da iluminância média no plano de trabalho. Conhecer o desempenho de diferentes sistemas de dispositivos de sombreamento é fundamental para definição das suas características físicas e para um melhor aproveitamento da iluminação natural.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR ISO 8995-1**: Iluminação de ambientes internos de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

BAKER, N., STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings**. London: James & James, 2002.

CABÚS, Ricardo C. **Influência da luz refletida no solo na iluminação natural nos trópicos: comparando o desempenho de protetores solares**. In: I Encontro Latino Americano e X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Paulo: ENTAC, 2004.

CABÚS, Ricardo Carvalho. **Tropical Daylighting: Predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil**. 2002. 288f. Architecture, University of Shelffield, Shelffield, 2002.

CHUA, Kian, J.; CHOU, Siaw K. **Evaluating the performance of shading devices and glazing types to promote energy efficiency of residential buildings.** Build Simul, v.3, p.181–194, 2010.

HO, M., CHIANG, C., CHOU, P., CHANG, K. LEE, C. **Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms**. Energy and Buildings, 40, 2008.

MAJOROS, András. **Daylighting**. Brisbane, Queensland: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, University of Queensland, 1998.

MARTINS, Thiago L. O. G. **Dispositivos de proteção solar e eficiência energética em edifícios de escritório: uma avaliação para a cidade de Maceió/ AL.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2007.

NABIL, A., MARDALJEVIC, J. **Daylighting metrics for residencial buildings**. In: 27th Session of the CIE. Sun City, 2011.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS DA VILA PENTEADO NO DESEMPENHO TÉRMICO DO EDIFÍCIO[1]

CAVALCANTE, Rodrigo (1); DIAS, Rodrigo (2); NEVES, Leticia de Oliveira (3)

(1) UNICAMP, e-mail: rcdc81@gmail.com; (2) USP, e-mail: dias.rmachado@gmail.com; (3) UNICAMP, e-mail: leticia@fec.unicamp.br

RESUMO

O edifício da Vila Penteado, também chamado de FAU Maranhão, que atualmente abriga o programa de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP), é reconhecido por prover qualidade ambiental. Entretanto, não há registros de avaliação de seu desempenho térmico. Dessa forma, considerando seu uso atual, apresenta-se um estudo da contribuição dos elementos arquitetônicos em seu desempenho térmico. Para isso, com base em um levantamento realizado sobre o edifício, foram conduzidas análises por simulação computacional no *software* EnergyPlus, de forma a identificar os elementos arquitetônicos de maior impacto no desempenho térmico da edificação. Para os dois ambientes selecionados os resultados confirmaram o bom funcionamento da ventilação natural e a manutenção da temperatura radiante média abaixo da temperatura do ar, na maior parte do tempo. A análise paramétrica incluiu variações de: pé-direito, área de abertura para iluminação e para ventilação, transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas e densidade de ocupação. Outros cenários incluídos: presença ou não do ático, do sombreamento do entorno e das folhas opacas das janelas. Também se pôde demonstrar sinergia positiva entre os elementos analisados, pois os aspectos arquitetônicos do edifício potencializam o desempenho térmico dos elementos e componentes construtivos.

Palavras-chave: Resposta térmica. Desempenho térmico. Vila Penteado. FAU Maranhão.

ABSTRACT

The Vila Penteado building, also called FAU Maranhão, which houses the graduate program of the School of Architecture and Urban Design of the University of Sao Paulo (FAU-USP), is known to provide environmental quality. However, there are no records of evaluation of its thermal performance. Therefore, considering its current use, a study on the contribution of its architectural elements to its thermal performance is presented. For this, lying on a research in the building, analysis using computer simulation with EnergyPlus software were conducted, in order to identify the architectural elements with the greatest impact on the building's thermal performance. For two selected rooms the results confirmed a proper functioning of natural ventilation and mean radiant temperatures maintenance below the air temperature, in most of time. The parametric analysis included variations of: ceiling height, opening area for lighting and for ventilation, thermal transmittance and thermal capacity of the external walls, and occupancy density. Other scenarios included: presence or absence of the attic, of the shading from the surrounding and of the opaque sheets of windows. Also, it was able to demonstrate positive synergy among the analyzed parameters, because architectural

[1] CAVALCANTE, R.; DIAS, R.; NEVES, L. O. Contribuição dos elementos arquitetônicos da Vila Penteado no desempenho térmico do edifício. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

aspects of the building enhance the thermal performance of building elements and components.

***Keywords**: Thermal response. Thermal performance. Vila Penteado. FAU Maranhão.*

1 INTRODUÇÃO

O edifício Vila Penteado, chamado atualmente de FAU Maranhão, foi encomenda de Antônio Álvares Penteado para sua residência. Projetado pelo arquiteto sueco Carlos Ekman e concluído em 1903, foi posteriormente adaptado, durante os anos de 1948 e 1949, para receber, em 1950, os alunos do recém-criado curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP). Em 1969, com a transferência do curso de graduação para o novo edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, na Cidade Universitária, ficou desocupado até 1973, quando passou a abrigar os cursos de pós-graduação da FAU-USP (MARTINS, 2012).

Tombado por lei estadual e municipal (SÃO PAULO, 1978; SÃO PAULO, 1991) e raro exemplar da escola Secessão de Viena em São Paulo, vertente mais austera do *Art Nouveau* (KATINSKY, 2012), foi objeto de vários estudos (EDITORES, 2016; MARTINS, 2012; NASCIMENTO, 2002; SILVA; COSTA; BAROSSI, 2007; SOARES, 2012; SOARES; OLIVEIRA, 2013; TOLEDO, 2002). Apesar disso, não há registros de avaliação de seu desempenho ambiental, especialmente térmico – qualidade reconhecida por seus usuários. Dessa forma, esse artigo apresenta um estudo da contribuição dos elementos arquitetônicos do edifício em seu desempenho térmico.

2 OBJETIVOS

São objetivos desse estudo avaliar o desempenho térmico do edifício Vila Penteado, bem como a influência dos seguintes elementos arquitetônicos em seu desempenho: pé-direito, área de abertura para iluminação e ventilação, paredes externas, ático e elementos de sombreamento. Também foram consideradas variações na densidade de ocupação, de forma a representar possíveis variações para o mesmo uso.

3 FUNDAMENTAÇÃO

Anterior à evolução dos sistemas mecânicos de condicionamento e do desenvolvimento dos pré-moldados leves, coube à arquitetura atenuar as condições climáticas externas, de maneira a prover condições internas adequadas para o conforto. Nesse sentido, o edifício Vila Penteado contrapõe-se às construções mais recentes.

Construído em alvenaria de tijolos cerâmicos, a Vila Penteado possui paredes com espessura de 30 cm a 50 cm, que contribuem para amortecimento e atraso das temperaturas internas quando comparada às externas; um ático com até 5 m de altura em toda a cobertura, o qual auxilia na dissipação de calor e reduz os ganhos para os ambientes do segundo pavimento; ambientes amplos e com pé-direito pouco superior a 5

m; aberturas laterais de dimensões 1,84 m x 0,88 m, vedadas por esquadrias de quatro folhas, sendo duas externas, tipo venezianas e em madeira, e duas internas, de vidro simples, as quais permitem diferentes configurações; diversos elementos de sombreamento, como beirais, sacadas, platibandas, marquises e recuos das esquadrias em relação às fachadas.

São muitos os aspectos arquitetônicos com impacto nas condições ambientais internas: orientação solar do edifício; distribuição interna dos espaços; propriedades térmicas dos fechamentos externos, incluindo fechamentos transparentes; seus elementos de sombreamento, como beirais e folhas opacas de janelas; a cor dos materiais e acabamentos externos, entre outros.

Com relação à orientação solar, deve-se decidir por expor ou proteger a edificação conforme o uso do ambiente e o clima em que a edificação se insere. Em regiões de baixas latitudes, a máxima incidência de radiação ocorre nas coberturas, seguida das fachadas Oeste e Leste. Associada à configuração interna está a área destinada aos fechamentos externos e o potencial de ventilação natural. Quanto mais compacta a edificação, menores os ganhos ou perdas de calor; e vice-versa. A ventilação natural, embora possível em projetos de edificações compactas bem resolvidas, tende a ser facilitada em edificações menos compactas. Aberturas servem não apenas para prover iluminação natural, contato visual com o exterior e ventilação, mas podem ser úteis para resfriamento do edifício e, durante o inverno, incremento dos ganhos de calor (GIVONI, 1981). Dependendo da latitude, elementos de sombreamento podem ser ineficientes. Nesses casos, dispositivos externos ajustáveis devem ser utilizados. A cor dos materiais e acabamentos externos também pode impactar nas condições internas. Cores claras contribuem para reduzir a temperatura superficial externa; diferentemente, cores escuras podem ser utilizadas para reduzir as perdas de calor para o exterior.

Inúmeras ferramentas têm sido desenvolvidas para auxiliar na análise de desempenho térmico de edificações, desde métodos manuais e tradicionais até sofisticados programas de simulação computacional. A geração atual de ferramentas de simulação caracteriza-se pela possibilidade de modelagem da realidade em detalhe, permitindo uma compreensão sistêmica, dinâmica, não linear e complexa do edifício (CLARKE, 2001). Assim, ferramentas de simulação são úteis para melhorar a compreensão entre parâmetros de projeto e de desempenho, quer seja para edifícios em fase de projeto quer seja para edifícios construídos e em operação.

Para determinação do efeito que variações em um modelo tem nos resultados estimados por simulação computacional, pode-se recorrer à técnica chamada análise de sensibilidade. Essa técnica pode ser empregada para diferentes questões, como para verificar o realismo do modelo, ou o quão bem ele representa a realidade; que dados de entrada podem ser utilizados na falta de dados medidos, como no caso das propriedades dos materiais; em que medida as considerações feitas com

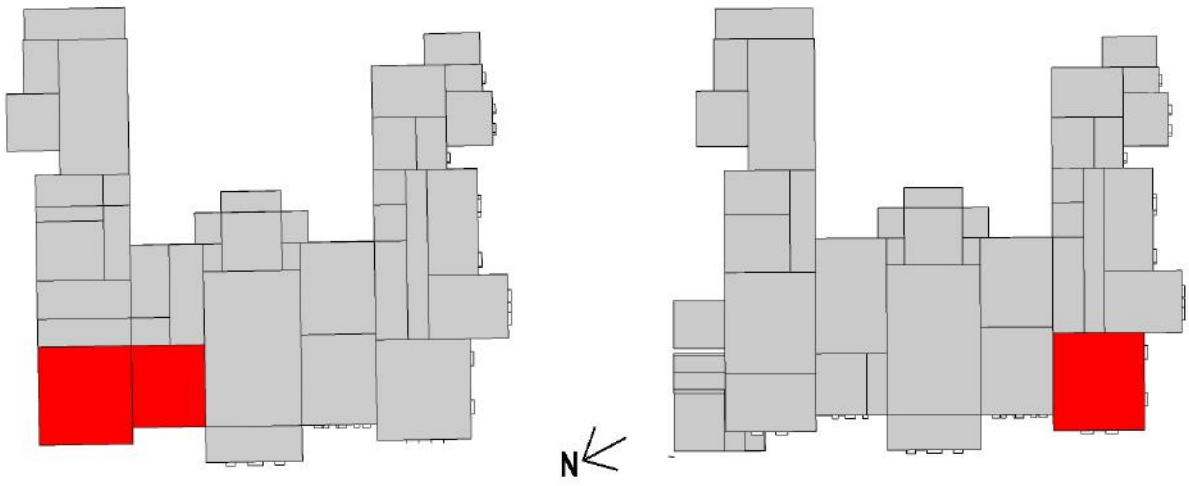
relação ao clima e às rotinas de uso e ocupação afetam os resultados estimados; quais as incertezas associadas com as capacidades das ferramentas utilizadas; e qual o impacto de variações nos dados do projeto (MACDONALD; STRACHAN, 2001). Dois tipos de análise podem ser conduzidos: individual, para determinação da influência de um dado de entrada nos resultados; e para todos os dados de entrada considerados (LOMAS; EPPEL, 1992).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se um levantamento sobre o edifício na literatura especializada (EDITORES, 2016; MARTINS, 2012; NASCIMENTO, 2002; SILVA; COSTA; BAROSSI, 2007; SOARES, 2012; SOARES; OLIVEIRA, 2013), incluindo informações sobre materiais e componentes construtivos, e conduziram-se análises de desempenho térmico da edificação, com auxílio da ferramenta EnergyPlus, versão 8.3 (EERE, 2015). Utilizou-se arquivo climático de um ano típico da cidade de São Paulo (TMY – *Typical Meteorogical Year*) para a série de 2001 a 2010, com base em dados do INMET (RORIZ, 2012).

Nas Figuras 1 e 2, está ilustrado o zoneamento térmico adotado para as simulações computacionais dos pavimentos térreo e superior, respectivamente; em destaque, ambientes selecionados: no pavimento térreo, o ambiente "Sala dos espelhos", utilizado para defesas e eventos (dividido em duas zonas térmicas); no pavimento superior, "Sala de aula".

Figuras 1 e 2 – Zoneamento térmico dos pavimentos térreo e superior, respectivamente



Além de uma análise do conjunto dos elementos arquitetônicos do edifício, foram realizadas análises para identificação daqueles com maior impacto no desempenho da edificação. Determinados os elementos arquitetônicos de interesse, estes foram alterados a partir dos parâmetros originais, constituintes do modelo de referência para as simulações (aqui chamado de modelo base).

A porcentagem de abertura para iluminação foi definida como a razão

entre a área total de aberturas e a área de piso; o ambiente "Sala dos Espelhos" possui uma porcentagem de abertura para iluminação de 13,86% e o ambiente "Sala de aula" possui uma porcentagem próxima, de 12,86%. Os valores mínimos adotados para a variação desse parâmetro foram obtidos do atual código de obras do município de São Paulo (SÃO PAULO, 1992), em que se permitem construções que possuam a partir de 15% de abertura. Além desse percentual mínimo, foram escolhidos outros valores de abertura para realização das simulações, de modo a verificar a influência deste parâmetro. Os valores escolhidos foram: 15%, 18,75%, 22,5% e 30%.

De maneira análoga, a porcentagem de abertura para ventilação foi definida como a razão entre a área total de aberturas de ventilação e a área de piso. Para o edifício, a área de aberturas para a ventilação difere da área para iluminação, devido ao desenho da caixilharia. Calculados, o ambiente "Sala dos Espelhos" possui uma porcentagem de abertura para ventilação de 8,58%, ao passo que a "Sala de Aula" possui uma porcentagem de 10,73%. Os valores para os quais esses parâmetros foram modificados seguem os exigidos pelo código de obras residencial de São Paulo (SÃO PAULO, 1992). Foram adotadas, portanto, variações a partir do mínimo valor permitido: 7,5%, 9,375%, 11,25% e 15%.

A taxa de ocupação para o modelo base foi calculada baseando-se na atual estrutura do programa de pós-graduação da FAU-USP. Para as salas de aula, foram consideradas turmas de 15 alunos cada, ocorrendo quatro aulas simultâneas no período matutino e seis aulas simultâneas no período vespertino, de segunda a sexta. A biblioteca e a secretaria funcionam de segunda a sexta das 8 h às 17 h, com três funcionários na biblioteca e nove funcionários na secretaria. Na sala de defesas ocorre, em média, um evento por dia, no período vespertino, com ocupação estimada em oito pessoas. O edifício não funciona aos sábados e domingos. Assim, a taxa de ocupação aplicada na simulação do modelo base é de 9 m²/pessoa para o edifício todo e de 14,61 m²/pessoa para a "Sala dos Espelhos". Os valores escolhidos para variação desse parâmetro são baseados na NBR 16401 (ABNT, 2008) e correspondem a um limite mínimo de ocupação de 10 m²/pessoa, referente ao uso da biblioteca, e um máximo de 2 m²/pessoa, referente ao uso da sala de aula.

A Tabela 1 apresenta um resumo das características do edifício e a Tabela 2 um resumo das alternativas analisadas para transmitância térmica e capacidade térmica. Para verificar o quanto alterações na transmitância térmica (U) e na capacidade térmica (CT) dos componentes podem influenciar no desempenho térmico dos ambientes, foram escolhidos valores que representam os extremos do recomendado pelo Regulamento Técnico de Qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C) (INMETRO, 2013) e da NBR 15220 (ABNT, 2005).

Tabela 1 – Resumo das características do edifício Vila Penteado

Componente construtivo	**Materiais**	**Transmitância térmica [W/m²K]**	**Capacidade térmica [kJ/m²K]**	**Fator solar (%)**
Paredes externas	Tijolo cerâmico de 50 cm	1,08	703,0	-
	Tijolo cerâmico de 40 cm	1,27	488.9	-
Paredes internas	Tijolo cerâmico de 30 cm	1,38	442,8	-
Forro	Estuque	2,72	45,67	-
Piso	Madeira	1,19	211,68	-
Cobertura	Peças de ardósia	3,85	100,5	-
Esquadrias (área transparente)	Vidro comum	5,70	12,6	87

Tabela 2 – Resumo das alternativas analisadas para U e CT

Parâmetro	**Valores adotados**						
U [W/m²K]	0,3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,7
CT [kJ/m²K]	100	200	300	400	500	600	700

As salas do edifício possuem um pé-direito elevado; a "Sala de aula" possui um pé direito de 5,05 m e a "Sala dos espelhos", 5,25 m. Em vista disso, procurou-se trabalhar com valores menores que os encontrados no edifício. Assim, os valores simulados para esse parâmetro são, além do valor base: 2,5 m e 3,75 m.

O ático da edificação pode ser considerado como uma zona térmica, devido à sua volumetria e altura. Este fato tem grande influência no desempenho térmico do ambiente "Sala de Aula". Assim, para verificar a influência desse volume, foi simulado um cenário sem ático, em que a cobertura da sala de aula foi configurada conforme os materiais de uma laje de concreto comum. Esta laje possui as características apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações referentes à laje de cobertura sem ático

Material/ Propriedade	**Espessura da camada**
Argamassa	3,0 cm
Asfalto	2,0 cm
Laje de Concreto	20,0 cm
Transmitância térmica do conjunto	6,339 W/(m²·K)
Capacidade térmica do conjunto	572,44 kJ/(m²·K)

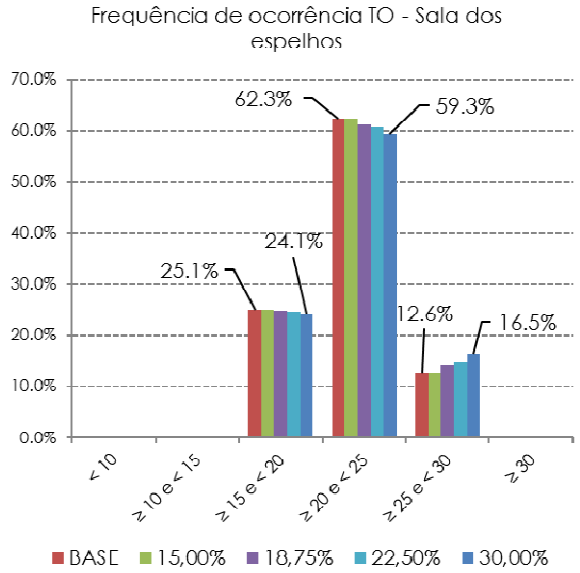
Nas caixilharias do edifício existem persianas de madeira, que sombreiam os vidros das janelas; fato esse que diminui a entrada de radiação solar pelos elementos transparentes da envoltória. Para verificar o efeito desse sombreamento, simulou-se um cenário em que essas janelas não possuem os elementos de sombreamento. Na época de sua construção, o edifício, que ocupava uma extensa área, continha programas como hortas, jardins e quadras de tênis. Em vista disso, não havia construções no entorno que provocassem sombreamento na edificação. Atualmente, a edificação apresenta um entorno totalmente edificado, que interfere diretamente no sombreamento da edificação. Em vista disso, foram considerados dois cenários volumétricos para a análise: sem e com entorno edificado.

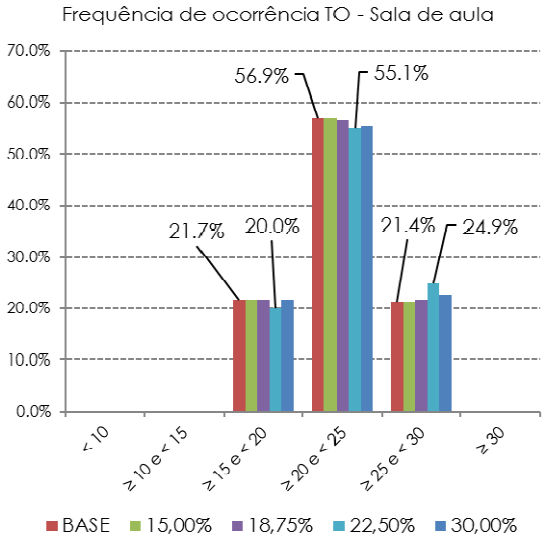
5 RESULTADOS

A seguir, os gráficos das Figuras 3 a 20 mostram os resultados das análises empreendidas, apresentados na forma de histogramas com frequência de ocorrência da temperatura operativa interna (TO), para os cenários analisados. Os valores discriminados correspondem ao maior e menor valor encontrados, para cada faixa de análise.

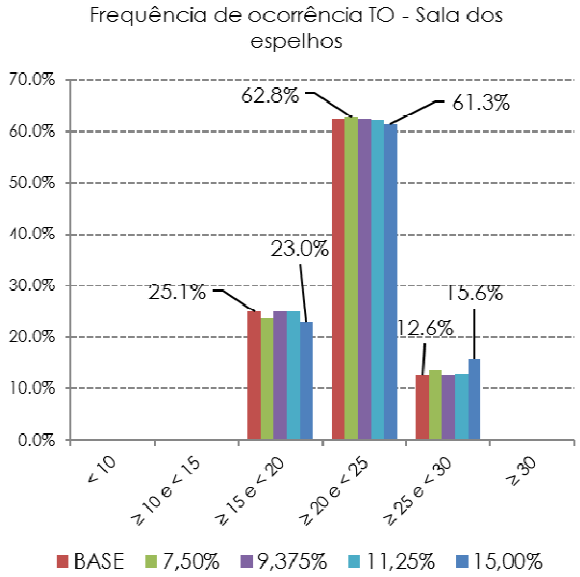
Pelas Figuras 3 e 4, verifica-se uma influência pouco significativa do aumento da porcentagem de abertura para iluminação sobre a temperatura operativa interna, o que mostra que a robustez da envoltória opaca ameniza a interferência deste parâmetro sobre o desempenho térmico da edificação. Nos dois ambientes analisados, verificou-se um aumento inferior a 4% na faixa de 25°C a 30°C, comparando-se os menores valores simulados (aberturas inferiores a 15%) aos maiores valores (aberturas de 30%). De maneira análoga, as Figuras 5 e 6 mostram também uma baixa influência da área de abertura para ventilação sobre os resultados de temperatura operativa do ambiente interno.

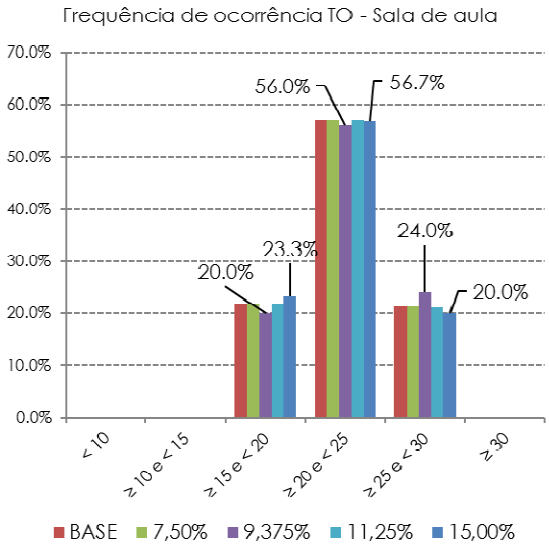
Figuras 3 e 4 – Frequência de ocorrência da TO para diferentes percentuais de aberturas para iluminação





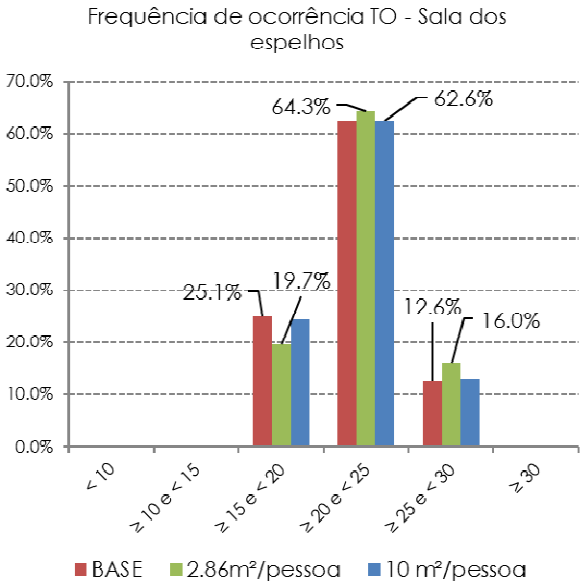
Figuras 5 e 6 – Frequência de ocorrência da TO para diferentes percentuais de aberturas para ventilação

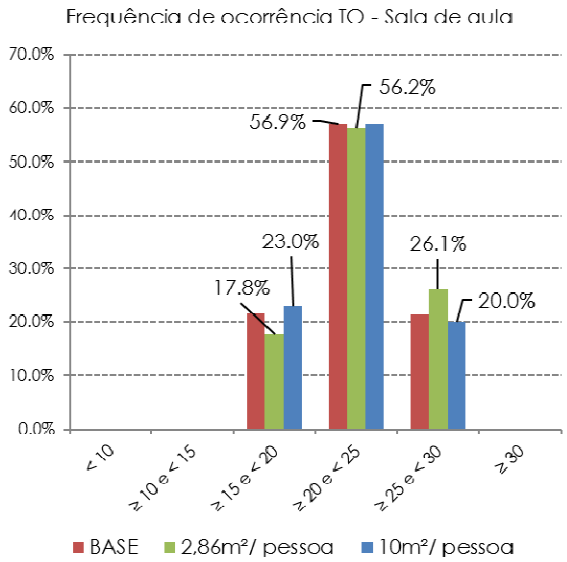




Dentre os intervalos analisados para a variável densidade populacional (Figuras 7 e 8), verificou-se um aumento de temperatura operativa interna de aproximadamente 4% nos dois ambientes analisados, para a faixa de 25°C a 30°C, decorrente do aumento na taxa de ocupação. O resultado é um indicativo de que a envoltória da edificação ainda permitiria um bom desempenho térmico ao ambiente interno, caso houvesse um aumento no número atual de ocupantes do edifício.

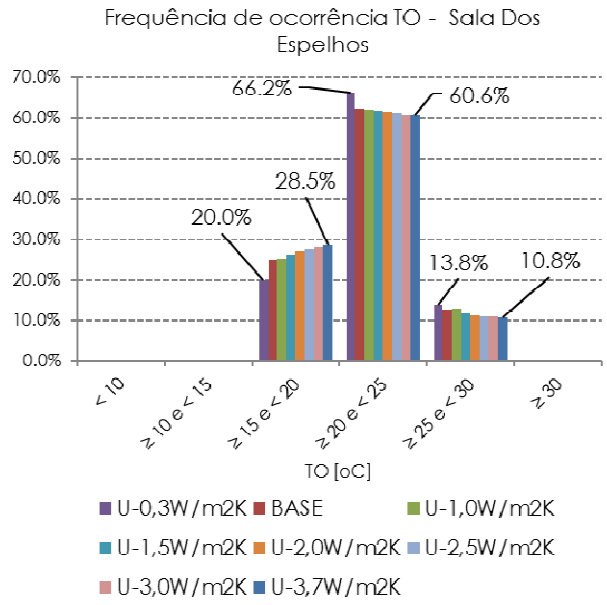
Figuras 7 e 8 – Frequência de ocorrência da TO para diferentes densidades de ocupação

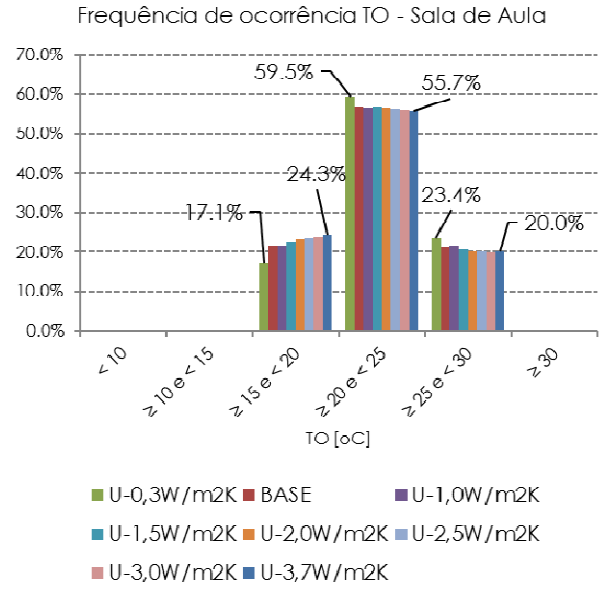




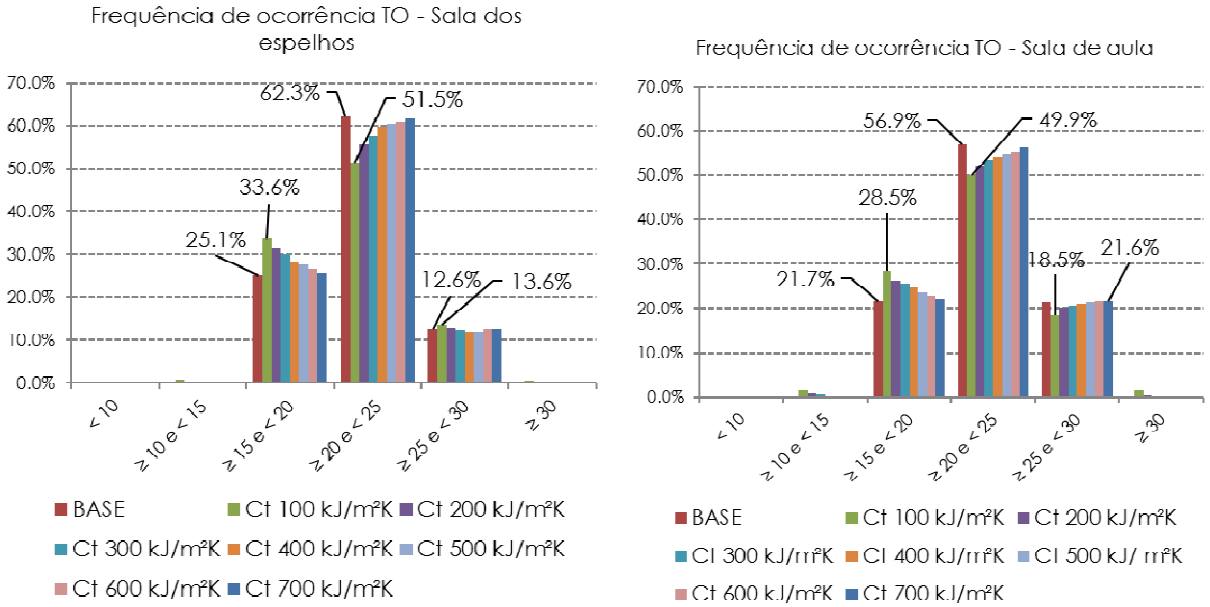
As variações de transmitância térmica (Figuras 9 e 10) tiveram maior impacto no aumento de desconforto para o frio, com aumentos na faixa de temperatura operativa de 15°C a 20°C da ordem de 8% para a sala dos espelhos e da ordem de 7% para a sala de aula. O mesmo ocorre com a redução da capacidade térmica (Figuras 11 e 12). Os menores valores de capacidade apresentam maior recorrência de temperatura operativa na faixa de 15°C a 20°C.

Figuras 9 e 10 – Frequência de ocorrência da TO para diferentes valores de transmitância térmica



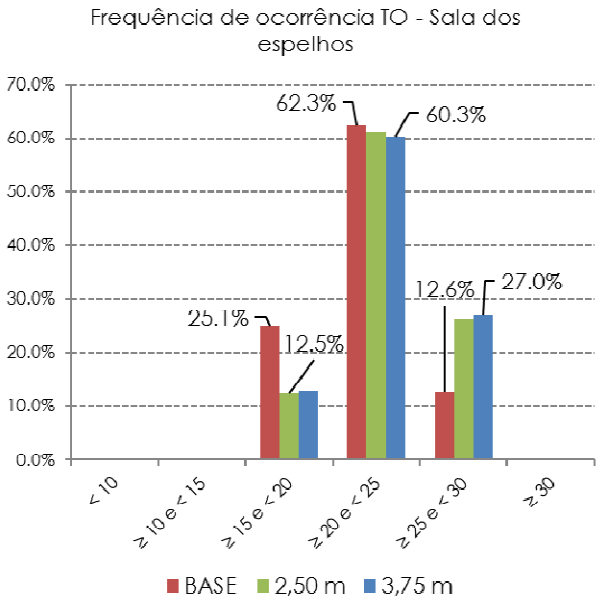


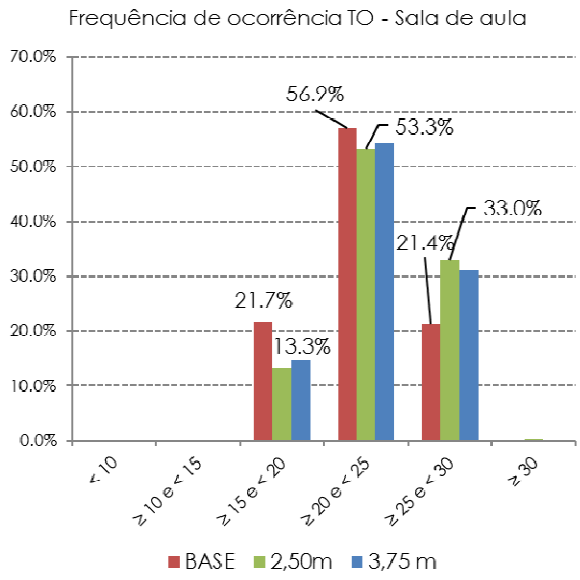
Figuras 11 e 12 – Frequência de ocorrência da TO para diferentes valores de capacidade térmica



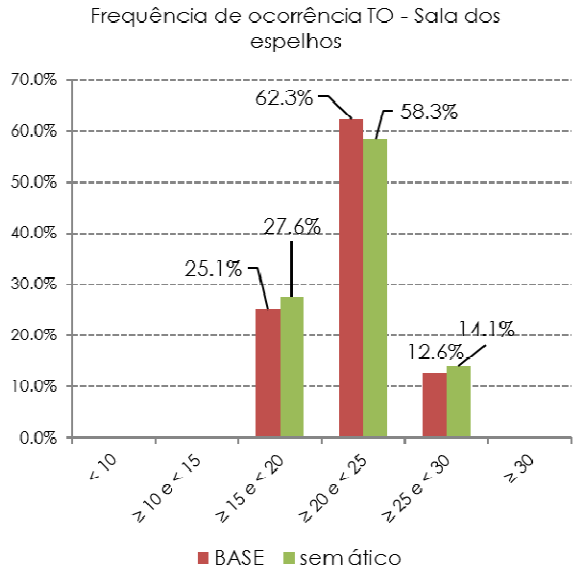
O decréscimo do pé-direito (Figuras 13 e 14) trouxe um aumento significativo nas horas de desconforto para o calor, de aproximadamente 15% na faixa de temperatura operativa de 25°C a 30°C, para a sala dos espelhos, e de aproximadamente 12%, para a sala de aula. A retirada do ático (Figuras 15 e 16) teve um impacto menos significativo, representando um leve aumento no desconforto por frio (temperatura entre 15°C e 20°C) e por calor (temperatura entre 25°C e 30°C). Mesmo para o caso da sala de aula, que está em contato direto com o ático, a variação entre extremos não foi superior a 4%.

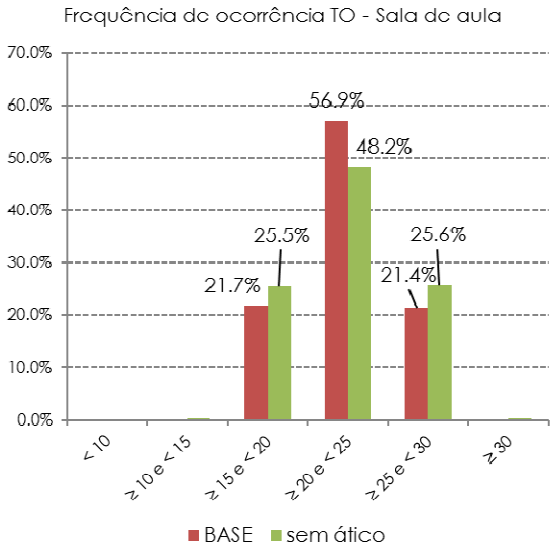
Figuras 13 e 14 – Frequência de ocorrência da TO para diferentes valores de pé-direito





Figuras 15 e 16 – Frequência de ocorrência da TO para presença ou não do ático

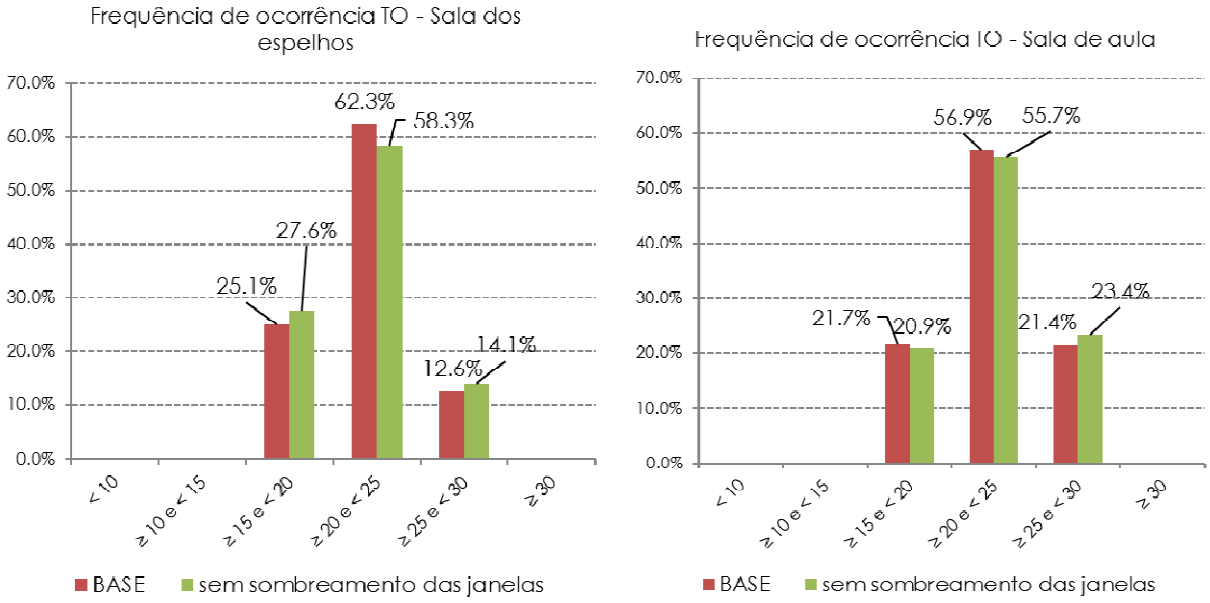




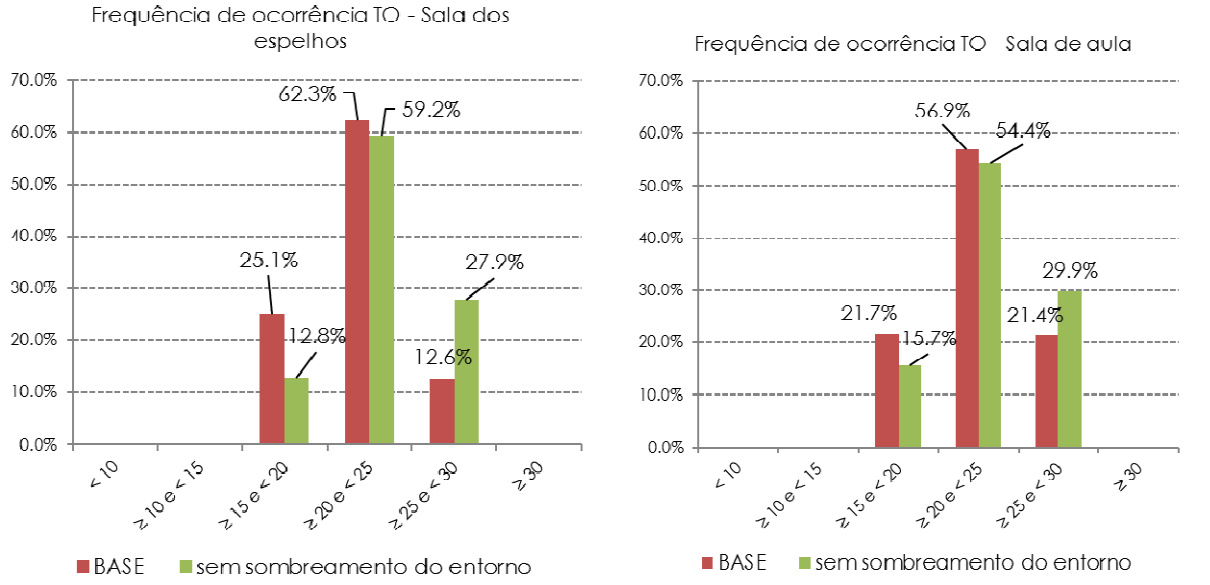
A retirada das persianas de madeira que sombreiam os vidros das janelas (Figuras 17 e 18) causou um impacto pouco significativo no aumento do desconforto por calor (faixa de temperatura operativa interna de 25°C a 30°C): 1,5% na sala dos espelhos e 2% na sala de aula. Isso ocorre pois o modelo base conta com o sombreamento do entorno construído, que obstrui grande parte da radiação solar direta nas fachadas da edificação. Ao analisar o impacto do sombreamento provocado pelo entorno construído (Figuras 19 e 20), verifica-se que a ausência do entorno provoca um aumento relevante no desconforto por calor, da ordem de 15% para a

sala dos espelhos e de 8% para a sala de aula (intervalo de temperatura operativa de 25°C a 30°C).

Figuras 17 e 18 – Frequência de ocorrência da TO para presença ou não de sombreamento das janelas



Figuras 19 e 20 – Frequência de ocorrência da TO para presença ou não de sombreamento do entorno



6 CONCLUSÕES

Para os dois ambientes selecionados, os resultados confirmaram o bom funcionamento da ventilação natural por ação dos ventos, a manutenção da temperatura radiante média abaixo da temperatura do ar na maior

parte do tempo e, consequentemente, a adequabilidade da edificação para o uso atual. Também se pôde demonstrar sinergia positiva entre os parâmetros analisados, pois os aspectos arquitetônicos do edifício potencializam o desempenho térmico dos elementos e componentes construtivos.

Pelos gráficos apresentados, verifica-se que os itens que apresentaram maior influência no desempenho térmico do edifício Vila Penteado foram o pé-direito (Figuras 13 e 14) e a presença de edificações no entorno (Figuras 19 e 20), seguido da transmitância e capacidade térmica dos materiais da envoltória (Figuras 9 a 12). As demais variáveis analisadas mostraram-se de menor influência sobre o desempenho térmico dos ambientes internos.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações.** Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401: Instalações de ar condicionado:** sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

CLARKE, Joseph Andrew. **Energy Simulation in Building Design**. 2 ed. Glasgow: Butterworth-Heinemann, 2001.

EDITORES, Os. 30 anos de pós-graduação e Centenário do Edifício Vila Penteado. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 12, p. 148-150, 2002. Disponível em: www.revistas.usp.br. Acesso em 10 fev. 2016.

EERE - ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **EnergyPlus simulation software**. US Department of Energy. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 15 set. 2015.

GIVONI, Baruch. Conservation and the Use of Integrated-Passive Energy Systems in Architecture. **Energy and Buildings**, v. 3, p. 213-228, 1981. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/enbuild>. Acesso em 6 abr. 2016.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. RTQ**-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas**. INMETRO, 2013. Disponível em: <www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em 10 fev. 2016.

KATINSKY, Júlio Roberto. Arquitetos e engenheiros estrangeiros em São Paulo na virada do século XIX. In: MARTINS, Maria Lúcia Refinetti Rodrigues (Org.). **Vila Penteado:** 1902-2012 - Pós-Graduação 40 Anos. São Paulo: FAUUSP, 2012, p. 31-40.

LOMAS, Kevin J.; EPPEL, Herbert. Sensitivity analysis techniques for building simulation programs. **Energy and Buildings**, v. 19, p. 21-44, 1992. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/enbuild>. Acesso em 6 abr. 2016.

MACDONALD, Iain; STRACHAN, Paul. Practical application of uncertainty analysis. **Energy and Buildings**, v. 33, p. 219-227, 2001. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/enbuild>. Acesso em 6 abr. 2016.

MARTINS, Maria Lúcia Refinetti Rodrigues (Org.). **Vila Penteado:** 1902-2012 - Pós-Graduação 40 Anos. São Paulo: FAUUSP, 2012.

NASCIMENTO, Cláudia Bastos do. **Deterioração de forro em estuque reforçado com ripas vegetais:** o caso "Vila Penteado" - FAU-USP. 2002. 245 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em 10 fev. 2016.

RORIZ, Maurício. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros**. Relatório de pesquisa. São Carlos: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012. Disponível em: <roriz.dominiotemporario.com>. Acesso em: 15 set. 2015.

SÃO PAULO (Município). Resolução estadual de 27 de fevereiro de 1978. Fica tombada como monumento arquitetônico alusivo ao ciclo do café e pré-industrial, correspondente ao final do século XIX, a casa denominada "Vila Penteado" e que atualmente é ocupada apela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, sia à Rua Maranhão, n. 88, nesta Capital. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, Cultura Ciência e Tecnologia, p. 37, 28 fev. de 1978.

SÃO PAULO (Município). Resolução municipal n. 05/91. Por decisão unânime dos Conselheiros presentes reunião realizada aos cinco dias do mês de abril de 1991, o Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo - CONPRESP, resolve, nos termos e para os fins da Lei no10.032/85, com as alterações introduzidas pela Lei no 10.236/86, tombar "ex-officio" os bens abaixo descriminados: [...] Vila Penteado - Rua Maranhão, 88 - Higienópolis. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, São Paulo, 1991.

SÃO PAULO (Município). Lei n° 11.228/92. Dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras e edificações, dentro dos limites dos imóveis. **Diário Oficial do Município de São Paulo, São Paulo**, São Paulo, 1992

SILVA, Helena Aparecida Ayoub; COSTA, Sabrina Studart Fontenele; BAROSSI, Antonio Carlos. A consolidação dos forros da Vila Penteado - Em estuque estruturado por fasquias de juçara. **Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação**, v. 1, n. 6, p. 305-308, 2007. Disponível em: <www.restaurabr.org>. Acesso em 10 fev. 2016.

SOARES, Isis Salviano Roverso. **Análise do desempenho aplicada à preservação predial:** o caso do edifício Vila Penteado. 2012. 392 fl. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade

de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em 10 fev. 2016.

SOARES, Isis Salviano Roverso; OLIVEIRA, Claudia Terezinha de Andrade. Preservação arquitetônica: teoria, legislação e prática. **Revista CPC**, n. 15, p. 137-162, 2013. Disponível em: www.revistas.usp.br. Acesso em 10 fev. 2016.

TOLEDO, Benedito Lima de. Vila Penteado: registros. São Paulo, 2002 *apud* EDITORES, Os. 30 anos de pós-graduação e Centenário do Edifício Vila Penteado. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 12, p. 148-150, 2002. Disponível em: www.revistas.usp.br. Acesso em 10 fev. 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVOS VISUAIS DE CONSUMO DE ENERGIA[1]

CAVALLI, Camila B. (1); MOURA, Paula K. (2); ROCHA, Cecília G. (3)

(1) UFRGS, e-mail: camilabcavali@hotmail.com; (2) UFRGS, e-mail: paulakmoura@gmail.com; (3) UFRGS, e-mail: cecilia.rocha@ufrgs.br

RESUMO

O consumo de energia residencial aumentou 23% na última década e as projeções indicam um aumento de 25% até 2030. Uma estratégia para reduzir o consumo é a mudança do comportamento dos usuários através da apresentação de feedback da energia consumida. Pesquisas sobre dispositivos visuais mostram que prover feedback pode gerar uma redução de 5 a 20% do consumo de energia, mas há poucos estudos sobre o formato desse instrumento de informação. Esta pesquisa tem como objetivo apresentar uma ferramenta para avaliar a preferência e o entendimento dos tipos de informação e dos formatos de apresentação de consumo de energia. A ferramenta será futuramente aplicada para avaliar a percepção de três faixas etárias (crianças, adultos e idosos) dentro do contexto brasileiro.

Palavras-chave: Dispositivos visuais. Tipos de informação. Formatos de apresentação. Smart meter.

ABSTRACT

Residential energy consumption has increased 23% over the past decade and it is expected to increase another 25% by 2030. One strategy to reduce such consumption is to change user behavior by providing feedback on the energy consumed. Studies on visual devices indicate that providing feedback creates reductions in energy consumption between 5% and 20%. However, there is limited research on the format of such devices. This research presents a tool to assess the preferences and understanding of different types of information and presentation formats. This tool will be applied to assess the perception of three age groups (children, adults and elderly) in the Brazilian context.

Keyword: *Visual devices. Types of information. Presentation formats. Smart meter.*

1 INTRODUÇÃO

Diversas pesquisas mostram que apresentar aos usuários dados sobre seu consumo de energia pode auxiliar na redução do mesmo (DARBY, 2006; FISCHER, 2007; ABRAHAMSE et al., 2005). Dados do consumo podem ser informados através de feedback e de informações antecedentes. O feedback é definido como uma informação fornecida ao usuário logo após a realização de uma ação (CHIANG et al., 2012). Por exemplo, dispositivos

[1] CAVALLI, Camila B.; MOURA, Paula K.; ROCHA, Cecília G. Uma Ferramenta Para Avaliação De Dispositivos Visuais De Consumo De Energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

visuais apresentam o feedback do consumo em tempo real. Isso difere de informações antecedentes, onde uma informação genérica (ou seja, não vinculada ao consumo da pessoa) é fornecida antes da realização da ação (ABRAHAMSE et al., 2005). Um folheto com dicas para reduzir o consumo de energia na residência é um exemplo de informações antecedentes. Darby (2006) classificou o feedback como indireto e direto. No primeiro caso, a informação é apresentada com um grande intervalo de tempo após a ação, tais como informações adicionais nas contas de luz (Darby 2006). No segundo caso, a informação é fornecida logo após a ação, tais como dispositivos visuais que mostram o consumo de energia em tempo real (Darby, 2006).

Várias pesquisas quantificaram a redução no consumo de energia decorrente do uso de dispositivos (WOOD E NEWBOROUGH, 2003; DARBY, 2006; UENO et al., 2006; FISCHER, 2007). Darby (2006), ao realizar uma revisão de 38 artigos sobre o feedback, constatou que o uso de dispositivos visuais está associado com uma redução de 5 a 15% do consumo de energia. Já Abrahamse et al. (2005), Wood e Newborough (2003), Fischer (2007) e Faruqui et al. (2010) sugerem reduções de até 20%. Mesmo sendo efetivos na redução do consumo de energia, poucos estudos mostram a influência do design dos dispositivos, que inclui o tipo de informação e o formato de apresentação (e.g. CHIANG et al.,2012; KARJALAINEN, 2011). Karjalainen (2011) analisou a preferência do consumidor por diferentes tipos de informação (frequência da medição, comparação, natureza da medida, etc). Entretanto, as informações foram combinadas em 8 diferentes protótipos que os usuários deveriam avaliar, dificultando a avaliação de cada tipo de informação isoladamente. Já Chiang et al. (2012) analisou apenas formatos de apresentação (numérico, analógico e ambiental) e a influência de cores (colorido e preto e branco) para dois tipos de informação (consumo instantâneo e cumulativo). Os resultados mostram que os usuários preferem dispositivos numéricos e coloridos para os dois tipos de informação.

Além disso, há poucas pesquisas que abordam a preferência e o entendimento sobre os tipos de informação e formatos de apresentação para diferentes perfis de usuários (e.g. HARGREAVES et. al., 2010; FELL e CHIU, 2014; BARNICOAT e DANSON, 2015). Hargreaves et al. (2010) entrevistaram 12 usuários para avaliar os hábitos de uso de monitores. Como resultado, na maioria dos casos, o dispositivo era utilizado por um único membro da família (geralmente homem). Fell e Chiu (2014) analisaram a percepção do consumo de energia por crianças e observaram sua dificuldade na compreensão das unidades de apresentação do consumo, como, por exemplo, kWh. Barnicoat e Danson (2015) analisaram essa percepção para idosos porque perceberam a falta de informação sobre seu consumo e interação com tecnologias que controlam o gasto de energia. Cada perfil de usuário pode ter preferência e entendimento diferentes para tipos de informação e formatos de apresentação, sendo necessário analisá-los para auxiliar no design de dispositivos.

Estudos também sugerem que a preferência e o entendimento dos tipos de informação e formatos de apresentação mudam de acordo com a cultura. Egan (1999) e Wilhite et al. (1999) realizaram uma pesquisa, respectivamente nos EUA e Noruega, para avaliar quatro formatos de apresentação para um mesmo tipo de informação (comparação de consumo entre residências semelhantes). Enquanto os participantes da pesquisa de Egan (1999) preferem um formato de apresentação, o mesmo formato, na pesquisa de Wilhite et al. (1999), é considerado infantil. No Brasil há carência de estudos que visam avaliar a percepção dos usuários sobre tais dispositivos. Tampouco foram identificadas pesquisas que investiguem a percepção de consumo de energia por usuários de diferentes faixas etárias.

Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo apresentar uma ferramenta para avaliar a preferência e o entendimento dos tipos de informação. Esta ferramenta será posteriormente aplicada para avaliar a percepção de dispositivos visuais por usuários de três faixas etárias (crianças, adultos e idosos) no contexto brasileiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta os tipos de informação e os formatos de apresentação encontrados na literatura.

2.1 Tipos de informação

Tipo de informação se refere aos dados que podem ser apresentados em um dispositivo:

- **Natureza de medida** (DARBY, 2010; FROEHLICH, 2009; WOOD E NEWBOROUGH, 2007): corresponde ao que o dispositivo está medindo. O dispositivo pode medir eletricidade, gás, água e/ou temperatura;
- **Frequência de medição** (UENO et al., 2006, WOOD E NEWBOROUGH, 2007; FISCHER, 2007; DARBY, 2010; KARJALAINEN, 2011; CHIANG et al., 2012; KRISHNAMURTI et al., 2013): corresponde ao período de tempo referente ao qual o dispositivo apresenta o feedback para o usuário. Este período pode ser: consumo no último ano, no último mês, na última semana, no último dia, por hora, ou em tempo real;
- **Agregação física** (UENO et al., 2006; FISCHER, 2007; KARJALAINEN, 2011; FHOEHLICH, 2009; WOOD E NEWBOROUGH, 2007; KRISHNAMURTI et al., 2013; JAIN et al., 2012): corresponde a abrangência física da medição de energia consumida – energia utilizada por aparelhos, ambientes, pela casa inteira e para uma função (exemplo: cozinhar). Karjalainen (2011) acrescenta a separação por dia dentro da categoria agregação física, gerando uma confusão entre as categorias **agregação física** e **frequência de medição**;
- **Comparação** (EGAN, 1999; WILHITE et al., WOOD E NEWBOROUGH, 2007; FISCHER, 2007; FROEHLICH, 2009; DARBY, 2010; KARJALAINEN, 2011; CHIANG et al., 2012, CHIANG et al., 2014; JAIN et al. 2012; KRISHNAMURTI

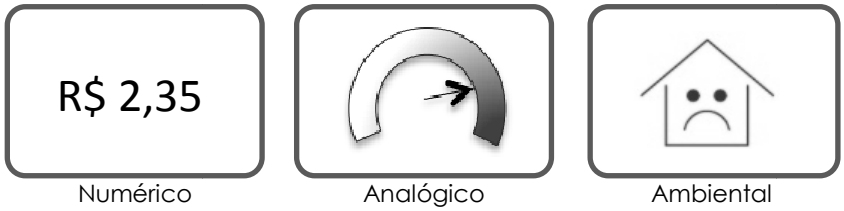
et al., 2013): pode ser (i) comparação histórica (com os dados da própria casa, podendo variar o período de tempo: dia, semana, mês e ano) e (ii) comparação normativa (com casas similares). Segundo Egan (1999), a comparação deve ocorrer principalmente entre famílias similares. O autor destaca que a similaridade se dá pelo tamanho, aparelhos e localização geográfica, mas não fornece maiores detalhes;

- **Consumo máximo** (WOOD E NEWBOROUGH, 2007; KARJALAINEN, 2011; KRISHNAMURTI et al., 2013): é o valor limite que pode ser alcançado em termos de consumo de energia. Este valor pode ser definido pelo próprio dispositivo, com base no histórico do consumo, ou pelo usuário. Krishnamurti et. al. (2013) sugere que o consumo máximo não seja tão alto que desanime ou tão baixo que seja facilmente alcançado;
- **Dicas** (UENO et al., 2006; FHOEHLICH, 2009): recomendações que ajudam o usuário a economizar energia, como exemplo, desligar a luz;
- **Incentivo/Penalidade** (EGAN, 1999; DARBY, 2010; KARJALAINEN, 2011; WOOD E NEWBOROUGH, 2007; JAIN et al., 2012; CHIANG et al., 2014): incentivo corresponde à estratégia utilizada para redução do consumo; penalidade corresponde à estratégia para quando não há economia de energia. Incentivos podem ser: econômicos (exemplo: redução do valor da conta de luz), sociais (exemplo: competição motivada pelo próprio usuário ou com outros usuários) e ambientais (exemplo: diminuir as emissões de carbono). Já a penalidade pode ser econômica (exemplo: receber uma multa quando exceder o limite de consumo).

2.2 Formato de apresentação

Formatos de apresentação estão relacionados com o modo de apresentação dos diferentes tipos de informação. Darby (2010) e Chiang et al. (2012), propõem três formatos (Figura 1): numérico (informação quantitativa do consumo de energia em unidade monetária, kWh e/ou emissão de CO_2); analógico (informação através de uma escala – velocímetro, barras ou gráficos) e ambiental (informação apresentada de forma periférica, com a utilização de imagens, como faces, cores, sons e luzes). Karjalainen (2011) sugere que a informação deva ser apresentada com combinações de texto, diagramas e tabelas.

Figura 1 – Tipos de dispositivos



Fonte: Os autores

2.3 Preferência e entendimento

Os usuários apresentam diferentes preferências pelos tipos de informação e formatos de apresentação. Por exemplo, alguns usuários podem preferir comparação com dados anteriores enquanto outros preferem comparação com casas vizinhas (KARJALAINEN, 2011). Entretanto, analisar somente a preferência dos usuários não é o suficiente para a redução de energia, sendo necessário avaliar também o entendimento das informações pelo usuário (CHIANG et al., 2014). A maioria dos artigos avalia somente a preferência dos usuários (e.g. EGAN, 1999; WILHITE et al., 1999; ANDERSON e WHITE, 2009). Karjalainen (2011) e Chiang et al. (2012) pesquisaram tanto a preferência quanto o entendimento dos usuários. Para isso, realizaram entrevistas semiestruturadas com apresentação de protótipos de dispositivos. Para Karjalainen (2011) o participante deveria responder se entendia a informação apresentada. Já Chiang et al. (2012), propôs que os participantes indicassem as mudanças que ocorriam no dispositivo e analisou o percentual de respostas corretas.

3 FERRAMENTA DE COLETA

A ferramenta de coleta irá avaliar a preferência e entendimento dos tipos de informação e dos formatos de apresentação através de seis etapas. A coleta de dados será realizada em três workshops, um para cada faixa etária de usuário, com até 15 participantes.

3.1 Desenho de um produto

Nesta etapa será realizada uma introdução à situação energética no Brasil para que os participantes estejam conscientes da importância da redução do consumo. Será solicitado ao participante que desenhe um produto que mostre o consumo de energia de sua casa. Este desenho inicial é necessário para que os participantes comecem a pensar sobre este produto e seu funcionamento. Normalmente, os dispositivos apresentam três formatos (numérico, analógico e ambiental), mas os participantes podem apresentar novas soluções, especialmente para formatos ambientais. Ao final desta etapa, serão apresentados exemplos de dispositivos visuais, visto que não são comuns no Brasil.

3.2 Importância e priorização dos tipos de informação

Nesta etapa serão avaliadas a importância e a priorização dos tipos de informação identificados na literatura (Quadro 1). Os participantes devem atribuir para cada tipo de informação pesos de 1 a 5 (sendo 1 pouco importante e 5 muito importante) e priorizar cinco tipos de informação que gostaria de ter no seu dispositivo. Uma vez que há vários tipos de informações, é necessário identificar os preferidos, pois o excesso de informação no dispositivo pode prejudicar a compreensão.

Quadro 1– Importância dos tipos de informação

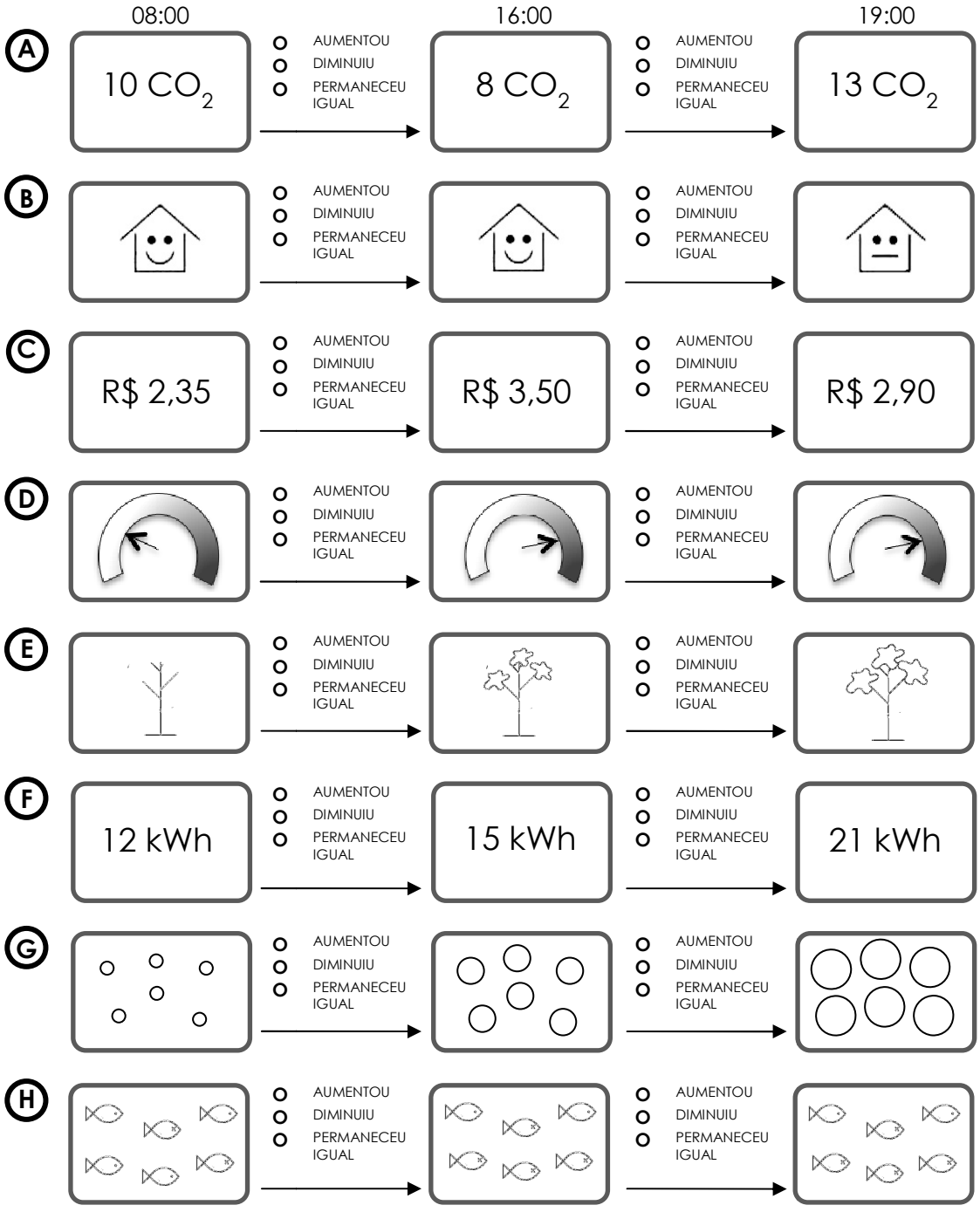
Assinale a importância de cada tipo de informação (1- Pouco importante e 5 - Muito importante)						
TIPOS DE INFORMAÇÃO		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
A	Consumo instantâneo Quanta energia está sendo consumida na casa em tempo real Exemplo: neste momento o consumo é de 5 kWh					
B	Consumo cumulativo Quanta energia foi consumida nas ultimas 24h, na última semana, no último mês e/ou no último ano Exemplo: consumo nas últimas 24h é 110 kWh					
C	Consumo separado por ambientes da casa Quanta energia foi consumida em cada ambiente da casa Exemplo: consumo da cozinha é de 12 kWh					
D	Consumo separado por aparelhos Quanta energia foi consumida por cada aparelho Exemplo: a geladeira da casa consome 3 kWh					
E	Comparação com dados anteriores Comparação histórica do consumo cumulativo Exemplo: consumo do final de semana é maior que nos outros dias					
F	Comparação com casas vizinhas Comparação do consumo cumulativo com outras casas na vizinhança Exemplo: o consumo da sua casa é 35 kWh maior que o da casa vizinha					
G	Consumo máximo Limite máximo de consumo do dia, da semana, do mês e do ano Exemplo: o uso de vários equipamentos simultaneamente pode fazer com que o consumo máximo seja ultrapassado					
H	Dicas Informações para reduzir o consumo de energia na residência Exemplo: para reduzir o consumo, use menos a secadora de roupas					
I	Incentivo Estratégia utilizada para a pessoa reduzir seu consumo de energia Exemplo: você recebeu R$ 15,00 de desconto por reduzir o consumo					
J	Penalidade Estratégia utilizada quando não há economia de energia Exemplo: você receberá uma multa por exceder o limite de consumo					

Fonte: Os autores

3.3 Entendimento e preferência do formato de apresentação para consumo instantâneo

Nesta seção os participantes devem identificar o que ocorreu com o consumo instantâneo (ao longo do tempo) para cada dispositivo (Figura 2). A avaliação do entendimento será realizada de acordo com o estudo de Chiang et al. (2012). As ocorrências foram alternadas em cada dispositivo para evitar repetições de respostas. Assim será identificado o dispositivo que possuiu mais respostas corretas (i.e. identificação correta se o consumo aumentou, diminuiu ou permaneceu igual). Após, os participantes deverão apontar os três dispositivos favoritos.

Figura 2 – Entendimento do dispositivo



Fonte: Os autores

3.4 Preferência do formato de apresentação para os tipos de informação

Nesta etapa será avaliada a preferência por diferentes formatos de apresentação para cada um dos tipos de informação listados no Quadro 1.

Para cada tipo de informação, o participante deve assinalar o formato preferido (Figura 3).

Figura 3 – Exemplo de formatos de apresentação para consumo cumulativo

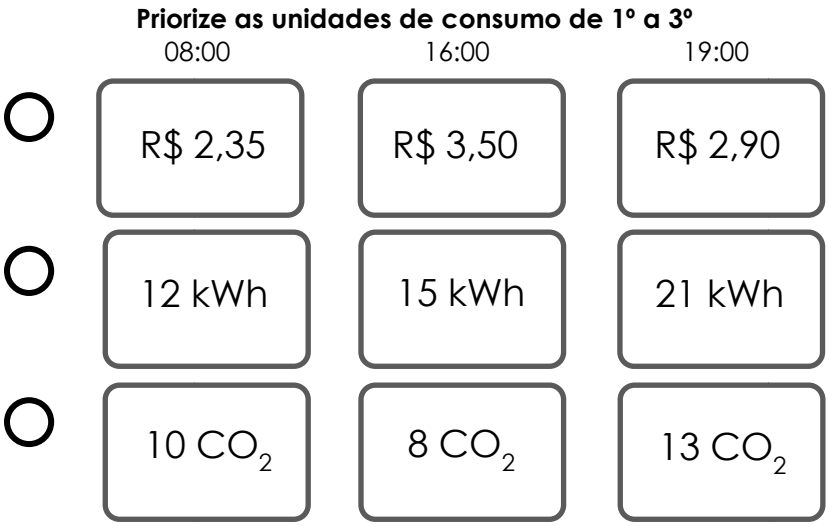


Fonte: Os autores

3.5 Priorização de unidade para consumo instantâneo

Nesta etapa, o participante deve apontar sua preferência entre as três unidades que medem o consumo de energia: kWh (energia consumida por hora), unidade monetária (R$) e emissões de carbono (CO_2) (Figura 4).

Figura 4 – Priorização das unidades



Fonte: Os autores

3.6 Desenho final do dispositivo

Na etapa final do workshop os participantes devem desenhar um produto capaz de medir o consumo de energia. Através dessa ação é verificado se as informações e os formatos de apresentação preferidos pelos participantes (etapa 2 e etapa 4) estarão presentes no desenho do dispositivo final.

4 RESULTADOS ESPERADOS

4.1 Etapa 1

Os resultados dos desenhos do dispositivo apresentados pelos participantes serão analisados conforme os itens:

a. Tipos de informação mais frequentes;
b. Formatos de apresentação mais frequentes;
c. Tipos de informação que aparecem de forma conjunta;
d. Tipos e formatos diferentes dos identificados na literatura.

4.2 Etapa 2

Nesta etapa, serão atribuídos pesos às escolhas dos participantes, sendo 1 pouco importante e 5 muito importante. Os tipos de informações mais importantes serão obtidos pela média ponderada (Tabela 1). A maior média será a informação mais importante e a menor a menos importante. Os mesmos pesos serão atribuídos aos cinco tipos de informação escolhidos conforme a priorização que cada participante elegeu (5 primeira escolha e 1 última escolha). A maior soma será a informação mais priorizada pelos participantes (Tabela 1).

Tabela 1 – Extrato da tabela dos resultados da preferência e priorização dos tipos de informação

TIPOS DE INFORMAÇÃO		Participante 1		Participante x		Média	Soma
		Preferência	Priorização (pesos)	Preferência	Priorização (pesos)	Preferência	Priorização (pesos)
A	Consumo instantâneo	5	2	3	-	4	2
B	Consumo cumulativo	3	-	1	2	2	2
...							
J	Penalidade	2	-	3	4	2.5	2

Fonte: Os autores

4.3 Etapa 3

O entendimento dos dispositivos será analisado com base nos dados coletados (Tabela 2): será avaliado se o participante definiu corretamente o que aconteceu com o consumo (aumentou, diminuiu, ou permaneceu igual). A preferência dos participantes pelos formatos de apresentação (A a H) também será avaliada. O participante deve priorizar três dispositivos conforme sua preferência. Pesos serão atribuídos (o primeiro escolhido terá peso 3 e o último peso 1), para ranquear os dispositivos e verificar quais são preferidos.

Tabela 2 – Extrato da tabela do entendimento do formato de apresentação

DISPOSITIVOS	Mudança de status	Participante 1	Participante x	Total acertos (%)
A	08:00 para 16:00	*Certo*		
	16:00 para 9:00	*Certo*		
...				
H	08:00 para 16:00	*Errado*		
	16:00 para 19:00	*Certo*		

Fonte: Os autores

4.4 Etapa 4

Nesta etapa, será analisado o formato de apresentação escolhido para cada tipo de informação. O formato preferido para cada tipo de informação será o que obtiver maior percentual de escolha (Tabela 3).

Tabela 3 – Exemplo de preferência do formato de apresentação para dois tipos de informação

TIPOS DE INFORMAÇÃO		Participante 1	Participante x	Total (%)
Consumo instantâneo	Texto	x	x	
	Símbolo			
	Luzes			
	Velocímetro		x	
Consumo cumulativo	Texto		x	
	Barras	x		
	Velocímetro			

Fonte: Os autores

4.5 Etapa 5

Nesta etapa será avaliada a unidade de preferência, entre as três apresentadas. Os participantes deverão classificar os formatos apresentados em primeiro, segundo e terceiro lugar, e a avaliação será por ranquemento similar à etapa 3.

4.6 Etapa 6

Nesta etapa serão comparadas as informações contidas nos dispositivos desenhados com os tipos de informações priorizados na etapa 2. O mesmo será feito com o formato de apresentação das informações escolhidos na etapa 4. Além disso, será comparado o desenho inicial com o desta etapa, identificando as mudanças provenientes da aplicação da ferramenta.

5 CONCLUSÕES

Os tipos de informação e os formatos de apresentação de dispositivos que avaliam o consumo de energia, bem como o seu entendimento pelos usuários, variam com a cultura e a faixa etária. A presente pesquisa apresenta uma ferramenta para coleta e avaliação de dados para o desenho de um dispositivo que traga as informações pertinentes ao contexto brasileiro. Os tipos de informações e formatos de apresentação foram identificados a partir da revisão de literatura e serão avaliados de forma independente, bem como a análise do entendimento das informações apresentadas. Os resultados obtidos irão qualificar cada tipo de informação isoladamente. Isto diferencia-se do estudo de Karjalainen (2011), onde as informações combinadas em protótipos geraram resultados de forma conjunta, dificultando o entendimento de cada tipo de informação isoladamente. Os resultados permitirão identificar os principais tipos de informação e formatos de apresentação preferidos e compreendidos e, assim, estipular estratégias para o design de dispositivos para brasileiros considerando as diferenças entre as faixas etárias.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSE, Wokje; Steg, Linda; Vlek, Charles; Rothengatter, Talib. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. **Journal of environmental psychology**, v. 25, n. 3, p. 273-291, 2005.

ANDERSON, Will; WHITE, Vicki. Exploring consumer preferences for home energy display functionality. Report to the Energy Saving Trust, 2009.

BARNICOAT, Greta; DANSON, Mike. The ageing population and smart metering: A field study of householders attitudes and behaviours towards energy use in Scotland. **Energy Research & Social Science**, v. 9, p. 107-115, 2015.

CHIANG, Teresa; NATARAJAN, Sukumar; WALKER, Ian. A laboratory test of the efficacy of energy display interface design. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 471-480, 2012.

CHIANG, Teresa; MEVLEVIOGLU, Gokhan; NATARAJAN, Sukumar; PADGET, Julian; WALKER, Ian. Inducing [sub] conscious energy behaviour through visually displayed energy information: A case study in university accommodation. **Energy and buildings**, v. 70, p. 507-515, 2014.

DARBY, Sarah. The effectiveness of feedback on energy consumption. **A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays**, Environment Change Institute, University of Oxford, 2006.

DARBY, Sarah. Smart metering: what potential for householder engagement?. **Building Research & Information**, v. 38, n. 5, p. 442-457, 2010.

EGAN, Christine. Graphical displays and comparative energy information: what do people understand and prefer. **Summer study of the European council for an energy efficient economy**, n. 2-12, 1999.

FARUQUI, Ahmad; SERGICI, Sanem; SHARIF, Ahmed. The impact of informational feedback on energy consumption – a survey of the experimental evidence. **Energy**, v. 35, n. 4, p. 1598-1608, 2010.

FELL, Michael J., CHIU, Lai F. Children, parents and home energy use: Exploring motivations and limits to energy demand reduction. **Energy Policy** v. 65, p. 351-358, 2014.

FISCHER, Corinna. Influencing electricity consumption via consumer feedback: a review of experience. **Proceedings of the European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE)**, p. 1873-1884, 2007.

FROEHLICH, Jon. Promoting energy efficient behaviors in the home through feedback: The role of human-computer interaction. In: **Proc. HCIC Workshop**. p. 1-11, 2009.

HARGREAVES, Tom; NYE, Michael; BURGESS, Jacquelin. Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. **Energy policy**, v. 38, n. 10, p. 6111-6119, 2010.

JAIN, Rishee K.; TAYLOR, John E.; PESCHIERA, Gabriel. Assessing eco-feedback interface usage and design to drive energy efficiency in buildings. **Energy and buildings**, v. 48, p. 8-17, 2012.

KARJALAINEN, Sami. Consumer preferences for feedback on household electricity consumption. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2, p. 458-467, 2011.

KRISHNAMURTI, Tamar; DAVIS, Alexander L.; WONG-PARODI, Gabrielle; WANG, Jack; CANFIELD, Casey. Creating an in-home display: experimental evidence and guidelines for design. **Applied Energy**, v. 108, p. 448-458, 2013.

UENO, Tsuyoshi; Sano, Fuminori; Saeki, Osamu; Tsuji, Kiichiro. Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data. **Applied Energy**, v. 83, n. 2, p. 166-183, 2006.

WILHITE, Harold; HOIVIK, Asbjorn; OLSEN, Johan-Gjemre. Advances in the use of consumption feedback information in energy billing: the experiences of a Norwegian energy utility. In: **Proceedings, European Council for an Energy-Efficient Economy**. 1999.

WOOD, George; NEWBOROUGH, Mack. Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 821-841, 2003.

WOOD, George; NEWBOROUGH, Mack. Energy-use information transfer for intelligent homes: Enabling energy conservation with central and local displays. **Energy and buildings**, v. 39, n. 4, p. 495-503, 2007.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL INSERIDAS NA CIDADE DE JOINVILLE E RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIAS DOS PARÂMETROS MÍNIMOS CONSTRUTIVOS[1]

CECHINEL, Rodrigo J. (1); HACKENBERG, Ana M. (2); TONDO, Gabriela H. (3)

(1) UDESC, e-mail: macrorodrigo@gmail.com; (2) UDESC, e-mail: amckeg@terra.com.br; (3) UDESC, e-mail: gabriela.tondo@gmail.com

RESUMO

A construção de edificações multifamiliares voltadas ao interesse social tem seguido os parâmetros mínimos estabelecidos pelos programas habitacionais brasileiros que desconsideram as zonas bioclimáticas locais. No caso de Joinville, a inobservância das recomendações previstas na NBR 15.220-3 para zona 5 resulta em habitações desconfortáveis internamente em dias de verão. Este artigo busca avaliar as condições atuais das horas anuais em desconforto térmico para o calor e frio nos condomínios multifamiliares A e B, que juntos possuem 784 unidades. Apresenta alternativas para melhoria do seu desempenho térmico, onde orienta e simula padrões que otimizam a circulação interna de ar por meio de ventilação natural e do sombreamento tipo brise em janelas. As simulações indicaram que a inclusão de brises para proteção contra radiação solar nas janelas em composição com a otimização da ventilação reduzem a temperatura dos ambientes da habitação e aumentam as horas anuais em conforto térmico. Há horas, porém, em que a temperatura interna extrapola o limite de 26°C, o que justifica a necessidade de ar condicionado.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Simulação. Habitação de interesse social. Joinville. PMCMV.

ABSTRACT

The construction of multi-family buildings aimed at social interest has followed the minimum standards established by the Brazilian housing programs that ignore local bioclimatic zones. In the case of Joinville, the failure to comply with the recommendations laid down in NBR 15220-3 for zone 5 results in uncomfortable housing internally in summer days. This article aims to assess the current conditions for annual hours of thermal discomfort for heat and cold in condominiums A and B, which together have 784 units. It presents alternatives for improving their thermal performance, which orients and simulates patterns that optimize the internal circulation of air through natural ventilation and shading in windows. The simulations indicated that the inclusion of brises for protection against solar radiation in composition by optimizing ventilation reduce the temperature of housing ambient and increase the annual hours of thermal comfort. There are times, however, when the internal temperature surpasses the 26 ° C limit, which justifies the need for air conditioning.

Keywords: *Thermal performance. Simulation. Social housing. Joinville. PMCMV*

[1] CECHINEL, Rodrigo J.; HACKENBERG, Ana M.; TONDO, Gabriela H. Desempenho térmico em habitações de interesse social inseridas na cidade de Joinville e recomendações para melhoria dos parâmetros mínimos construtivos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Joinville está localizada ao norte do estado de Santa Catarina, região sul do Brasil. Possui uma área de 1.126,106 km², considerada a cidade catarinense mais populosa, estimada em 562.151 pessoas (IBGE, 2016). Possui um clima que se caracteriza pelas altas temperaturas e umidade elevada no verão (GRUMBERG, 2014). As simulações apresentam que as inobservâncias destas características climáticas aliadas a parâmetros mínimos dos programas habitacionais inadequados geram edificações quentes em dias de verão. Este artigo apresenta dados obtidos em simulação onde a otimização da ventilação aliada à inclusão de brises nas janelas podem reduzir as horas em desconforto térmico e o consumo de eletricidade.

1.1 Consumo de energia elétrica no Brasil

Grumberg (2014) afirma que o aumento da demanda por energia elétrica no Brasil é impulsionado pela elevação do poder aquisitivo da população, que possibilita a aquisição de bens de consumo que proporcionam conforto, caso dos aparelhos de ar condicionado.

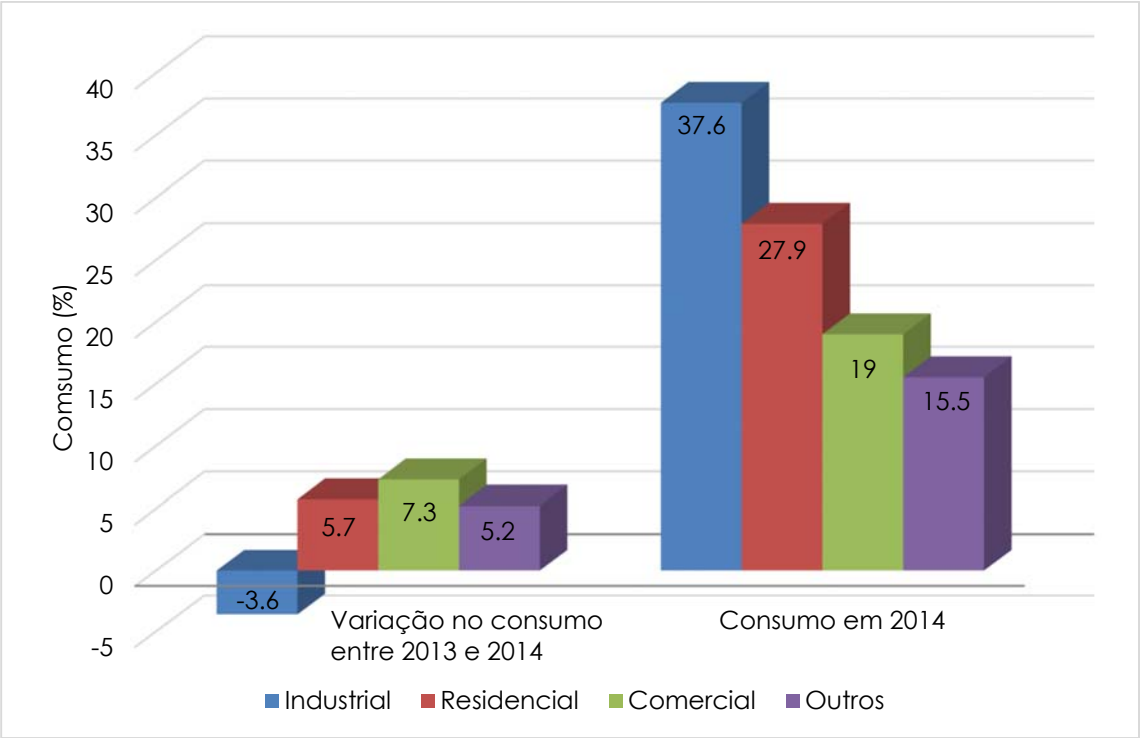
Eletrobrás (2014) apresenta um panorama do consumo e de geração de energia do Brasil, com uma matriz energética baseada em hidro energia. Observa-se que a redução de água e chuvas faz com que haja diminuição da produção de hidro energia com o consequente aumento da termo energia, conforme figura 1. Indica ainda os tipos e a intensidade do consumo de energia elétrica onde destaca-se o crescimento e a representatividade do consumo residencial quando comparado aos demais tipo de consumo, conforme figura 2.

Figura 1 – Geração de energia elétrica por tipo de fonte (GWh)



Fonte: Eletrobrás (2014)

Figura 2 – Consumo de energia elétrica no Brasil



Fonte: adaptado de Eletrobrás (2014)

1.2 Zoneamento bioclimático brasileiro

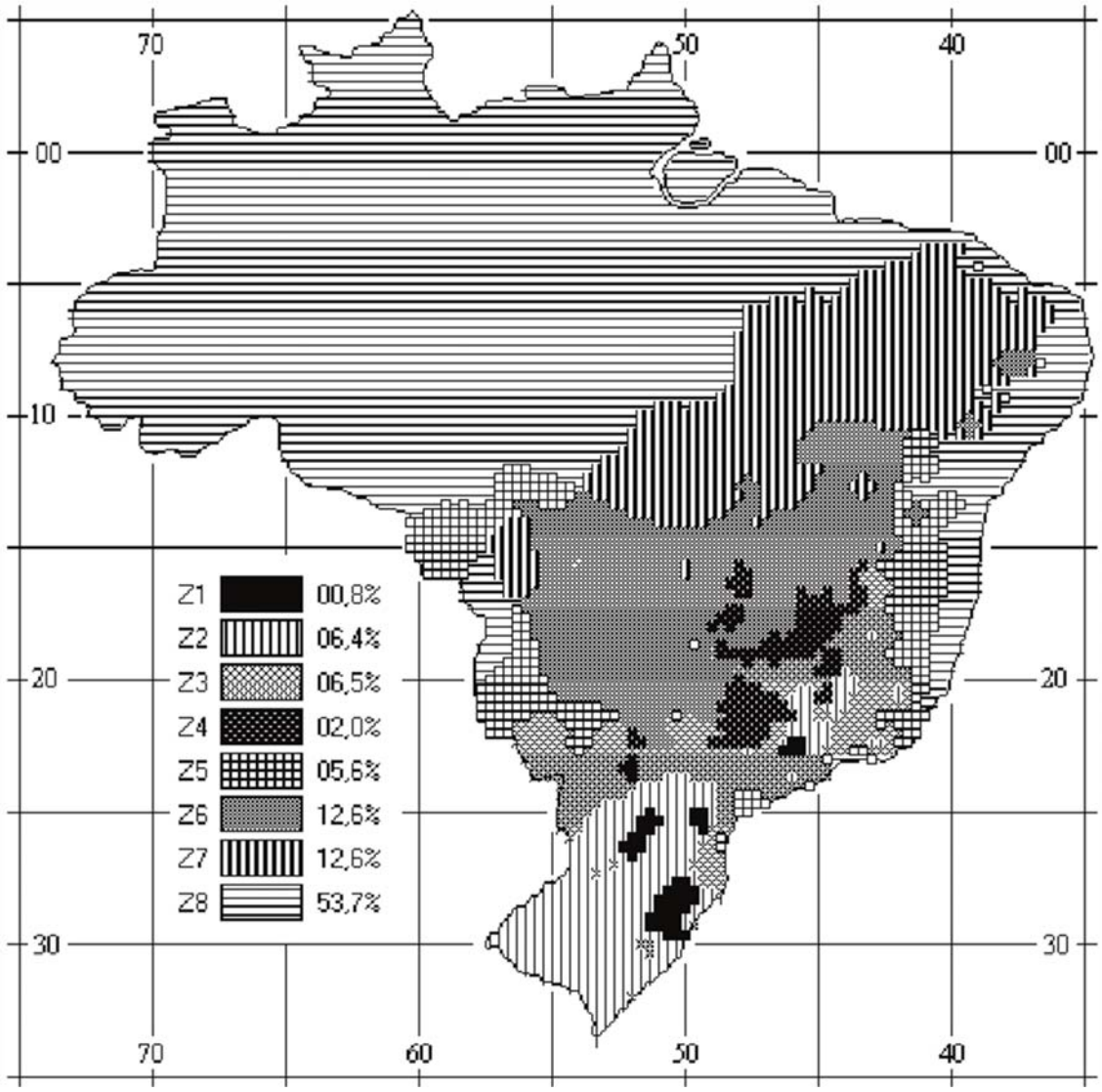
O zoneamento bioclimático deve ser observado ainda nas fases iniciais de projeto da edificação. Estratégias passivas bem dimensionadas que impactam positivamente na redução do consumo e obtenção da eficiência: ventilação, resfriamento evaporativo, inércia térmica, aquecimento solar passivo, ar condicionado, aquecimento artificial, iluminação natural e artificial. Edificações de pequeno porte (que é o caso de habitações de interesse social) possuem menor número de variáveis e, portanto, maior possibilidade de explorar alternativas para iluminação e condicionamento natural (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014).

A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b) apresenta algumas diretrizes para desempenho térmico em edificações no Brasil. O território está subdivido em 8 tipos de zonas bioclimáticas, conforme a figura 3. No caso de Joinville, inserido na zona 5, recomenda o sombreamento das aberturas e a otimização da ventilação.

1.3 Norma de desempenho

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) trata dos requisitos gerais de edificações habitacionais na busca do desempenho e indica as seguintes necessidades dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Para o desempenho térmico, identifica os requisitos da NBR 15.220-3 apresentando diretrizes construtivas para cada uma das zonas bioclimáticas.

Figura 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT (2005b)

1.4 Eficiência energética em habitações

Kelly (2011) mostra potencial para redução do consumo de energia elétrica em edificações com fins residenciais na Inglaterra e informa que o resultado positivo para eficiência depende das seguintes variáveis: a área das edificações, o clima local, o número de ocupantes e a sua renda familiar. Destaca que melhores resultados dependem também das seguintes covariáveis: mensurações da carga gerada pelos corpos humanos, padrões de uso e ocupação, informações demográficas e a cultura da região.

Pellegrino, Simonetti e Chiesa (2015) analisam edificações habitacionais típicas da cidade de Kolkata, na Índia e expõem que simples intervenções nas edificações, tais como revestimentos reflexivos, películas seletivas em

vidros e isolamento do telhado, aliado a um melhor entendimento e detalhamento do comportamento dos seus usuários, podem reduzir o desconforto térmico e evitar a dependência do ar condicionado. Destacam que há limitações no uso da ventilação natural, que depende de questões de segurança, como a proteção das aberturas das janelas com grades.

Fagundes (2014) apresenta o potencial para eficiência energética em edificações com fins habitacionais e que a inobservância por estas construções sobre os métodos estabelecidos pelo RTQ-R resulta na qualidade precária para conforto e eficiência destas edificações. Alterações simples no projeto e na escolha dos materiais da habitação podem gerar impacto significativo na economia de energia em sua operação.

Porto e Barbosa (2008) avaliam o desempenho térmico em três edificações de interesse social localizados na cidade de Londrina, comparando medições locais da temperatura à três métodos, NBR 15.220, PNBR 136 e horas de desconforto de Givoni. Indica que há irregularidade entre as metodologias e propõe mais estudos que busquem equiparar os resultados das metodologias com as medições locais obtidas.

Grunberg (2014) faz uma análise para edificações inseridas em Joinville e destaca as estratégias passivas indicadas pela NBR 15.220 para amenizar o desconforto causado pelo calor, mas informa que as mesmas podem prejudicar em dias de frio. Recomenda a ventilação natural (especialmente a noturna) e o sombreamento de aberturas para restaurar o conforto em dias quentes. Informa ainda que o tipo de cobertura influencia no desempenho térmico em maior magnitude que o aumento da inércia térmica das vedações verticais.

1.5 Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)

A lei 11.977 institui o PMCMV com o objetivo de estimular a produção de novas unidades habitacionais e de direcionar um financiamento facilitado para aquisição de imóveis existentes. Indica o Ministério das Cidades como administrador do programa e o banco Caixa Econômica Federal (CEF) como gestor dos recursos financeiros (BRASIL, 2009).

Brasil (2016) traz as especificações mínimas das edificações habitacionais. Por meio do quadro1 é possível observar os itens que influenciam no desempenho térmico em apartamentos.

Quadro 1 – Especificações mínimas do PMCMV que influenciam no desempenho térmico de apartamentos

Tipo	**Especificação mínima para apartamentos**
Ambientes no interior da unidade habitacional	Sala / Dormitório para casal / Dormitório para duas pessoas / Cozinha / Área de serviço / Banheiro
Área mínima	41,00 m²
Paredes	Bloco cerâmico ou de concreto com espessura mínima de 14cm, desconsiderando revestimentos. É aceitável solução com desempenho mínimo conforme NBR 15.575
	Nas zonas bioclimáticas de 3 a 8, pinturas externas com cores claras predominantes (absortância solar inferior à 0,4)
Pé direito	Mínimo de 2,50 m. Admite-se 2,30 m no banheiro
Cobertura de apartamentos	Conforme NBR 15.575, aplicada sobre laje, com telhado sobre estrutura de madeira ou metálica
	Beiral é opcional, pode haver platibanda. No caso de beiral, ou mínimo de 0,60 m ou 10 cm mais que a largura da calçada
	No uso de telhas cerâmicas esmaltadas, concreto ou fibrocimento, devem ser usadas cores claras
Revestimento externo	Concreto regularizado e plano, ou chapisco e massa única ou ainda emboço e reboco
Revestimento interno	Gesso, ou chapisco e massa única, ou emboço e reboco ou ainda concreto regularizado e plano. Desempenho conforme NBR 15.575
Janelas	Aberturas mínimas de 1,50 m² nos quartos e 2,00 m² na sala
	As esquadrias dos dormitórios devem permitir o escurecimento do ambiente com garantia da ventilação natural.
	As esquadrias de todos os ambientes devem possibilitar a abertura total da janela para a entrada da luz natural
	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8, a abertura externa da sala deverá prever uso de sombreamento (veneziana, varanda, brise, beiral, anteparo ou equivalente)
Portas	Portas de acesso e internas em madeira
	Para regiões litorâneas e meios agressivos, admite-se porta de acesso em aço ou alumínio, desde que não haja vidros em altura inferior à 1,10 m em relação ao piso
Pisos	Piso cerâmico assentado sobre contrapiso impermeável com espessura mínima de 3,00 cm
Ventilação cruzada	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8 é obrigatória a ventilação cruzada entre pelo menos duas fachadas diferentes, opostas ou adjacentes. Para as demais zonas é apenas recomendável
Ventilação noturna	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8 é obrigatória a ventilação noturna com segurança nos ambientes de longa permanência (dormitórios e sala). Os dispositivos devem ter possibilidade de fechamento em períodos frios
Ventilador de teto	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8 é obrigatória a instalação de ventilador de teto com selo Procel em ambiente de longa permanência (dormitórios e sala)

Fonte: adaptado de Brasil (2016)

2 METODOLOGIA

O programa EnergyPlus é utilizado para realizar as simulações, modelando-se uma unidade habitacional térrea para quatro ocupantes, com as cargas térmicas geradas pelos corpos, eletrodomésticos e iluminação. Foram inseridos os materiais de piso, paredes e teto e simulados três padrões:

- Sem ventilação e sem brises;
- Ventilação natural e ausência de brises;
- Ventilação natural e brises nas janelas.

O diagrama psicrométrico (GIVONI, 1992) estabelece o intervalo de 18 a 26°C para conforto térmico em climas quentes e úmidos, caso de Joinville. A ventilação natural está programada para ser ativada quando o ambiente externo possuir temperatura dentro da faixa de conforto, fazendo com que hajam trocas de ar mediante a abertura de portas e janelas, conforme tabela 1. Para temperaturas inferiores à 18 ou superiores à 26°C, a ventilação natural é encerrada, isolando o ambiente interno do externo.

Tabela 1 – Tipos e dimensões de aberturas

Abertura	Tipo	Dimensões (m)	Abertura para ventilação
Janelas em quartos	De correr	1.20x1.20	50%
Janela em cozinha	De correr	1.20x1.20	50%
Janela em sala	De correr	1.60x1.20	50%
Janela em banheiro	De correr	0.60x0.60	50%
Portas	De abrir	0.80x1.20	100%

Fonte: os autores

Nos resultados são comparadas as temperaturas internas obtidas nos três padrões simulados para os ambientes de maior permanência: cozinha, sala e quarto 1 e analisadas as horas anuais em conforto térmico e em desconforto (pelo calor e pelo frio).

2.1 Geometria da habitação

Os condomínios A e B são os maiores conjuntos habitacionais em Joinville, totalizando 784 unidades. Localizados na região sul da cidade, possuem 49 edifícios de 4 pavimentos com 4 apartamentos por andar, conforme figura 4.

Por meio de medições e observações de campo, é elaborada uma maquete eletrônica, conforme figura 5, de uma das unidades habitacionais. Neste arquivo são identificadas as zonas que farão parte das simulações.

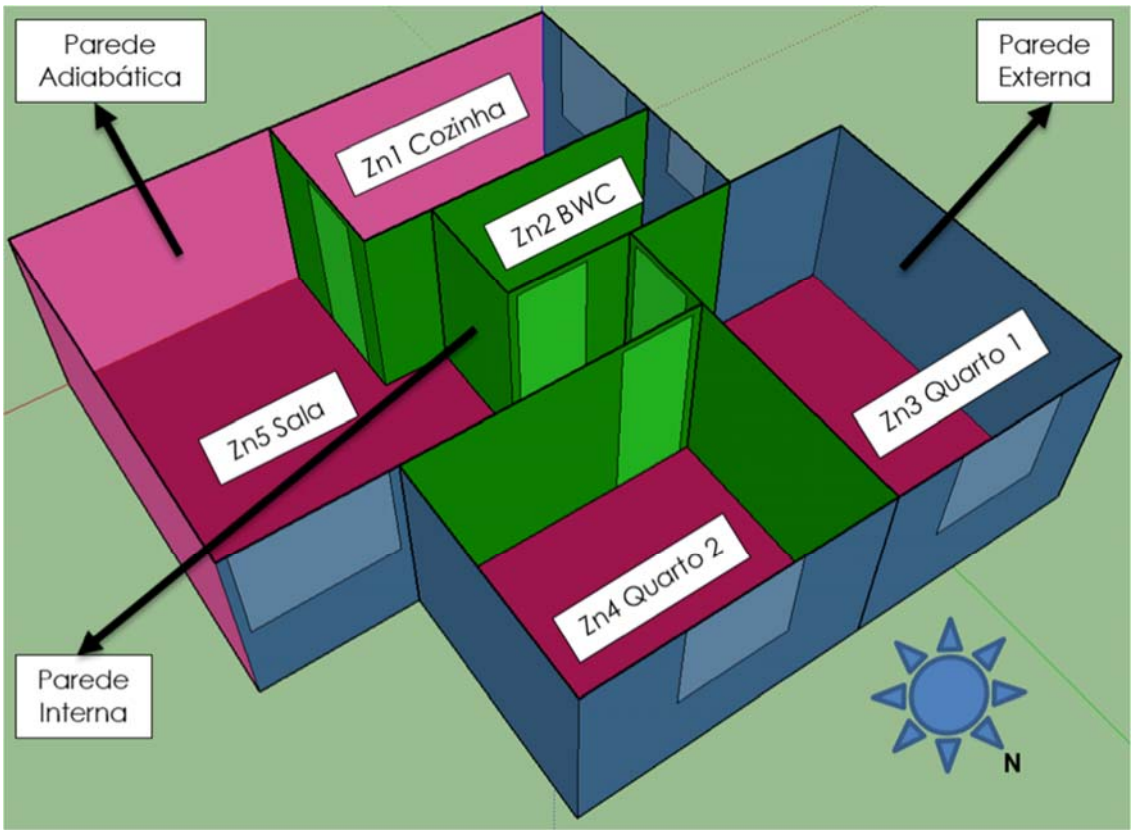
O dimensionamento dos brises horizontais atendem as condições de orientação norte e leste, latitude de 26°18'18'' e em janelas com 1,20 m de altura, projetando-se 1,20 m além da abertura, na maior largura possível e visam maximizar o efeito de sombra, conforme figura 6. Esta composição não faz parte dos critérios mínimos e é proposta nas simulações.

Figura 4 – Condomínios multifamiliares A e B



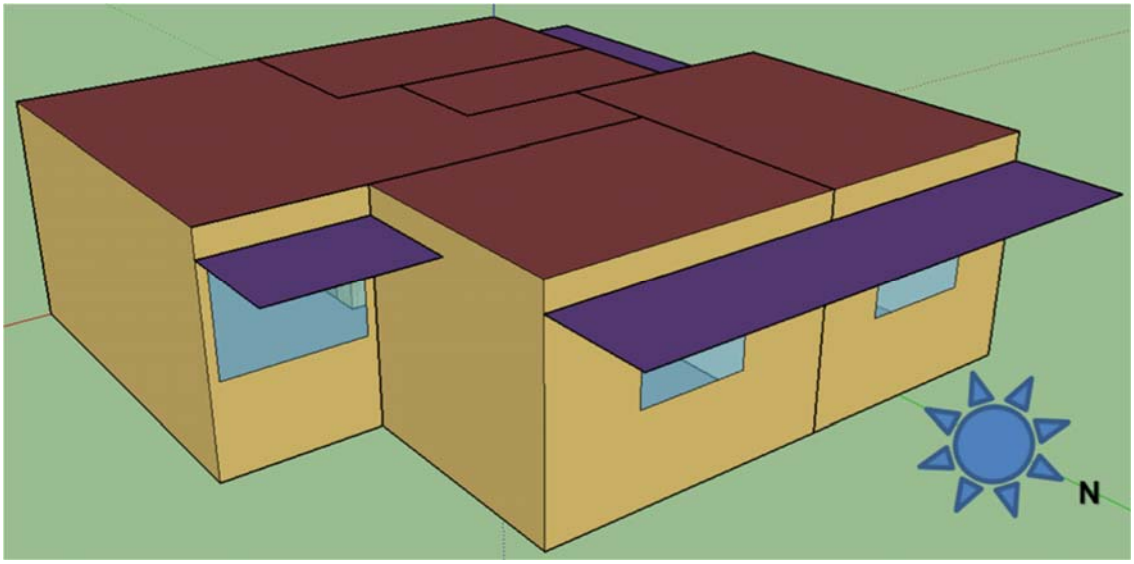
Fonte: os autores

Figura 5 – Paredes e zonas da unidade habitacional



Fonte: os autores

Figura 6 – Brises da unidade habitacional

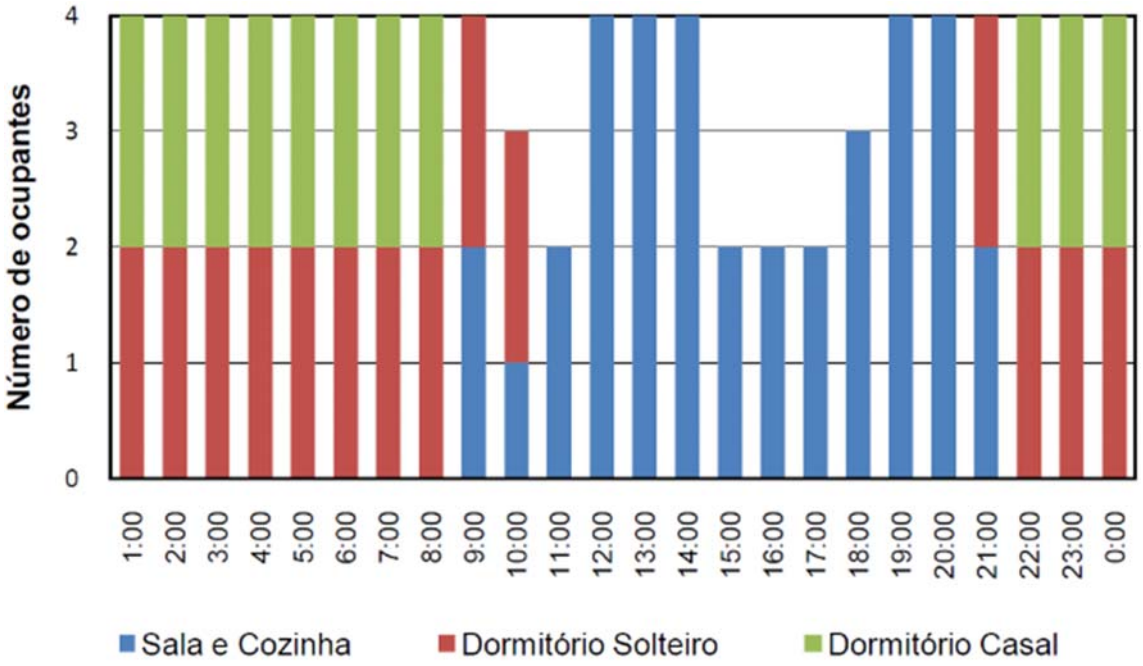


Fonte: os autores

2.2 Cronograma de uso da habitação

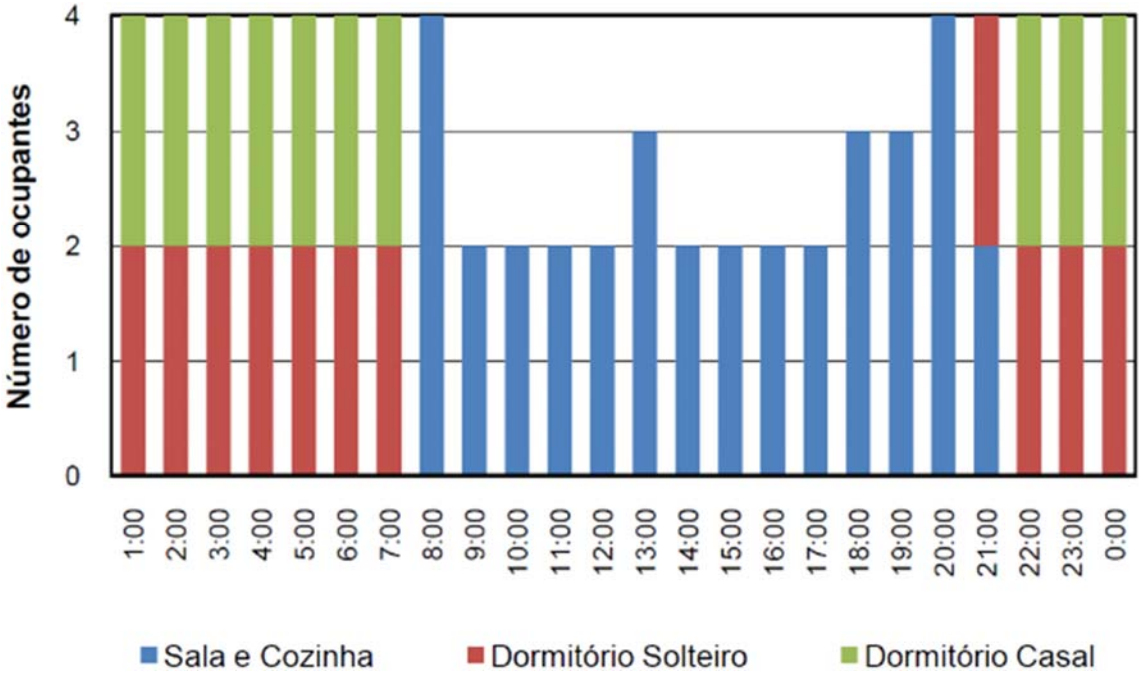
Os modelos de cronograma de ocupação de pessoas em dias e finais de semana estão definidos conforme figuras 7 e 8 respectivamente, iluminação em dias e finais de semana, conforme figuras 9 e 10. O uso de equipamentos segue conforme tabela 2 e as cargas geradas pelas pessoas quando em ocupação dos ambientes está conforme tabela 3.

Figura 7 – Cronograma de ocupação de pessoas em dias de semana



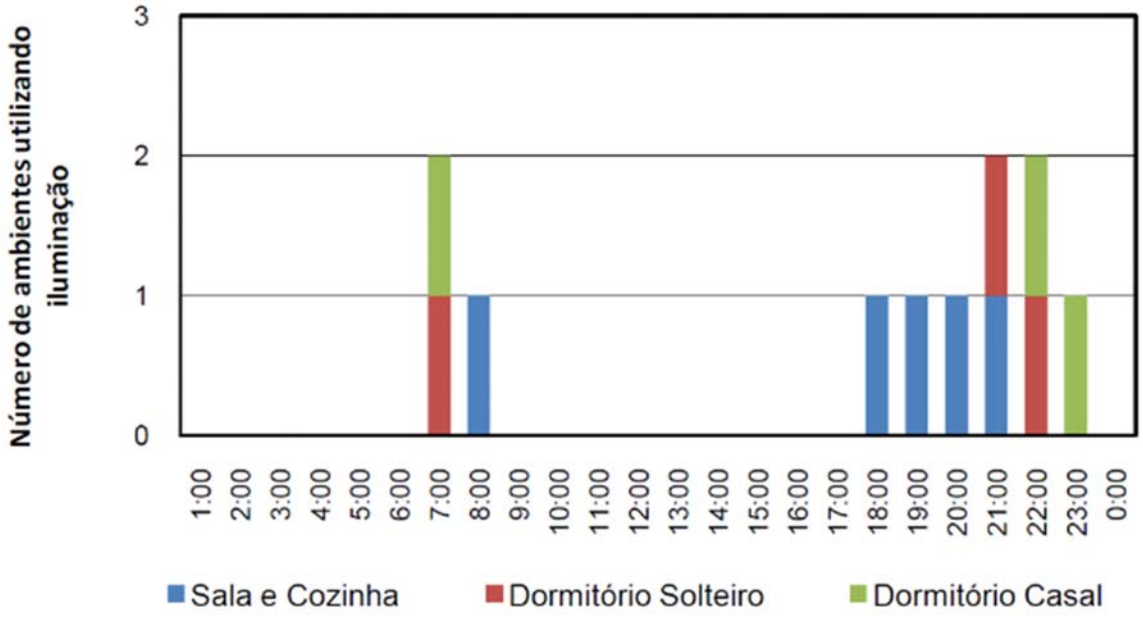
Fonte: Sorgato (2009)

Figura 8 – Cronograma de ocupação de pessoas em finais de semana



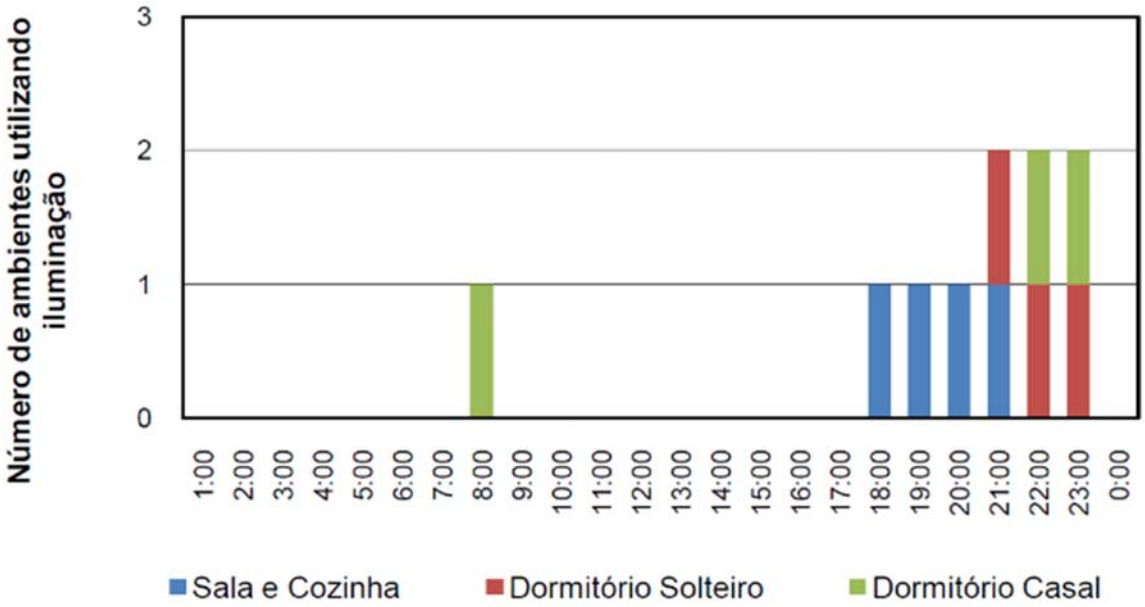
Fonte: Sorgato (2009)

Figura 9 – Cronograma de uso de iluminação em dias de semana



Fonte: Sorgato (2009)

Figura 10 – Cronograma de uso de iluminação em finais de semana



Fonte: Sorgato (2009)

Tabela 2 – Cargas de equipamentos nos ambientes

Zona	Período (horas)	Potência (Watts)
Cozinha	24	33,0
Sala	24	21,0

Fonte: adaptado de Sorgato (2009)

Tabela 3 – Cargas de pessoas nos ambientes

Zona	Período (horas)	Potência (Watts/pessoa)
Deitado ou reclinado (quartos 1 e 2)	Conforme figuras 7 e 8	82,8
Atividade sedentária em casa (sala e cozinha)	Conforme figuras 7 e 8	126,0

Fonte: adaptado de ISO 7730 (2005)

2.3 Construções e materiais

A habitação simulada possui as configurações da construída, conforme tabela 4. Os elementos construtivos elaborados com os materiais também são apresentados na tabela 5. O piso possui contato direto com o solo por se tratar de uma unidade térrea e é simulado no processo computacional do EnergyPlus. O teto possui contato com outra unidade habitacional, portanto simulado como superfície adiabática. O pé direito em todos os ambientes possui altura de 2.50 m. As paredes são em alvenaria de blocos de concreto e diferenciadas entre paredes externas, internas (que limitam ambientes) e adiabáticas (que limitam a unidade habitacional com outras unidades ou com a área comum).

Tabela 4 – Materiais da unidade habitacional

Campo	Unidade	Objeto 1	Objeto 2	Objeto 3	Objeto 4	Objeto 5	Objeto 6
Nome		Reboco 30mm	Alvenaria Concreto 25mm	Laje Concreto 200mm	Piso Cerâmico 10mm	Folha PVC 1mm	Madeira 30mm
Rugosidade		Rugoso	Rugoso	Rugoso	Rugoso	Suave	Suave Médio
Espessura	m	0.03	0.025	0.2	0.01	0.001	0.03
Condutividade térmica	W/m.K	1.15	1.75	1.75	0.9	0.2	0.29
Densidade específica	kg/m³	2000	2200	2200	1600	1200	800
Calor específico	J/kg.K	1000	1000	1000	920	1000	1340
Absortância térmica		0.7	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9
Absortância solar		0.3	0.7	0.7	0.3	0.2	0.7
Absortância visível		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Fonte: adaptado de ABNT (2005a)

Tabela 5 – Elementos construtivos da unidade habitacional

Campo	Objeto 1	Objeto 2	Objeto 3	Objeto 4	Objeto 5
Nome	Parede em Alvenaria Armada	Piso	Teto	Vidro das Janelas	Porta de Madeira
Camada Externa	Reboco 30mm	Laje Concreto 200mm	Laje Concreto 200mm	Vidro 3mm	Madeira 30mm
Camada 2	Alvenaria Concreto 25mm	Piso Cerâmico 10mm	Folha PVC 1mm		
Camada 3	Camada de Ar de 76mm em Parede		Camada de Ar de 6mm em Forro		
Camada 4	Alvenaria Concreto 25mm		Folha PVC 1mm		
Camada 5	Reboco 30mm				

Fonte: os autores

2.4 Arquivo climático

Em virtude do município de Joinville ainda não possuir arquivo climático tipo EPW para uso no EnergyPlus, é utilizado o da cidade de Itapoá-SC (LABEEE, 2015), que possui proximidade e latitude semelhante conforme preconizado na norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

3 RESULTADOS

Os gráficos dos resultados com simulações da habitação, para cada um dos ambientes, representam a influência de cada alternativa na temperatura interna ao longo do ano para a cozinha, quarto 1 e sala, conforme figuras 11, 13 e 15 respectivamente. São indicadas as quantidades de horas anuais em desconforto pelo calor e pelo frio com percentual comparativo ao anual (8760 horas), nas tabelas 6, 7 e 8. Gráficos radar comparam os resultados obtidos para cada uma das alternativas, conforme figuras 12, 14 e 16. Ao se simular a ventilação natural interna é possível observar expressiva redução da temperatura nos ambientes, mesmo com ocorrência de cargas e ocupação.

3.1 Aumento das horas anuais em conforto térmico

As figuras 11, 13 e 15 mostram que o ambiente externo apresenta sensação de conforto térmico em 61,40% do tempo, mas desconforto de 30,87% no frio e 7,73% no calor. As tabelas 6, 7 e 8 mostram valores de 91,64%, 95,55% e 93,44% (cozinha, quarto 1 e sala respectivamente) como sendo os melhores resultados para horas anuais em conforto térmico nestes ambientes. É possível afirmar que a edificação com brise e ventilação aumenta o bem-estar das pessoas no seu interior, mas que em parte do tempo é indicado o uso de condicionamento de ar no combate aos excessos de calor. A ausência de sombreamento e ventilação (causada pela inexistência de sombreamento em aberturas e pela impossibilidade de abertura das janelas no pavimento térreo pela ausência de grades e de segurança) proporciona conforto em apenas 30,74%, 70,88% e 44,00% das horas anuais na cozinha, quarto 1 e sala respectivamente. Este resultado mostra que há menos horas anuais em conforto térmico nos ambientes da cozinha e da sala simuladas do que no próprio ambiente externo.

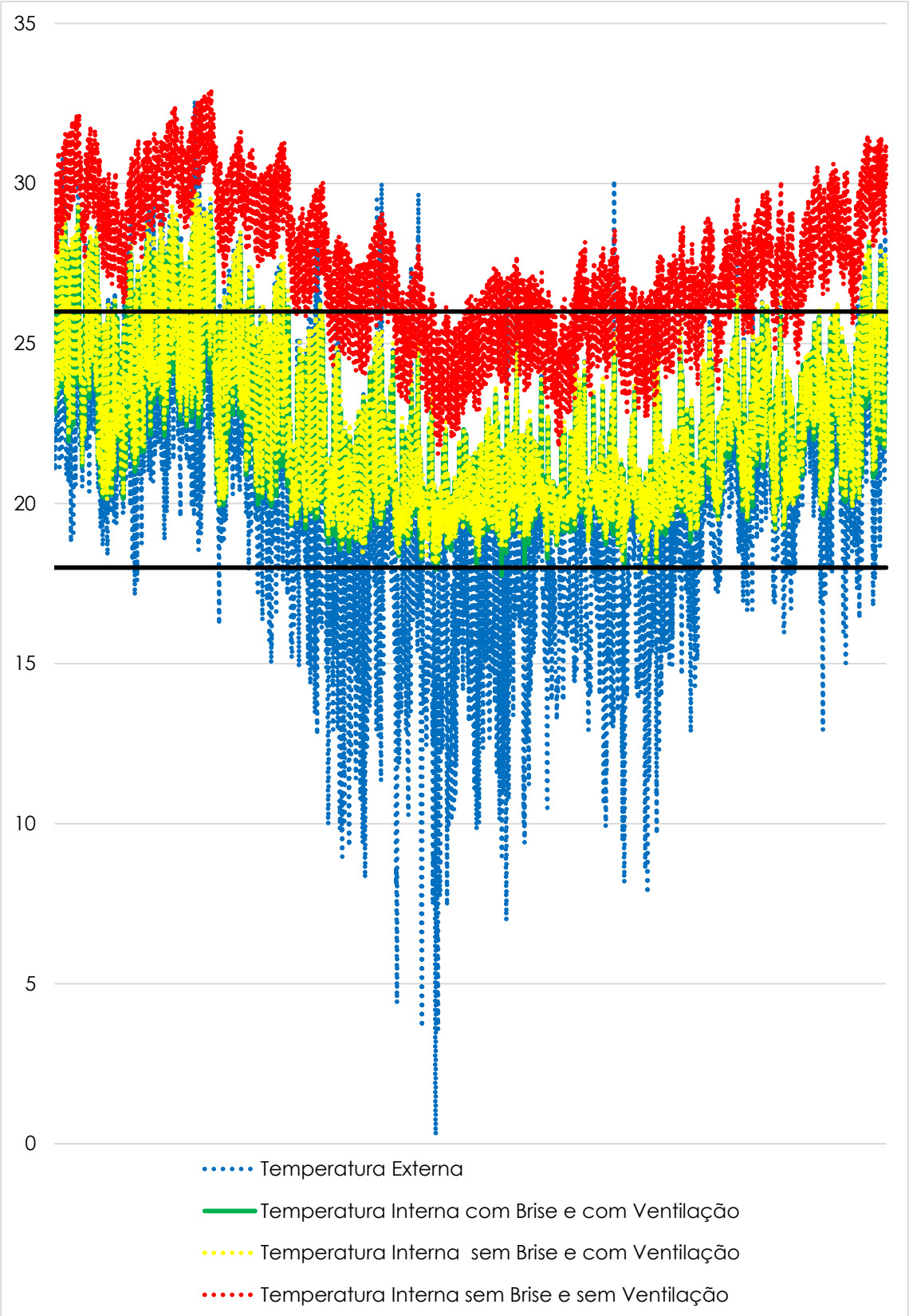
3.2 Aumento das horas em desconforto térmico para o calor

A tabela 6 indica que na cozinha há 8,32% de horas em desconforto pelo calor quando do uso de ventilação e brises. A ausência dos mesmos faz com que o ambiente tenha 69,26% de horas anuais no calor. Isto se deve à clausura do meio mediante a ausência de ventilação, ao ganho térmico através da insolação que entra pelas vedações e das cargas oriundas de equipamentos, iluminação e ocupação de pessoas.

3.3 Aumento das horas em desconforto térmico para o frio

As tabelas 6 e 7 indicam que há horas anuais em desconforto causadas pelo frio na cozinha (0,03%) e no quarto 1 (1,38%) quando é simulado o uso de brises com ventilação, porém são valores pouco expressivo. Esta condição pode ser explicada pela atuação dos brises e da ventilação em dias frios, onde os mesmos reduzem a insolação e aumentam as trocas de ar, porém esses são benéficos ao se analisar o ano como um todo.

Figura 11 – Variação anual da temperatura na cozinha



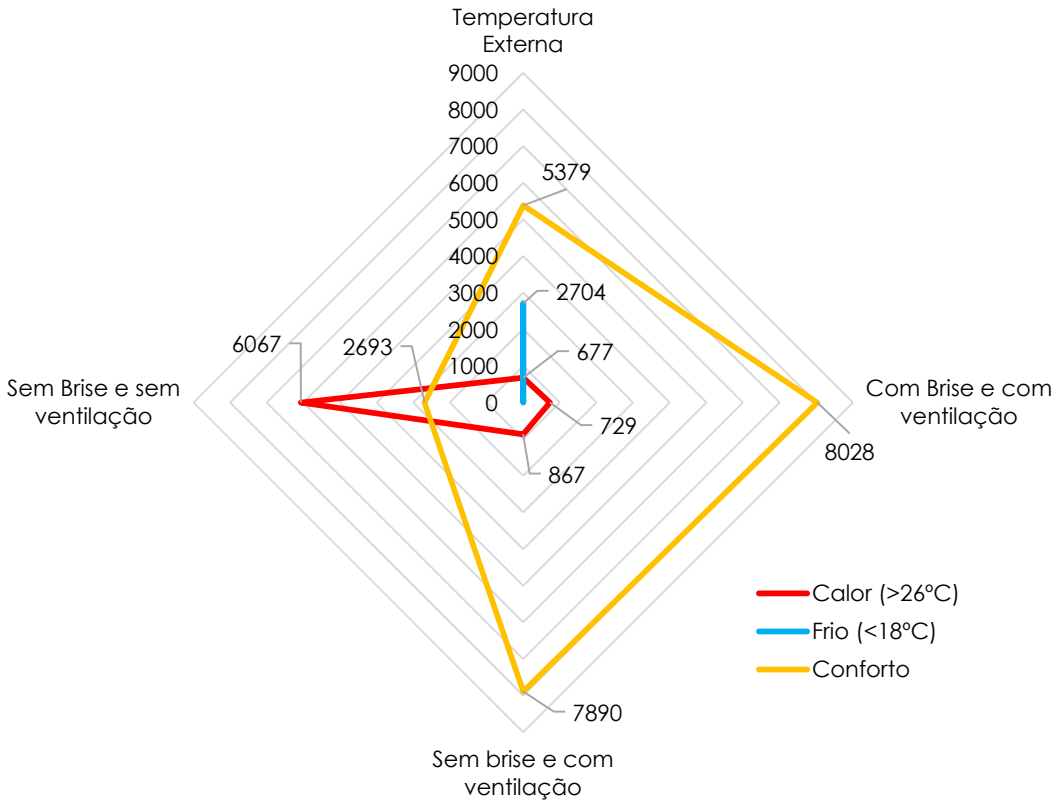
Fonte: os autores

Tabela 6 – Análise comparativa para conforto na cozinha

Análise comparativa	**Horas em Calor (>26ºC)**	**Horas em Frio (<18ºC)**	**Horas em Conforto**
Temperatura Externa	677 (7.73%)	2704 (30.87%)	5379 (61.40%)
Com Brise e com ventilação	729 (8.32%)	3 (0.03%)	8028 (91.64%)
Sem brise e com ventilação	867 (9.90%)	3 (0.03%)	7890 (90.07%)
Sem Brise e sem ventilação	6067 (69.26%)	0 (0%)	2693 (30.74%)

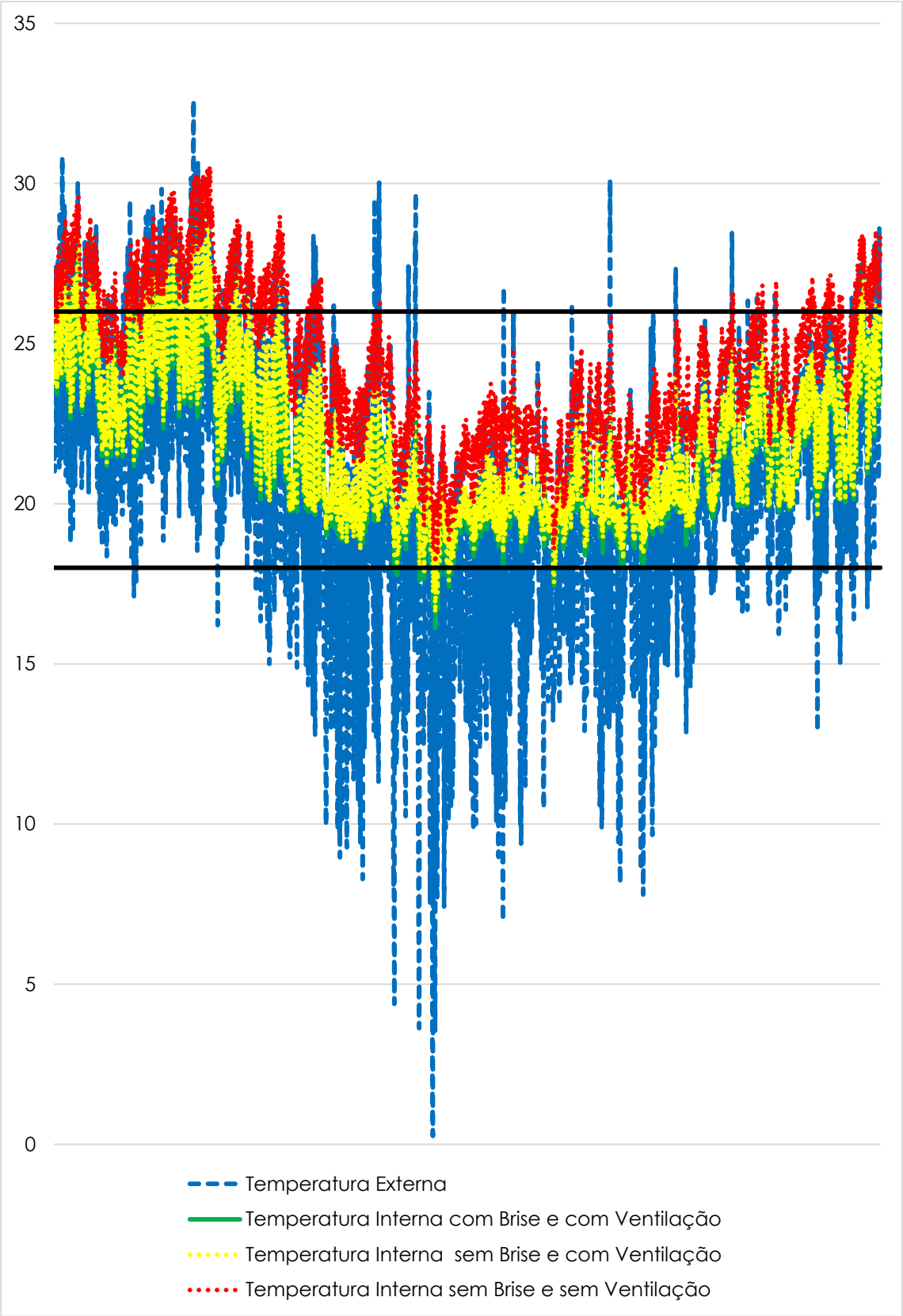
Fonte: os autores

Figura 12 – Comparativo de horas em desconforto térmico na cozinha



Fonte: os autores

Figura 13 – Variação anual da temperatura no quarto 1



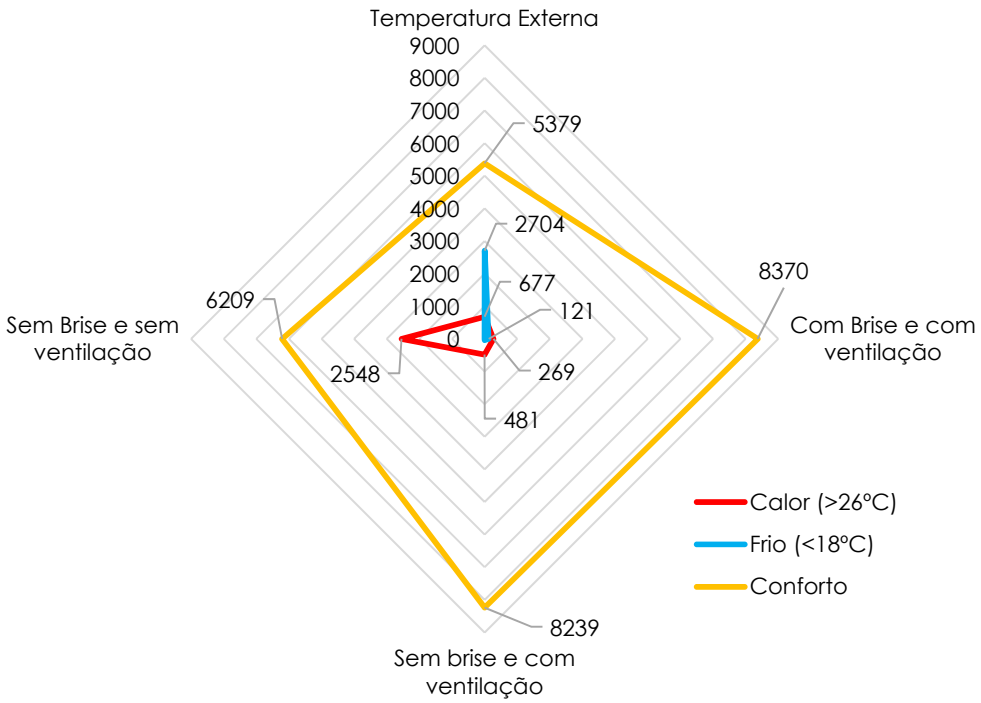
Fonte: os autores

Tabela 7 – Análise comparativa para conforto no quarto 1

Análise comparativa	Horas em Calor (>26ºC)	Horas em Frio (<18ºC)	Horas em Conforto
Temperatura Externa	677 (7.73%)	2704 (30.87%)	5379 (61.40%)
Com Brise e com ventilação	269 (3.07%)	121 (1.38%)	8370 (95.55%)
Sem brise e com ventilação	481 (5.49%)	40 (0.46%)	8239 (94.05%)
Sem Brise e sem ventilação	2548 (29.09%)	3 (0.03%)	6209 (70.88%)

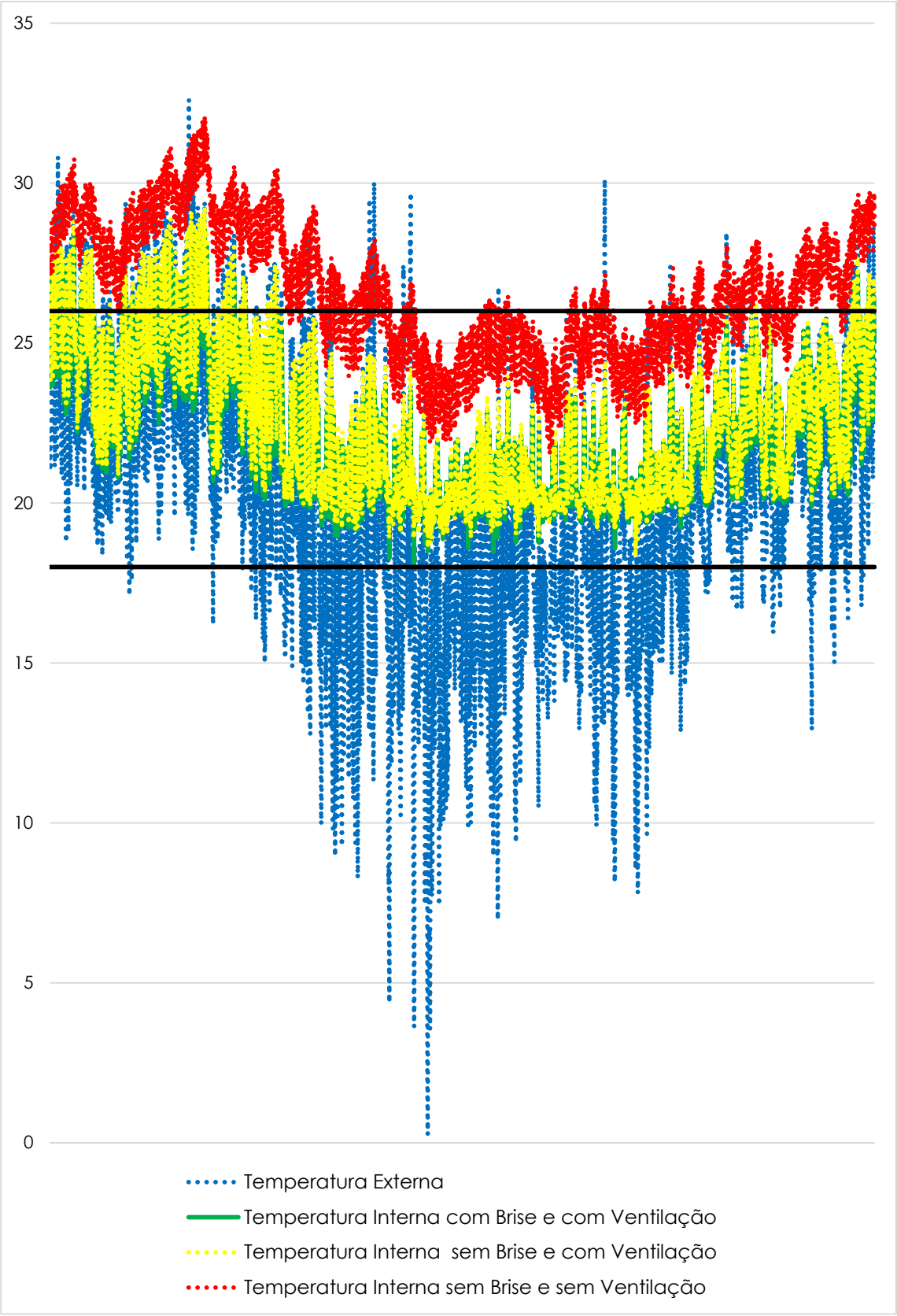
Fonte: os autores

Figura 14 – Comparativo de horas em desconforto térmico no quarto 1



Fonte: os autores

Figura 15 – Variação anual da temperatura na sala



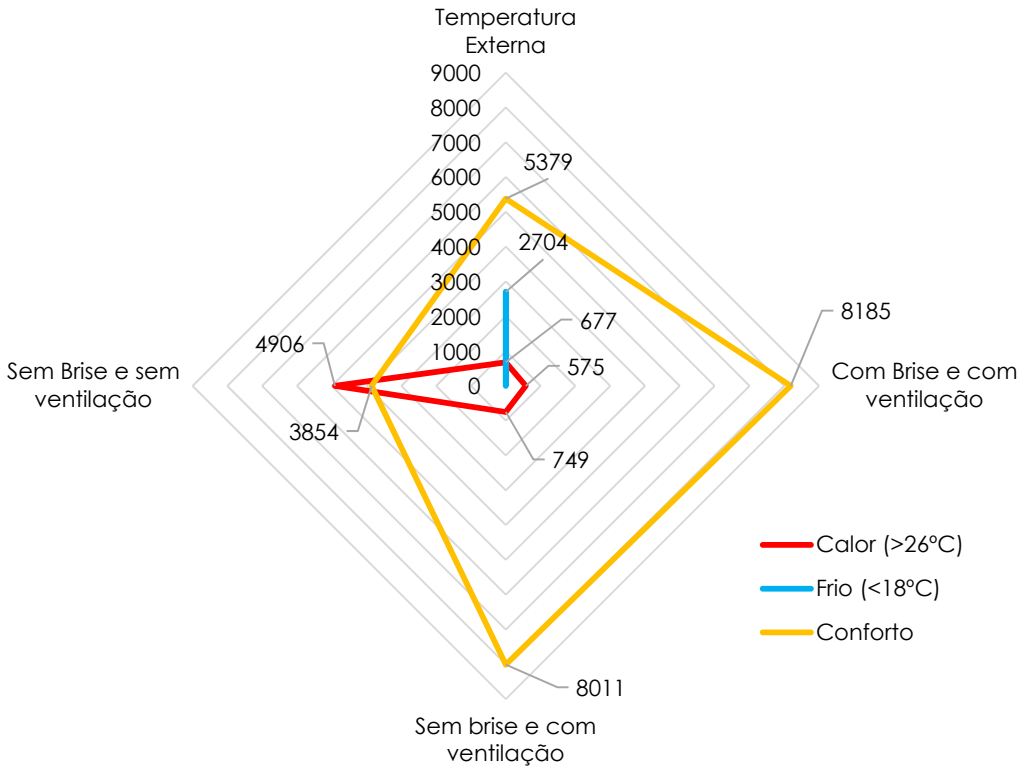
Fonte: os autores

Tabela 8 – Análise comparativa para conforto na sala

Análise comparativa	Horas em Calor (>26ºC)	Horas em Frio (<18ºC)	Horas em Conforto
Temperatura Externa	677 (7.73%)	2704 (30.87%)	5379 (61.40%)
Com Brise e com ventilação	575 (6.56%)	0 (0%)	8185 (93.44%)
Sem brise e com ventilação	749 (8.55%)	0 (0%)	8011 (91.45%)
Sem Brise e sem ventilação	4906 (56.00%)	0 (0%)	3854 (44.00%)

Fonte: os autores

Figura 16 – Comparativo de horas em desconforto térmico na sala



Fonte: os autores

4 CONCLUSÕES

Conclui-se por meio das simulações que a inclusão de brises para proteção contra radiação solar nas janelas em composição com a otimização da circulação interna do ar através da ventilação natural reduzem a temperatura dos ambientes da habitação e aumentam as horas anuais em conforto térmico, mantendo os ambientes melhor inseridos na faixa de conforto proposto pela carta psicrométrica. O potencial para uso de ventilação natural passiva em habitações de interesse social inseridas em Joinville é grande e recomendável.

A instalação de brises nas janelas é um dispositivo que é possível ser construído mesmo após a edificação ter sido implantada. Grades nas janelas dos pavimentos térreos para segurança também são desejáveis e

necessárias, uma vez que permitem a ventilação mantendo a segurança do imóvel. Em todos os modelos simulados há momentos em que a temperatura interna extrapola o limite de 26ºC, justificando-se a necessidade de ar condicionado artificial, mas o tempo de utilização deste pode ser otimizado substancialmente, reduzindo assim o consumo de energia, o impacto sobre a diminuição da renda dos moradores e a dependência de eletricidade em momentos de pico.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)**. NBR 15.220-2**: Desempenho térmico de edificações - Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15.220-3**: Desempenho térmico de edificações - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15.575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. **Lei Federal n.º 11.977, de 7 de julho de 2009**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Brasília, 2009.

BRASIL. **Ministério das Cidades: Programa Minha Casa, Minha Vida**. Disponível em: <https://www.cidades.gov.br/habitacao-cidades/programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv>. Acesso em: 9 jun. 2016.

ELETROBRÁS, 2014. **Relatório Anual e de Sustentabilidade 2014.** Disponível em: <http://www.eletrobras.com/ELB/services/eletrobras/ContentManagementPlus/FileDownload.ThrSvc.asp?DocumentID={A3FFCE79-0E6E-4C0C-939F-43D6B9C57676}&ServiceInstUID={3BF87DE9-F0D0-4EE0-8896-9F4EC9192EA7}&InterfaceInstUID={43E75488-3553-4625-B63E-95C057D46090}&InterfaceUID={72215A93-CAA7-4232-A6A1-2550B7CBEE2F}&ChannelUID={9EC79EDE-DF9D-43C3-AEF0-F7BB688145F7}&PageUID={79AE3C27-C7C8-4ED5-8746-AAC07B2C483E}>. Acesso em: 2 abr. 2016.

FAGUNDES, R., 2014. **Aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética de edificações multifamiliares de interesse social para as zonas bioclimáticas brasileiras.** Dissertação de Mestrado. UFSM, Santa Maria.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GRUNBERG, Paula R. M., 2014. **Avaliação das estratégias bioclimáticas de projeto para clima quente e úmido através de simulação**, estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC. Dissertação de Mestrado. UFPR, Curitiba.

INSTITUTUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades, Santa Catarina, Joinville**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=4209102>. Acesso em: 2 jun. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteriaGeneva, 2005.

KELLY, S. Do Homes that Are More Energy Efficient Consume Less Energy? A structural equations model f the English residential sector. **Energy**, v. 36, n. 9, p. 5610-5620. 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE), **Arquivos climáticos em formato EPW.** Florianópolis, UFSC, 2015. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>. Acesso em: 2 jun. 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 3ª Edição 2014.

PELLEGRINO, Margot. SIMONETTI, Marco, CHIESA, Giacomo. 2015. Reducing thermal discomfort and energy consumption of Indian residential buildings: Model validation by in-field measurements and simulation of low-cost interventions. **Energy and Buildings,** 2016, p. 145–158.

PORTO, Leandra; BARBOSA, Míriam. Avaliação do desempenho térmico de edificações de interesse social a partir de dados de Campo. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 12, 2008, Fortaleza, CE.

SORGATO, J., 2009. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE MELHORIAS CLIMÁTICAS EM SALAS DE AULAS: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS TÉCNICOS E A PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS[1]

CHAVES, Victor Leandro (1); ALBANO, Leônidas (2); ABREU-HARBICH, Loyde (3); BRANDSTETTER, Maria Carolina (4)

(1) UFG, e-mail: victorleandro2@hotmail.com; (2) PUC-GO, e-mail: la@leonidasalbano.com; (3) UFG, e-mail: loydeabreu@gmail.com; (4) UFG, e-mail: maria.carolina@uol.com.br

RESUMO

Este estudo avalia o conforto térmico e a eficiência energética através de medições "in loco" e a percepção dos usuários na Escola de Engenharia Civil e Ambiental da UFG. A metodologia consiste em: a) análise do projeto arquitetônico; b) levantamento de dados climáticos de verão, temperatura do ar e umidade relativa, dentro da sala de aula e a opinião dos usuários em três diferentes situações - com janelas e portas abertas e climatizador evaporativo ligado, janelas e portas abertas e ventilação natural, e janelas e portas fechadas e com ar condicionado ligado -; c) tratamento dos dados climáticos; d) comparação dos resultados coletados e a percepção dos usuários. Foram entrevistados 200 usuários. Cerca de 83,3% dos entrevistados estavam insatisfeitos na situação com ventilação natural, 68,5% na situação com climatizador evaporativo ligado e 70,2% na situação com ar condicionado ligado. Apesar dos resultados apontarem que a situação utilizando climatizadores é a mais confortável, o número de usuários que se sente desconfortável é muito alto em todas as situações, não atendendo os níveis recomendados pela ISO 7730 (1994).

Palavras-chave: Conforto térmico (clima tropical). Edifícios escolares. Percepção do usuário.

ABSTRACT

This study evaluates the thermal comfort and energy efficiency through field measurements and the users' perception in the School of Civil and Environmental Engineering at UFG. Methodology consists: a) analysis of architectural design; b) data collected, relative air humidity and temperature in the classroom and interviews about users' opinions in three different situations - using evaporative cooler with windows and doors opened, natural ventilation with windows and doors opened and air conditioner with windows and doors closed -; c) treatment of climatic data; d) comparison between collected data and users' perception. 200 users were interviewed. About 83,3% of respondents were dissatisfied in the situation with natural ventilation, 68,5% in the situation on evaporative cooler and 70,2% in the situation using air conditioning. Although the results suggest that the situation using evaporative cooler is more comfortable than others, the number of users who feel

[1]CHAVES, Victor Leandro; ALBANO, Leônidas; ABREU-HARBICH, Loyde; BRANDSTETTER, Maria Carolina. Análise de conforto térmico para diferentes estratégias de melhorias climáticas em salas de aulas: comparação entre dados técnicos e a percepção dos usuários. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

uncomfortable is very high in all situations, not comply the recommendation by ISO 7730 (1994).

***Keywords**: Thermal Comfort (tropical Climate). School Buildings. Users' perception.*

1 INTRODUÇÃO

O clima tropical de altitude possui uma estação quente durante quase todo o ano. Esse clima é predominante em grande parte do país e gera um desconforto térmico das edificações brasileiras devido ao calor. As mudanças climáticas ocorridas em diversas cidades brasileiras com clima tropical de altitude tem tornando-as cada vez mais quentes (Abreu et al. 2014), fazendo com que o usuário utilize cada vez mais sistemas de refrigeração para manter os ambientes internos confortáveis, principalmente os de uso institucionais como as escolas.

Diversas pesquisas têm sido realizadas em edifícios escolares, avaliando as condições climáticas internas das salas de aula (SOUZA; FONTANELLA, 2011; DEAR *at all*, 2014; TELI *at all*, 2012; VECCHI, 2013). Os estudos agregam abordagens objetivas, através da coleta de dados climáticos, índices de avaliação e simulações, com as subjetivas, que envolvem as opiniões dos usuários, obtidas a partir de questionários ou entrevistas.

Ochoa (2012) faz uma avaliação do conforto ambiental (térmico, acústico e lumínico) em duas edificações da Universidade Federal de Goiás (UFG), obtendo grandes discrepâncias de resultado ao comparar os dados técnicos (coletados *in loco* e calculados conforme as normativas) com a percepção dos usuários. Quanto à questão térmica, em mais de 90% do tempo as salas poderiam ser consideradas confortáveis do ponto de vista técnico, tendo como zona de conforto o intervalo entre 18°C e 29°C. Em contrapartida, o máximo de pessoas satisfeitas dentro da sala foi 60%.

O conforto térmico interno das edificações pode ser garantido através de medidas passivas, como a ventilação cruzada, a proteção contra a radiação direta e a ventilação noturna. Essas medidas englobam as características dos edifícios (orientação espacial, formato, disposição das salas e das aberturas, materiais utilizados na envoltória, cor das paredes externas, tipo de cobertura, utilização de brises) e as características do clima (temperatura externa diurna e noturna, umidade relativa, ventos dominantes, dentre outros).

Atualmente, no entanto, nas instituições públicas de ensino superior, tanto em edifícios antigos quanto os atuais, têm-se buscado a adoção de sistemas de condicionamento mecânico para o arrefecimento dos ambientes, elevando os custos com energia em até 50%.

O impacto gerado nas contas de energia, devido à utilização de aparelhos de ar condicionado, vem comprometendo as verbas dessas instituições, obrigando-as a buscar alternativas para minimizar ou substituir o uso desses equipamentos. Por exemplo, um dos equipamentos de ar condicionado consome cerca de 2,4kwh, enquanto o climatizador, cerca de 0,38kwh. Supondo que os equipamentos ficam ligados durante 8 horas por dia

durante o período de aulas (20 dias), o consumo de um ar condicionado será 384kwh/mês e do climatizador de 60,8kwh/mês, ou seja, o ar condicionado consome 631,6% a mais que o climatizador.

Tendo em vista o contexto apresentado, este artigo objetiva analisar o conforto térmico e a percepção térmica dos usuários em três sistemas de ventilação (climatizador, ar condicionado e ventilação natural) a partir de medições "in loco" e entrevistas. O estudo de caso escolhido foi uma sala de aula, do edifício Bloco B da Escola de Engenharia, pertencente ao parque edificado da Universidade Federal de Goiás.

2 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada na pesquisa, contemplando as características do local, da amostra e dos dados climáticos coletados.

2.1 Clima de Goiânia

Goiânia (16° 40' S; 49° 15' O; 749m) situa-se na região centro-oeste do Brasil, sendo a capital mais próxima da capital federal Brasília (cerca de 200Km). É a segunda capital mais populosa do centro-oeste, superada por Brasília. Na década de 60, a cidade sofreu um acelerado crescimento populacional, e hoje possui cerca de 1 milhão e quatrocentos mil habitantes (IBGE) e uma densidade habitacional igual a 1 782,5 habitantes/km². O clima da cidade é classificado como tropical de altitude com período predominantemente seco (AW, KOTTEK et al. 2006). A temperatura média do ar é 23,59° C para os últimos 10 anos, sendo que a maior temperatura registrada foi 40.1° C, em outubro de 2015. O índice pluviométrico é de 1570mm por ano, sendo que as chuvas se concentram nos meses de outubro a abril. De acordo com Ochoa (2012), a cidade de Goiânia apresenta um regime pluviométrico bem definido, configurando uma estação seca (maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a janeiro). Os meses de fevereiro, março e abril possuem uma intensidade razoável de chuvas, caracterizando uma transição entre os períodos. Os índices de umidade relativa variam de 52%, em agosto (mês mais seco do ano), e 82%, no período de dezembro a março.

2.2 Área de Estudo

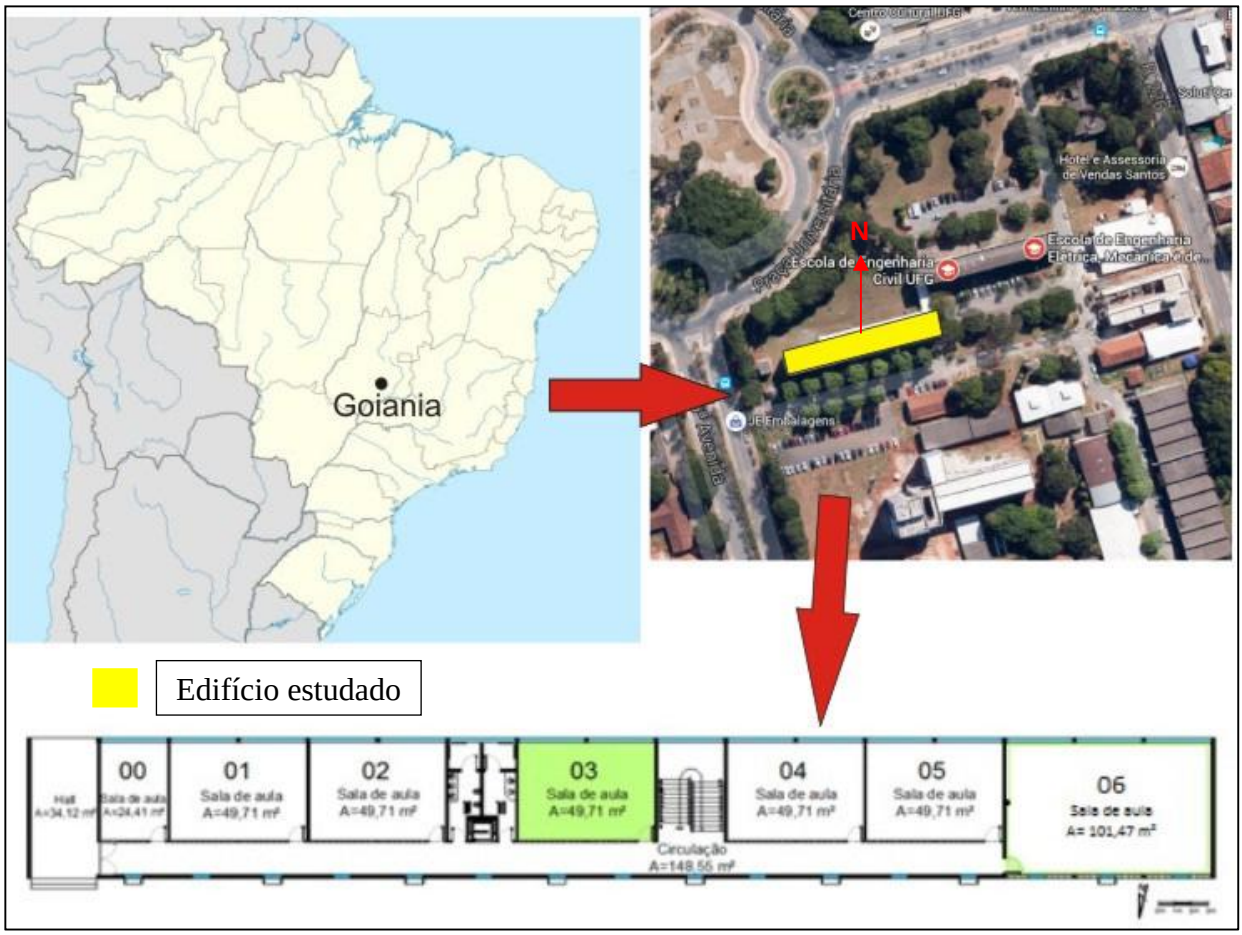
O edifício Bloco B, situado na latitude 16°40' S e longitude 40°14' O (Figura 1), possui uma volumetria prismática de base retangular, com as maiores fachadas inclinadas 13° em relação ao norte geográfico. A edificação é constituída por dois andares principais, que reúnem treze salas de aula, destinadas aos alunos de graduação e pós-graduação dos cursos de engenharia civil, elétrica, mecânica, ambiental e sanitarista, e da computação. Todas as salas possuem janelas voltadas somente para a fachada Sul, com exceção de duas delas, que dispõem de aberturas nas fachadas Norte e Sul.

A estrutura do edifício é em concreto armado, com paredes em bloco cerâmico furado, argamassadas e pintadas em cor branca (externamente) e em branca e tom pastel (internamente). As paredes externas possuem uma espessura de 25cm e as internas de 15cm.

O objeto de estudo desta pesquisa é a Sala 3, instalada no pavimento térreo. A escolha se deu a partir das suas características físicas, como a presença de aberturas somente em uma fachada (Sul), o que permite um melhor controle das variáveis climáticas externas a serem medidas e analisadas. Como observado na Figura 1, as salas 1 a 5 são idênticas do ponto de vista estrutural e arquitetônico, com dimensões de 6,15m x 8,15m, e pé-direito de 3,88m. A Sala 3 (Figura 2), entretanto, apresenta como vantagem, em relação às demais, seu maior isolamento no que tange às influências térmicas externas, uma vez que está situada entre um banheiro e a escada, que não apresentam produção de calor significativa, aproximando o modelo real do experimento com o modelo ideal (sistema adiabático) previsto nos métodos de avaliação normativos.

As salas foram projetadas para o favorecimento da ventilação natural interna através do efeito chaminé, uma vez que possuem janelas internas, com abertura para o duto de ventilação, sobre o corredor, que se abre para a fachada norte, possibilitando a saída do ar quente ascendente. Nas salas da extremidade oeste, com dimensões de 8,25m x 12,25m, e pé direito de 3,88m, ocorre a ventilação cruzada completa, devido à presença de aberturas nas fachadas Norte e Sul.

Figura 1 – Localização do objeto de estudo



Fonte: Os autores

Figura 2 – Interior da Sala 3: a) sem o climatizador e b) com o climatizador



Fonte: Os autores

2.3 Coleta de dados in Loco

A pesquisa foi desenvolvida na Sala 3, situada no edifício Bloco B da Escola de Engenharia, da Universidade Federal de Goiás, no período de 16/02/2016 a 26/02/2016, envolvendo a coleta de dados climáticos internos (temperatura e umidade relativa), para três sistemas de ventilação distintos e a aplicação de questionários aos alunos e professores. As situações estudadas foram: ventilação natural, com janelas e portas abertas;

climatizador evaporativo, com janelas e portas abertas; e ar condicionado, com janelas e portas fechadas.

Durante o experimento, não houve nenhuma interferência sobre o andamento das aulas ministradas, ocorrendo tudo conforme previsto na grade de horários da instituição. A única limitação imposta foi o sistema de ventilação a ser adotado em cada dia.

As medições de temperatura e umidade relativa dentro da sala de aula foram obtidas através de um aparelho termo-higrômetro, com *data logger*, da marca Novus, modelo LogBox-RHT-LCD, instalado embaixo da mesa do professor, há uma altura de 0,70m do chão (Figura 3). Os dados foram coletados no período de 16/02/2016 a 26/02/2016, ininterruptamente, com intervalo entre as aquisições de dez minutos. A Tabela 1 apresenta o detalhamento de todas as situações analisadas na pesquisa.

Figura 3 – Data logger utilizado nas medições



Fonte: Ochoa (2012)

Tabela 1 – Detalhamento das situações avaliadas

SITUAÇÃO	HVAC	CLIMATIZADOR	JANELAS	PORTA	DIA 1	DIA 2	DIA 3
1	DESLIGADO	DESLIGADO	ABERTAS	ABERTA	16/FEV	18/FEV	19/FEV
2	DESLIGADO	LIGADO	ABERTAS	ABERTA	17/FEV	23/FEV	25/FEV
3	LIGADO	DESLIGADO	FECHADAS	FECHADA	22/FEV	24/FEV	26/FEV

Fonte: Os autores

As condições climáticas externas foram obtidas através da estação meteorológica, instalada próxima à fachada Norte da edificação, com dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação.

2.4 Perfil do Usuário

Os usuários participantes da pesquisa são professores e alunos de graduação dos cursos de engenharia civil e ambiental.

A taxa de metabolismo média adotada foi de 70 W/m², conforme disposto em Ruas (1999), para a atividade típica de sala de aula. Os valores de isolamento da vestimenta (*clo*) foram estimados com base nas respostas assinaladas nos questionários, referentes às roupas utilizadas por cada

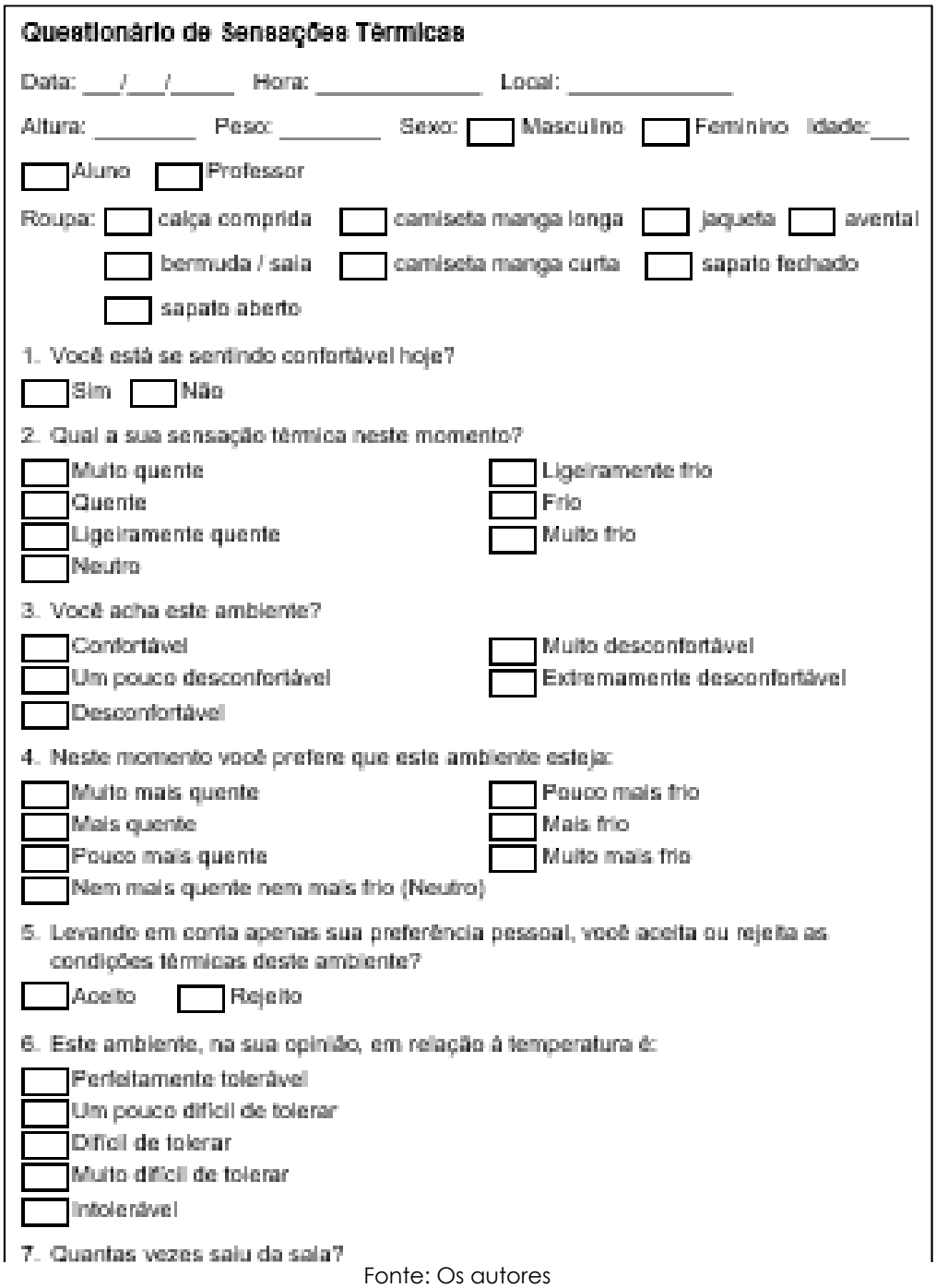
usuário naquele momento, obtendo um valor médio de 0,44 *clo* (camiseta manga curta, calça comprida e sapato fechado).

Em paralelo às medições das variáveis climáticas, foram aplicados questionários (Figura 4) aos alunos e professores, usuários da Sala 3, obtendo uma amostra total de 200 questionários, sendo 54 para a Situação 1, 89 para a Situação 2 e 57 para a Situação 3. Os mesmos foram aplicados em aulas alternadas, escolhidas conforme o número de alunos presentes e o período do dia (matutino e vespertino). A aplicação ocorreu no início das aulas (após um período de 15 minutos de aclimatação) ou ao final, conforme autorização do professor.

O questionário teve como foco o conforto, a aceitabilidade e a preferência térmica dos ocupantes. De maneira complementar, foram incluídos dados antropométricos (idade, peso, altura e gênero) e das vestimentas dos entrevistados. A Tabela 2 apresenta o perfil dos usuários entrevistados, indicando as médias de idade, peso e altura, o número de pessoas do sexo masculino e feminino e a quantidade de professores e alunos. Para a determinação da idade média foram descartados os dados referentes aos professores, uma vez que a amostra era pouco representativa.

As informações adquiridas permitiram uma análise qualitativa das condições térmicas internas da sala de aula para cada sistema de ventilação estipulado, tendo como base a escala sétima de Fanger (1970), com intervalo entre -3 (muito frio) e +3 (muito calor).

Figura 4 – Modelo do questionário aplicado



Questionário de Sensações Térmicas

Data: ___/___/_____ Hora: _____ Local: _____

Altura: _____ Peso: _____ Sexo: ☐ Masculino ☐ Feminino Idade: ___

☐ Aluno ☐ Professor

Roupa: ☐ calça comprida ☐ camiseta manga longa ☐ jaqueta ☐ avental
☐ bermuda / saia ☐ camiseta manga curta ☐ sapato fechado
☐ sapato aberto

1. Você está se sentindo confortável hoje?

☐ Sim ☐ Não

2. Qual a sua sensação térmica neste momento?

☐ Muito quente
☐ Quente
☐ Ligeiramente quente
☐ Neutro
☐ Ligeiramente frio
☐ Frio
☐ Muito frio

3. Você acha este ambiente?

☐ Confortável
☐ Um pouco desconfortável
☐ Desconfortável
☐ Muito desconfortável
☐ Extremamente desconfortável

4. Neste momento você prefere que este ambiente esteja:

☐ Muito mais quente
☐ Mais quente
☐ Pouco mais quente
☐ Nem mais quente nem mais frio (Neutro)
☐ Pouco mais frio
☐ Mais frio
☐ Muito mais frio

5. Levando em conta apenas sua preferência pessoal, você aceita ou rejeita as condições térmicas deste ambiente?

☐ Aceito ☐ Rejeito

6. Este ambiente, na sua opinião, em relação à temperatura é:

☐ Perfeitamente tolerável
☐ Um pouco difícil de tolerar
☐ Difícil de tolerar
☐ Muito difícil de tolerar
☐ Intolerável

7. Quantas vezes saiu da sala?

Fonte: Os autores

Tabela 2 – Perfil dos usuários

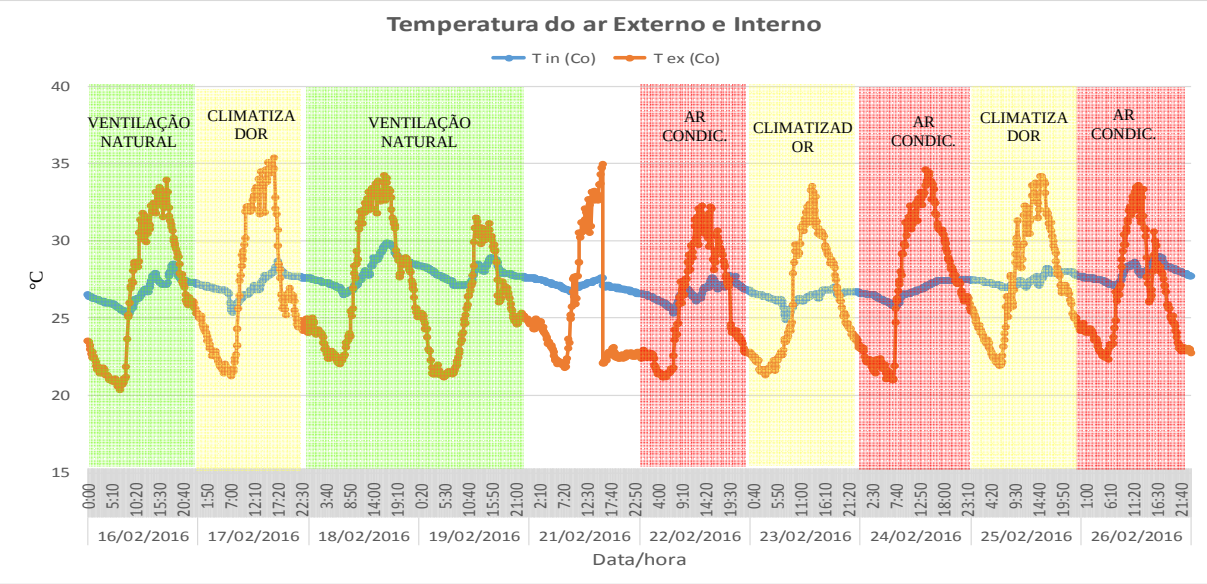
GÊNERO	HOMEM: 149 MULHER: 51
USUÁRIO	PROFESSOR: 8 ALUNO: 192
IDADE:	22 ANOS
PESO:	72.6KG
ALTURA:	1.75M

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS

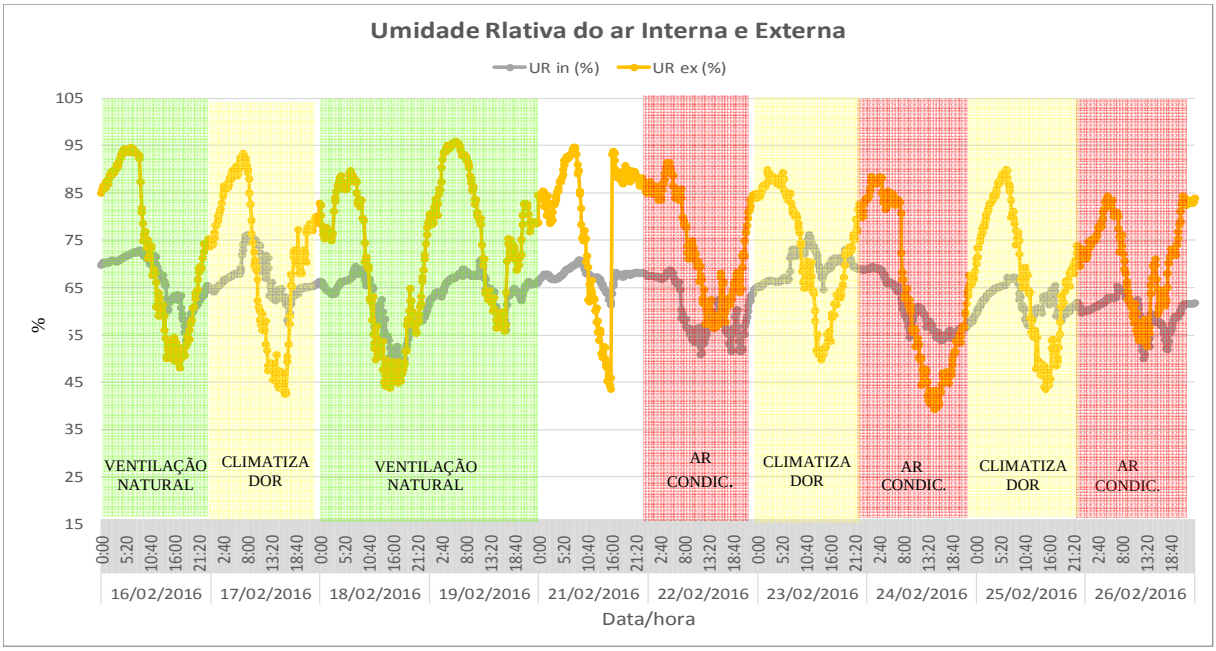
A Figura 5 e a Figura 6 apresentam os resultados da temperatura e umidade relativa do ar, nos ambientes externo e interno. As médias obtidas no período estudado foram de 27.01° C (interno) e 25.9° C (externo) para a temperatura do ar, e de 63% (interno) e 73% (externo) para a umidade relativa do ar.

Figura 5 – Temperatura do ar interno e externo para o período de 16 a 26 de fevereiro de 2016



Fonte: Os autores

Figura 6 – Umidade Relativa do ar interno e externo para o período de 16 a 26 de fevereiro de 2016



Fonte: Os autores

O período analisado apresenta altas temperaturas. As elevadas taxas de umidade relativa no ambiente externo se devem às constantes chuvas ocorridas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Para comparar os resultados das temperaturas do ar e umidade relativa do ar obtidas internas e externas, foram calculadas as médias, máximas e mínimas (Tabela 3). Foram considerados os seguintes períodos: dia, período de aula (das 8h até as 18h), período matutino (8h até as 12h) e vespertino (12h até as 18h).

Na situação ar condicionado, a média da temperatura do ar interno foi 27,14 ºC, média da temperatura do ar externo de 26,52 ºC, umidade relativa do ar interno de 60,14% e umidade relativa do ar externo de 69,49%. Na situação climatizador, a média da temperatura do ar interno foi 27,02 ºC, média da temperatura do ar externo de 26,81 ºC, umidade relativa do ar interno de 60,23% e umidade relativa do ar externo de 71,17%. Na situação ventilação natural, a média da temperatura do ar interno foi 27,53 ºC, média da temperatura do ar externo de 26,57 ºC, umidade relativa do ar interno de 64,13% e umidade relativa do ar externo de 72,89%. Observou-se também que a temperatura mais baixa registrada no interior da sala foi de 24,9 ºC, que é acima do limite recomendado pela norma ISO 7730 (1994).

Durante o dia, a diferença entre ar interno e externo é de 2,87 ºC para o ar condicionado, 3,58 ºC para o climatizador e 1,93 ºC para a ventilação natural. Ou seja, o climatizador teve um desempenho térmico melhor do que o ar condicionado. No entanto, estes resultados sugerem que o sistema de ar condicionado necessita de manutenção.

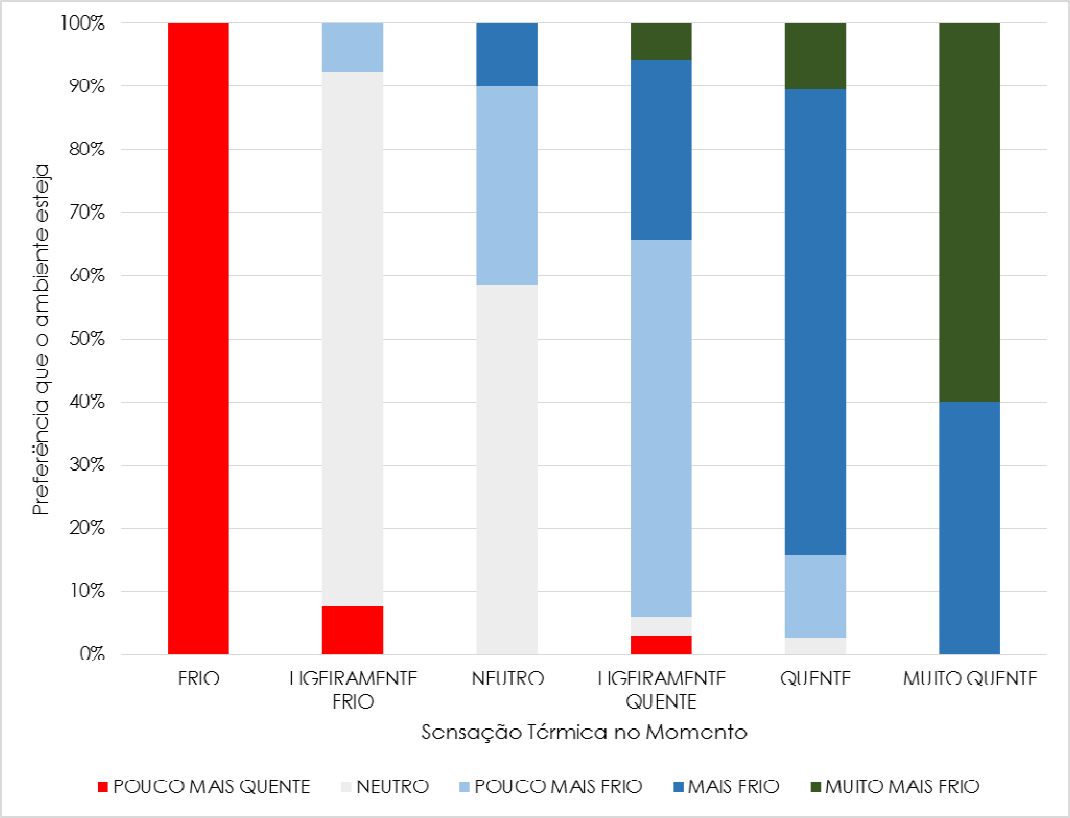
Tabela 3 – Médias, mínimas e máximas dos dados climáticos coletados

Situação	Temperatura do ar Interna (°C)			Temperatura do ar Externa (°C)			Umidade Relativa Interna (%)			Umidade Relativa Externa (%)		
	Min	*Max*	*Media*	*Min*	*Max*	*Media*	*Min*	*Max*	*Media*	*Min*	*Max*	*Media*
Ar Condicionado (dia)	**25.30**	**29.00**	**27.14**	**21.01**	**34.57**	**26.52**	**50.00**	**69.40**	**60.14**	**39.20**	**91.30**	**69.49**
Ar Condicionado (período)	**25.80**	**29.00**	**27.31**	**23.95**	**34.57**	**30.19**	**50.00**	**64.50**	**57.36**	**39.20**	**78.10**	**58.64**
Manhã	25.80	28.60	27.03	23.95	33.44	29.41	50.80	64.50	58.65	44.30	78.10	63.39
Tarde	26.10	29.00	27.51	26.06	34.57	30.72	50.00	62.30	56.46	39.20	70.90	55.35
Climatizador (dia)	**24.90**	**28.70**	**27.02**	**21.27**	**35.34**	**26.81**	**57.00**	**76.20**	**66.23**	**42.40**	**93.30**	**71.17**
Climatizador (período)	**24.90**	**28.70**	**26.98**	**22.39**	**35.34**	**30.57**	**57.00**	**76.20**	**66.90**	**42.40**	**89.80**	**59.54**
Manhã	24.90	27.40	26.49	22.39	32.92	28.65	57.00	76.20	69.68	55.60	89.80	70.16
Tarde	26.30	28.70	27.32	26.52	35.34	31.89	57.30	73.60	64.97	42.40	71.50	52.16
Ventilação Natural(dia)	**25.30**	**29.90**	**27.53**	**20.39**	**34.26**	**26.57**	**48.40**	**72.90**	**64.13**	**43.80**	**95.80**	**72.89**
Ventilação Natural (período)	**25.30**	**29.90**	**27.64**	**21.06**	**34.26**	**29.56**	**49.20**	**72.90**	**63.41**	**43.80**	**93.00**	**63.85**
Manhã	25.30	28.90	27.31	21.06	33.91	28.72	56.00	72.90	65.66	48.00	93.00	67.72
Tarde	27.80	29.90	28.94	31.77	34.26	33.01	49.20	62.50	54.22	43.80	56.90	48.08

Fonte: Os autores

A Figura 7 apresenta a preferência do usuário quanto ao ambiente para cada sensação térmica. Observa-se que aproximadamente 60% das pessoas que consideram o ambiente neutro, não desejam a alteração das condições climáticas internas. Os demais (cerca de 40%) preferem que a sala esteja um pouco mais fria ou mais fria, mesmo o ambiente estando neutro. Em contrapartida, para a sensação de ligeiramente frio, quase 80% dos alunos não desejam nenhuma alteração das condições internas.

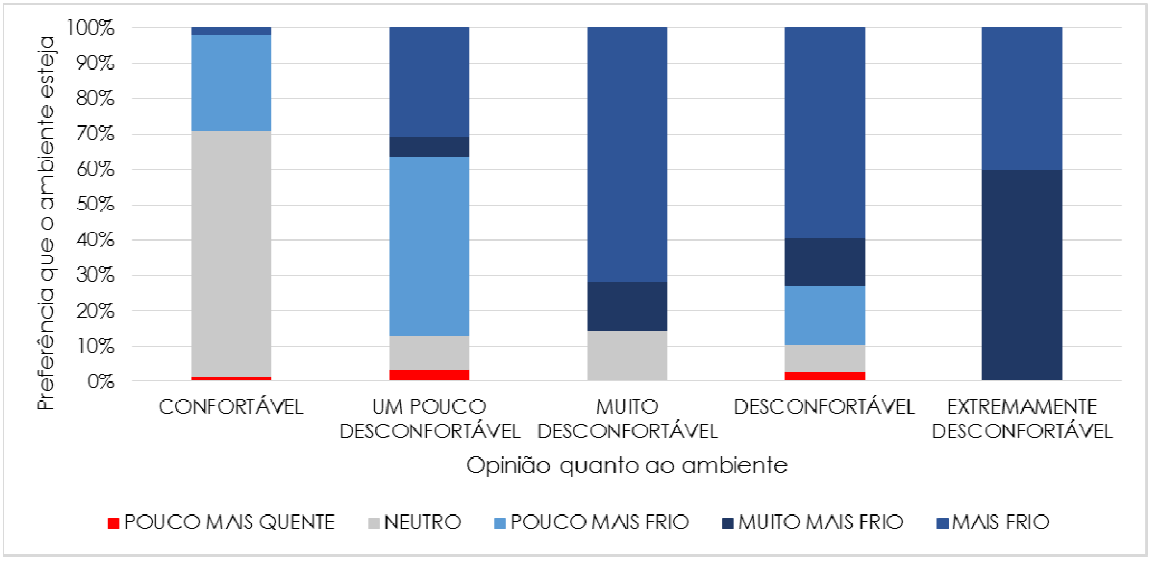
Figura 7 – Preferências térmicas dos usuários quanto ao ambiente



Fonte: Os autores

A Figura 8 compara a opinião do usuário quanto ao ambiente com a sua preferência em relação à condição térmica. Observa-se que mesmo assinalando que acham o ambiente confortável, quase 30% das pessoas desejam um ambiente um pouco mais frio e frio, indicando que os mesmos não estão efetivamente em estado de conforto. O gráfico mostra ainda que a sensação de desconforto dos usuários é provocada praticamente em sua totalidade devido ao calor, uma vez que as preferências são sempre direcionadas para ambientes mais frios.

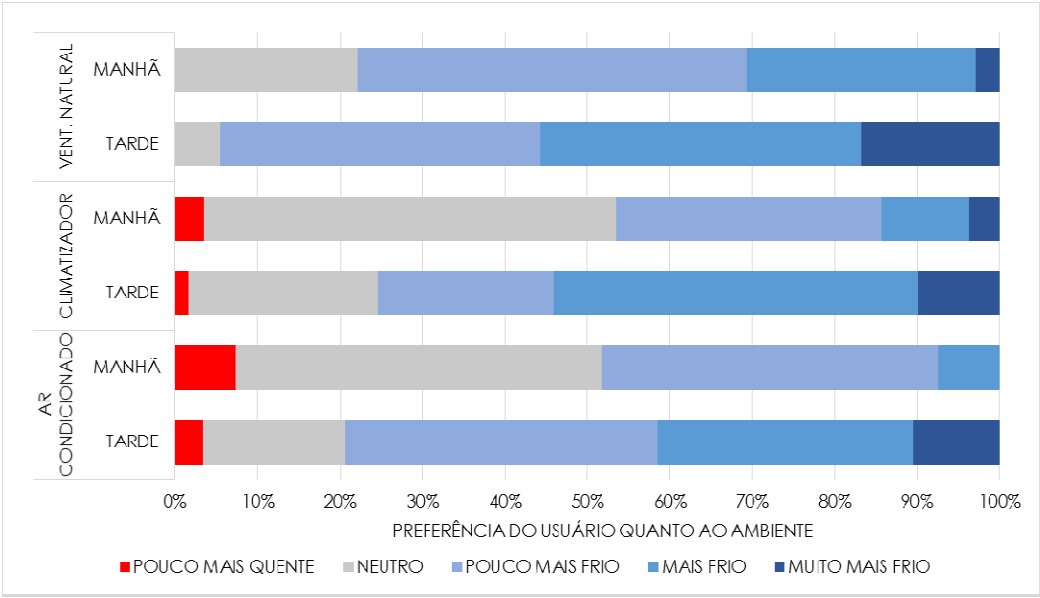
Figura 8 – Preferências do usuário quanto ao ambiente para as condições de conforto



Fonte: Os autores

No período vespertino, as condições climáticas locais se tornam mais desfavoráveis devido ao aumento das temperaturas e ganho de calor, elevando as sensações de desconforto interno da edificação, como indicado no gráfico da Figura 9, que mostra um crescimento no desejo do usuário por um ambiente mais frio a tarde, em relação à manhã.

Figura 9 – Preferências dos usuários quanto ao ambiente para cada situação



Fonte: Os autores

A Figura 9 mostra ainda que os maiores índices de neutralidade, no qual o usuário não deseja a alteração das condições do ambiente, nem mais quente nem mais frio, ocorre na situação com o uso do climatizador evaporativo. Mesmo com o uso do ar condicionado, cerca de 50% das

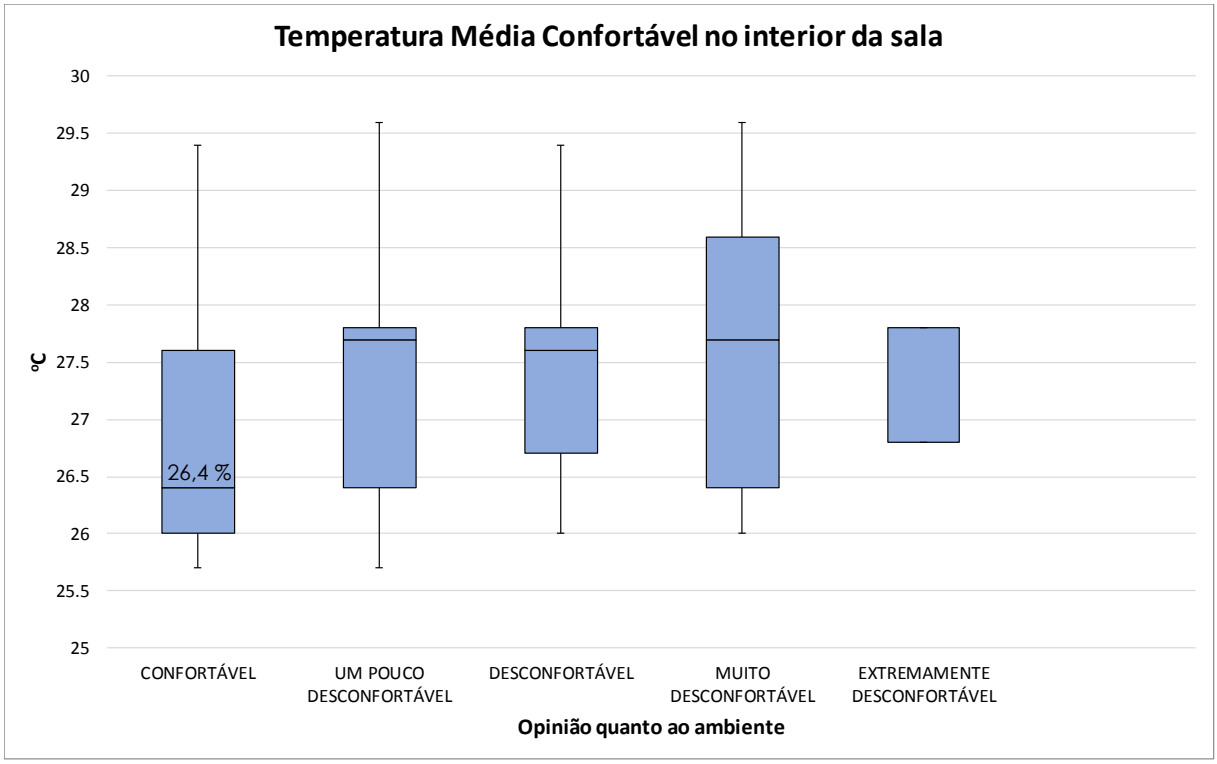
pessoas, no período da manhã, preferiam que o local estivesse mais frio. Esse índice aumenta para quase 80% dos usuários durante a tarde. O resultado obtido se deu, provavelmente, devido ao não funcionamento adequado dos condicionadores de ar, já que as temperaturas internas na sala não alcançaram o valor indicado nos aparelhos (21 °C).

A pior situação ocorre com a ventilação natural, na qual cerca de 80%, de manhã, e 95%, a tarde, dos entrevistados preferiam um ambiente mais frio.

A menor temperatura do ar interno encontrada foi na situação climatizador.

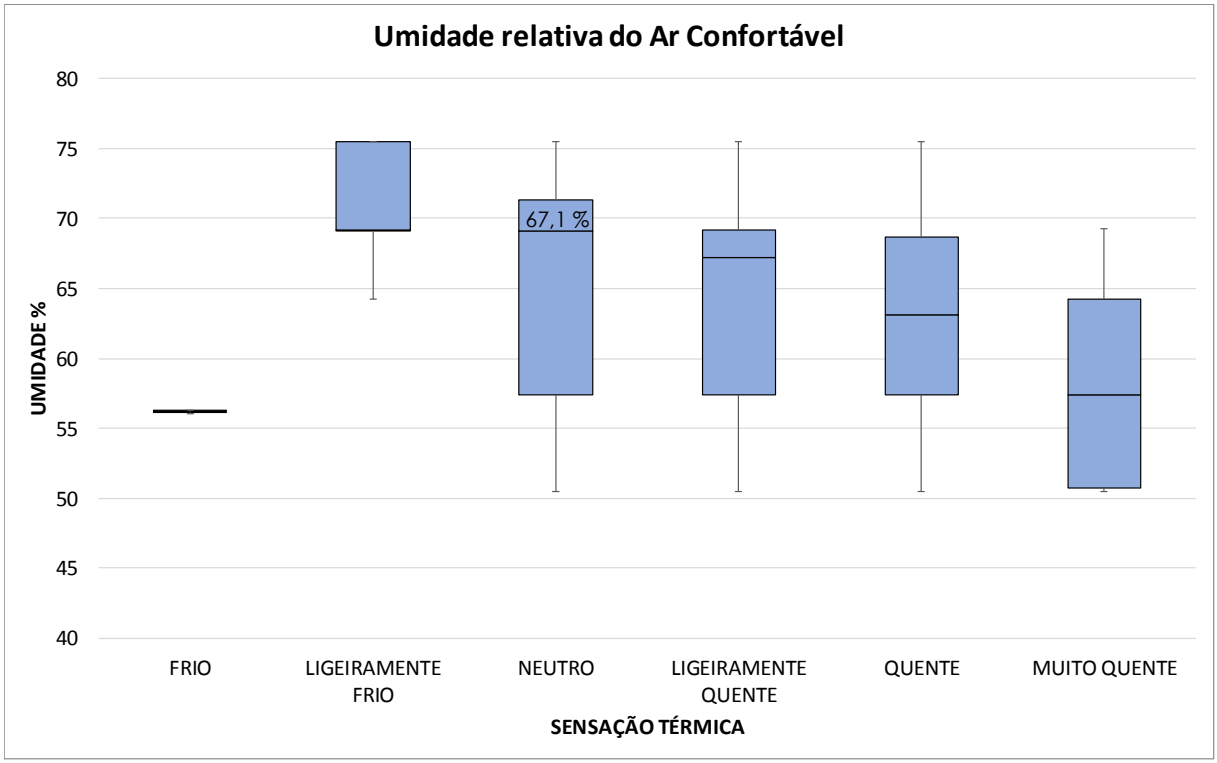
Baseando nas respostas dos entrevistados e nas temperaturas encontradas no interior do ambiente, foi considerada a temperatura do ar igual a 26,4 °C como confortável, Figura 10. A umidade relativa do ar considerada confortável foi 67,1%, Figura 11. Considerando que cerca de 70% dos entrevistados consideraram desconfortáveis todas as situações analisadas, esses resultados sugerem que a sala de aula analisada necessita de uma readequação ambiental para que a maioria dos alunos se sinta confortável em relação à temperatura do ambiente.

Figura 10 – Temperatura Média do ar considerada confortável



Fonte: Os autores

Figura 11 – Umidade Relativa Média do ar considerada confortável



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Este artigo avaliou as condições de conforto térmico e a percepção ao ambiente térmico de uma sala de aula em 3 situações: com ar condicionado, climatizador e ventilação natural. Considerando o conceito básico de conforto térmico apresentado pela ASHRAE 55-2013, no qual corresponde ao estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico, foi considerado os usuários que estavam efetivamente confortáveis na sala de aula aqueles que não desejaram nenhuma alteração das condições do ambiente. Algumas pessoas, mesmo assinalando que o local estava confortável, desejavam que estivesse mais frio, o que indica o não cumprimento de um estado de satisfação plena com o ambiente. Dentro deste contexto, a temperatura do ar considerada confortável foi de 26,4 °C e a umidade relativa do ar de 67,1%.

Verificou-se que a maioria dos entrevistados estavam insatisfeitos em relação ao ambiente, onde 70,2% de insatisfeitos para a situação ar condicionado, 68,5% para a situação climatizador e 83,3% para a situação ventilação natural. Esses resultados podem ser justificados pela média das temperaturas do ar interno, igual a 27,3º C. O uso do climatizador evaporativo representou os melhores índices de conforto das três situações. Os resultados sugerem que o sistema de ar condicionado seja revisado para a utilização de situações extremas de calor, como a época que foi realizada essa pesquisa.

Mesmo tendo havido uma preocupação com a disposição da edificação durante a sua concepção, colocando as salas de aula com aberturas para

a fachada Sul, e criando elementos para favorecer a ventilação cruzada, as condições de conforto térmico dentro das salas de aula não são garantidas com a ventilação natural.

O desconforto dos usuários foi grande, apesar do edifício atender aos requisitos de desempenho térmico da norma NBR15575-1, item 11.2, onde o valor máximo da temperatura do ar interno é menor ou igual à temperatura máxima do ar externo. Neste estudo, em todas as situações a temperatura do ar interno foi menor do que a temperatura do ar externo entre 4,46 a 6,64ºC. Salienta-se que os valores da norma são para ambientes residenciais e que para ambientes escolares deve-se adotar outro sistema de avaliação como o PMV/PPD descrito na ASHRAE 55-2013.

É importante que o projetista desenvolva projetos de edificações visando, não somente atender as normas vigentes, mas também o conforto térmico do usuário. Salienta-se que durante o verão, é necessário o uso de sistemas ativos como ar condicionado, ventiladores e climatizadores para melhorar o conforto térmico interno. Os resultados sugerem que os climatizadores sejam mais recomendados para os meses mais secos e quentes, entre setembro e novembro. O aumento da umidade provocado pelo aparelho pode possibilitar um ambiente mais confortável termicamente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa Ecológica Climatização, por ter concedido os aparelhos climatizadores evaporativos para a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimate as a factor in urban and architectural planning in tropical climates-The case of Campinas, Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 16, p. 397-674, 2014.

ASHRAE 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2013.

DE DEAR, R.; KIM, J.; CÂNDIDO, C.; DEUBLE, M. Summertime thermal comfort in Australian school classrooms. *In:* 8th WINDSOR CONFERENCE: COUNTING THE COST OF COMFORT IN A CHANGING WORLD, 2014, Windsor, UK. **Proceedings...**

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C. M.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189-202, jul./set. 2013.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort:** analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Darlish Techinical Press, 1970.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTLER, M. A. Análise de conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 91-114, jan./mar. 2012.

RUAS, A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. Fundacentro: São Paulo, 1999, 96 p.

SOUZA, H. N.; FONTANELLA, M. S. Percepção do ambiente térmico nas salas de aula pelos alunos da UFOP. **Engenharia Civil,** Ouro Preto, v. 64, n. 4, p. 415-419, out./dez. 2011.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. Naturally ventilated classrooms: an assessment of existing comfrot models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 166-182, 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

METODOLOGIA UTILIZADA NO CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS SUGERIDAS PELA NBR 15220:2005 – ANÁLISE UTILIZANDO DADOS AMBIENTAIS TÍPICOS DO BRASIL[1]

MARTINS, Monalisa Coelho (1); SCHMID, Aloísio Leoni (2); STANESCU, George (3)

(1) LACTEC, e-mail: monalisa.martins@lactec.org.com.br; (2) UFPR, e-mail: iso@ufpr.br; (3) UFPR, e-mail: stanescu@ufpr.br

RESUMO

O aprimoramento do desempenho térmico de edificações pode contribuir para o uso eficiente da energia e conservação do meio ambiente. Um dos parâmetros utilizados no cálculo do desempenho térmico é a resistência térmica superficial, cujo cálculo envolve diversos fatores, principalmente ambientais. Na "NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações" são sugeridos valores médios de resistência térmica superficial que são utilizados em todo o país, independente das características ambientais da cada região. O objetivo do presente trabalho é comparar as diferentes equações para cálculo dos coeficientes de troca de calor por convecção e, assim, com os resultados encontrados, calcular a produção de calor no inverno e no verão. Foi utilizado como exemplo um edifício de múltiplos andares. Foi verificada uma superestimação dos coeficientes de troca de calor por convecção que levou a uma diferença de produção de calor de 258% no verão e de 34% no inverno. Esses resultados indicam que a NBR 15220 está mais adequada para as regiões com temperaturas baixas, visto que a diferença é maior quando aplicado em regiões com temperaturas mais elevadas.

Palavras-chave: Coeficiente de filme na convecção. Resistência térmica superficial. Desempenho térmico de edifícios.

ABSTRACT

The improvement of the thermal performance of buildings can contribute to the efficient use of energy. One of the parameters used to calculate the thermal performance is the surface thermal resistance, which is influenced by several factors. The "NBR 15220 - Thermal performance of buildings" suggests average values of surface thermal resistance that are used in Brazil, without considering the environmental differences across the country. The objective of this study is to compare the different equations to calculate the convective heat transfer coefficients and with these values to calculate the required heat production in winter and summer. A theoretical building was used with sample. The results showed an overestimation of convective heat transfer coefficients. The heat production resulting difference was 258% in summer and in winter 34%. These results indicate that the NBR 15220 is most appropriate for regions with low temperatures, since the difference is greater when applied in areas with higher temperatures.

***Keywords**: Convection film coefficient. Superficial thermal resistance. Thermal performance of buildings.*

[1]MARTINS, Monalisa Coelho; SCHMID, Aloísio Leoni; STANESCU, George. Metodologia utilizada no cálculo das resistências térmicas superficiais sugeridas pela NBR 15220:2005 – Análise utilizando dados ambientais típicos do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Os vários parâmetros de entrada utilizados nas simulações computacionais do desempenho de edifícios têm origem empírica ou teórica. Entre esses parâmetros, estão os coeficientes de transporte de calor da superfície, que podem ser por radiação, ou por convecção (MIRSADEGHI *et al.,* 2013).

Com relação a esses coeficientes, estudos realizados demostraram relações significativas da transferência de calor por convecção no balanço energético. Segundo Obyn e Moeseke (2015) existem divergências entre os programas de simulação térmica, que podem estar relacionadas aos diferentes métodos utilizados para determinar o coeficiente de troca de calor por convecção.

A partir de alguns estudos, foi verificado que as escolhas dos coeficientes de troca de calor por convecção externos podem resultar em diferenças de 20% a 40% no consumo de energia do edifício (EMMEL *et al.,* 2007; SHAO *et al*., 2009). Para o coeficiente de troca de calor por convecção interno essas diferenças podem ser de até 8% (PEETERS *et al.,* 2011). Esses números são de grande interesse para as empresas do setor, justificando uma busca mais aprofundada desses coeficientes.

Através do coeficiente de troca de calor por convecção, *h*, é possível determinar a quantidade de calor que se transfere da superfície até o fluido ou meio. Esse coeficiente depende basicamente da geometria da superfície, da natureza do escoamento do fluido, propriedades termodinâmicas e do transporte do fluído (HOLMAN, 1981).

O inverso do coeficiente de troca de calor por convecção representa a resistência térmica superficial por convecção. Essa grandeza é normalmente utilizada na bibliografia ligada ao tema. A norma "NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações" (ABNT 2005) sugere alguns valores típicos de resistência térmica superficial para a utilização no dimensionamento da perda ou ganho de calor da edificação. Esses valores sugeridos pela norma são amplamente utilizados em todas as zonas bioclimáticas do Brasil, sem diferenciação. Sabe-se que existem muitas incertezas e variáveis envolvidas, e os dados ambientais regionais poderiam influenciar os cálculos da resistência térmica superficial (OHLSSON *et al.,* 2016).

O Brasil está dividido em oito zonas bioclimáticas. Para os cálculos de resistência térmica superficial, com a utilização dos dados climáticos típicos de cada zona, seria possível obter um projeto mais próximo da realidade de cada uma delas. O objetivo do presente trabalho é apresentar o método utilizado que resultou nos valores de resistências térmicas sugeridas na NBR 15220 (ABNT 2005) e verificar qual a variação desses valores quando são inseridos os dados climáticos típicos do Brasil. Também serão apresentados outros procedimentos disponíveis na literatura para o cálculo de resistência térmica superficial para comparação, de modo a gerar contribuições para o seu aprimoramento.

2 MÉTODO

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram levantadas as equações e os parâmetros utilizados que resultaram nos valores das resistências térmicas superficiais apresentadas na NBR 15220 (ABNT 2005). Com isso, é possível analisar se os parâmetros estão adequados às características climáticas do Brasil. Após, outras formas de cálculo disponíveis na literatura foram levantadas para comparação dos resultados. Os resultados foram aplicados em um exemplo de dimensionamento de produção de calor em um edifício.

2.1 Procedimento de cálculo para obtenção das resistências térmicas superficiais da NBR 15220

O fluxo de calor que um ambiente transfere ao outro depende da resistência térmica entre os ambientes, além da diferença de temperatura e da área de interface. A norma brasileira NBR 15220 (ABNT 2005), no item 4, apresenta algumas equações, tal como da resistência térmica total descrita na equação 1.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (1)$$

Onde

- R_T representa a resistência térmica total em (m²·K)/W;
- R_{se} representa a resistência do ar para a superfície externa em (m²·K)/W;
- R_t representa a resistência da superfície externa até a superfície interna (m²·K)/W;
- R_{si} representa a resistência superficial interna para o ar em (m²·K)/W.

Para o caso de uma parede, R_t representa a resistência térmica da parede propriamente dita, R_{se} representa a resistência térmica da superfície externa da parede para o ar, e R_{si} a resistência térmica da superfície interna para o ar.

Com relação às resistências térmicas superficiais, na norma brasileira NBR 15220 (ABNT 2005) são apresentados alguns valores médios recomendados no seu anexo A, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} (m².K)/W			**R_{se} (m².K)/W**		
Direção do fluxo de calor			**Direção do fluxo de calor**		
Horizontal	**Ascendente**	**Descendente**	**Horizontal**	**Ascendente**	**Descendente**
⇨ |	⇧	⇩	⇨ |	⇧	⇩
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (ABNT 2005)

Vale ressaltar que os valores de resistência térmica superficial podem variar com a emissividade, temperatura e velocidade do ar sobre a superfície, e superfícies próximas.

Pode-se verificar a similaridade com a tabela 1 da norma ISO 6946:1997 "Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods", transcrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência superficial (m²·K/W)

	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	**Horizontal**	**Descendente**
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Fonte: ISO 6946:1997

A NBR 15220 (ABNT 2005) utilizou o mesmo procedimento de cálculo para a obtenção dos valores da tabela 1 da norma ISO 6946:1997. As equações de 2 a 5 descrevem como os valores da tabela 2 foram calculados.

$$R_S = \frac{1}{h_C + h_r} \quad (2)$$

Onde

- R_s é a resistência térmica superficial em (m²·K)/W;
- h_c é o coeficiente de troca de calor por convecção em W/(m²·K);
- h_r é o coeficiente de troca de calor por radiação térmica em W/(m²·K).

Para o cálculo do coeficiente de radiação utiliza-se as equações 3 e 4.

$$h_r = \varepsilon\, h_{ro} \quad (3)$$

$$h_{ro} = 4\sigma\, T_m^3 \quad (4)$$

Onde

- h_r é o coeficiente de troca de calor por radiação térmica em W/(m²·K);
- ε é a emissividade da superfície;
- h_{ro} é o coeficiente de radiação para uma superfície de corpo negro *em (w/m²·K);*
- σ é a constante de Stefan-Boltzmann [5,67 x 10^{-8}] *em W/(m²·K);*
- T_m é a temperatura termodinâmica média da superfície e para os seus arredores *em kelvin (K).*

O coeficiente de troca de calor por convecção h_c possui duas formas de cálculo, e cada uma delas é utilizada dependendo de qual resistência superficial se quer encontrar, ou seja, se é resistência superficial interna ou externa. Para encontrar a resistência térmica superficial interna, o valor de h_c é tabelado, e depende da direção do fluxo de calor, conforme mostra a

Tabela 3, onde h_c é igual a h_{ci} (coeficiente de troca de calor por convecção interno).

Tabela 3 – Coeficiente de troca de calor por convecção interno

Coeficiente de troca de calor por convecção interno h_{ci} [W/(m²·K)]		
Direção do fluxo de calor		
Ascendente	**Horizontal**	**Descendente**
		
5,0	2,5	0,7

Fonte: Adaptado ISO 6946:1997

Para encontrar a resistência térmica superficial externa, o coeficiente convectivo é calculado e depende basicamente da velocidade do vento, conforme Equação 5, onde h_c é igual a h_{ce} (coeficiente de troca de calor por convecção externo).

$$h_{ce} = 4+4v \quad (5)$$

Onde

- h_{ce} é o coeficiente de troca de calor por convecção da superfície externa em W/(m²·K);
- v é a velocidade do vento adjacente à superfície em m/s.

Os dados utilizados nas equações que resultaram nos valores de resistências térmicas superficiais internas e da ISO 6946:1997 estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados utilizados nos cálculos

Dados de entrada			
Emissividade	**Temperatura interna (°C)**	**Temperatura externa (°C)**	**Velocidade do vento (m/s)**
0,9	20	0	4

Fonte: Adaptado ISO 6946:1997

Os valores de h_{ro} foram retirados da ISO6946:1997 transcrita na Tabela 4 para as temperaturas de 0 °C e 20 °C e a Tabela 5 apresenta os resultados.

Tabela 5 – Dados utilizados nos cálculos

Temperatura (°C)	**Temperatura (K)**	**h_{ro} (w/m²·K)**
0	273,15	4,62
20	293,15	5,71

Fonte: Adaptado ISO 6946:1997

Percebe-se que os parâmetros ambientais utilizados são típicos de países com inverno rigoroso, onde a temperatura externa, considerada numa média anual, atinge facilmente 0 °C, pois esse foi o valor utilizado para

obtenção dos valores de resistência térmica superficial externa, conforme exposto na Tabela 1.

2.2 Métodos de cálculo para obtenção das resistências térmicas superficiais

Na literatura, existem outros métodos para a determinação dos valores dos coeficientes de troca de calor por convecção, que podem ser divididos em métodos analíticos, aplicáveis para geometrias simples, estudos numéricos, através da Dinâmica de Fluidos Computacional (*Computacional Fluid Dynamics* ou CFD) e estudos experimentais, podendo ser utilizados em escala reduzida (medições em túnel de vento e pequenos modelos) e ensaios à escala real (medições em fachadas de edifícios reais).

As Tabelas 6 e 7 apresentam algumas correlações disponíveis para o cálculo do coeficiente de troca de calor por convecção, linearizadas. As equações são bem conhecidas e frequentemente utilizadas em softwares de simulações.

Tabela 6 – Equações para determinação do coeficiente de troca de calor por convecção externo

Modelos –em escala reduzida	**Descrição**	**Equações**
McAdams (1954)	Medições em túnel de vento (aplicações diferentes para superfície lisa ou rugosa)	$h_{c,ext}$=5,678 $\left[\mathrm{m+n}\left(\frac{\mathrm{V_f}}{0{,}3048}\right)^{\mathrm{p}}\right]$
CIBS (1979)	Medições em túnel de vento	$h_{c,ext}=4{,}1V_{loc}+5{,}8$
Jayamaha (1996)	Medições em campo utilizando placa de alumínio	$h_{c,ext}=1{,}444V+4{,}955$
Modelos completos	**Descrição**	**Equações**
Sturrock (1971)	Superfície exposta	$h_{c,ext}=6{,}1V_r+11{,}4$
	Superfície normal	$h_{c,ext}=6V_r+5{,}7$
ASHRAE (1975)	Superfície externa - edifício de 6 andares em Tóquio	$h_{c,ext}=18{,}6V_{loc}^{0{,}605}$
Nicol (1977)	Medições de campo noturnas para uma janela externa nas regiões árticas no Canadá	$h_{c,ext}=7{,}55V_r+4{,}35$
Hagishima & Tanimoto (2003)	Medições em um edifício composto por um bloco de 2 pisos (9,9 m), anexado ao e protegido por um bloco de 4 andares - Superfícies horizontais	$h_{c,ext}=2{,}28V_r+8{,}18$
	Medições em um edifício composto, por um bloco de 2 pisos (9,9 m), anexado ao e protegido por um bloco de 4 andares - Superfícies verticais	$h_{c,ext}=10{,}21V_{loc}+4{,}47$
Loveday mixe	Modelo para todos os tipos de superfícies desconsiderando tipo de construção, textura da superfície, orientação, acolhimento e tipos de terreno.	$h_{c,ext}=16{,}7{V_{loc}}^{0{,}5}$

Modelos - diversos	Descrição	Equações
ISO 6946: (1997)	Nenhuma informação pode ser encontrada sobre o experimental - Este modelo não leva em conta as variações no tipo de construção, a superfície, orientação de superfície, condições de acolhimento e do tipo de terreno.	$h_{c,ext} = 4V + 4$

Fonte: MIRSADEGHI *et al.,* (2013)

Tabela 7 – Equações para determinação do coeficiente de troca de calor por convecção interno

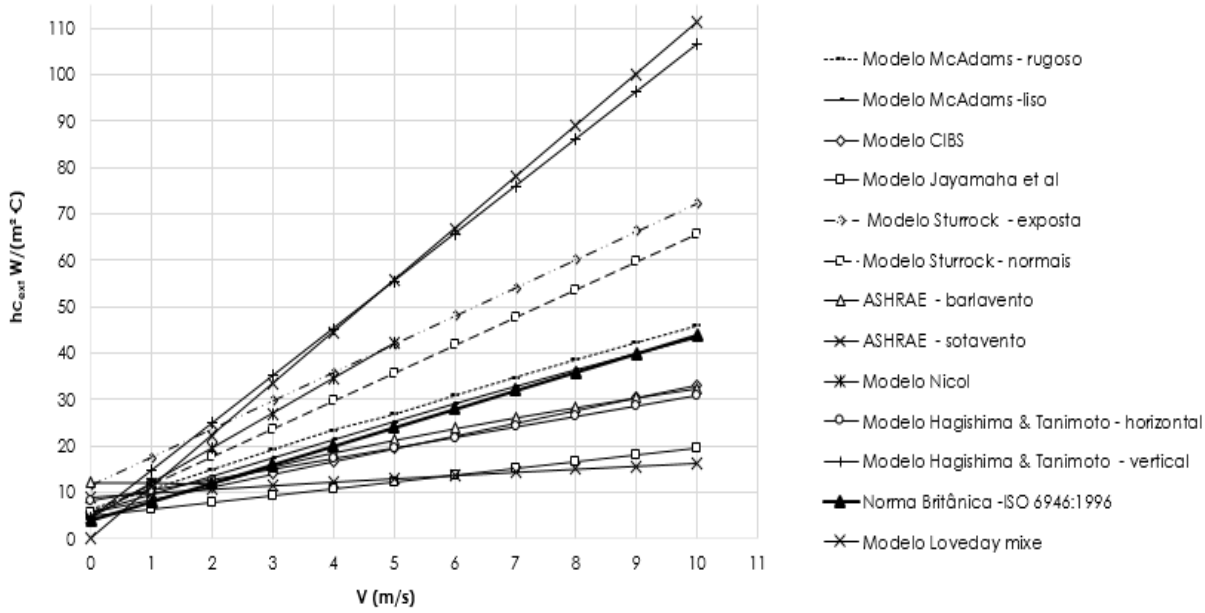
Modelos	Descrição	Equações W/(m² ·C)
ASHRAE (1997)	Placas grandes verticais – fluxo turbulento	$h_{C,nat}=0,19(\Delta T_{sa})^{0,33}$
	Placas pequenas verticais – laminar	$h_{C,nat}=0,29\left(\frac{\Delta T_{sa}}{L}\right)^{0,25}$
	Placas grandes horizontais, voltadas para cima quando o ar é aquecido ou virados para baixo quando é resfriado – turbulento	$h_{C,nat}=0,22(\Delta T_{sa})^{0,33}$
	Placas grandes horizontais, voltadas para cima quando o ar é aquecido ou virados para baixo quando é resfriado – fluxo laminar	$h_{C,nat}=0,27\left(\frac{\Delta T_{sa}}{L}\right)^{0,25}$
	Placas pequenas horizontais, voltadas para cima quando o ar é resfriado ou virados para baixo quando o ar é aquecido	$h_{C,nat}=0,12\left(\frac{\Delta T_{sa}}{L}\right)^{0,25}$
ISO 6946:1997	Fluxo ascendente (tabelado)	5,0
	Fluxo horizontal (tabelado)	2,5
	Fluxo descendente (tabelado)	0,7
TRNSYS	Superfícies verticais	$h_{C,nat}=1,5\Delta T^{0,25}$
Fohanno e Polidori	Superfícies verticais – interno - laminar	$h_{C,nat}=1,332\left(\frac{\Delta T}{H}\right)^{1/4}$
	Superfícies verticais – interno - turbulento	$h_{c,nat}=1,235\exp(0,0467H)(\Delta T)^{0,316}$
Min	Todas as superfícies	$h_{C,nat}=1,646\left(\frac{\Delta T^{0,32}}{H^{0,05}}\right)$
Awbi and Hatton	-	$h_{C,nat}=1,832\left(\frac{\Delta T^{0,293}}{H^{0,121}}\right)$

Fonte: HARKOUSS (2013) e WANG (2000)

2.3 Comparação dos valores de resistências térmicas superficiais para diferentes métodos

Com as equações descritas anteriormente foram realizados diversos cálculos para que fosse possível se obter maior sensibilidade com relação ao impacto da utilização de diferentes valores da velocidade do ar e de temperatura no cálculo de h_c externo e interno. A Figura 1 mostra os resultados para os coeficientes convectivos externos.

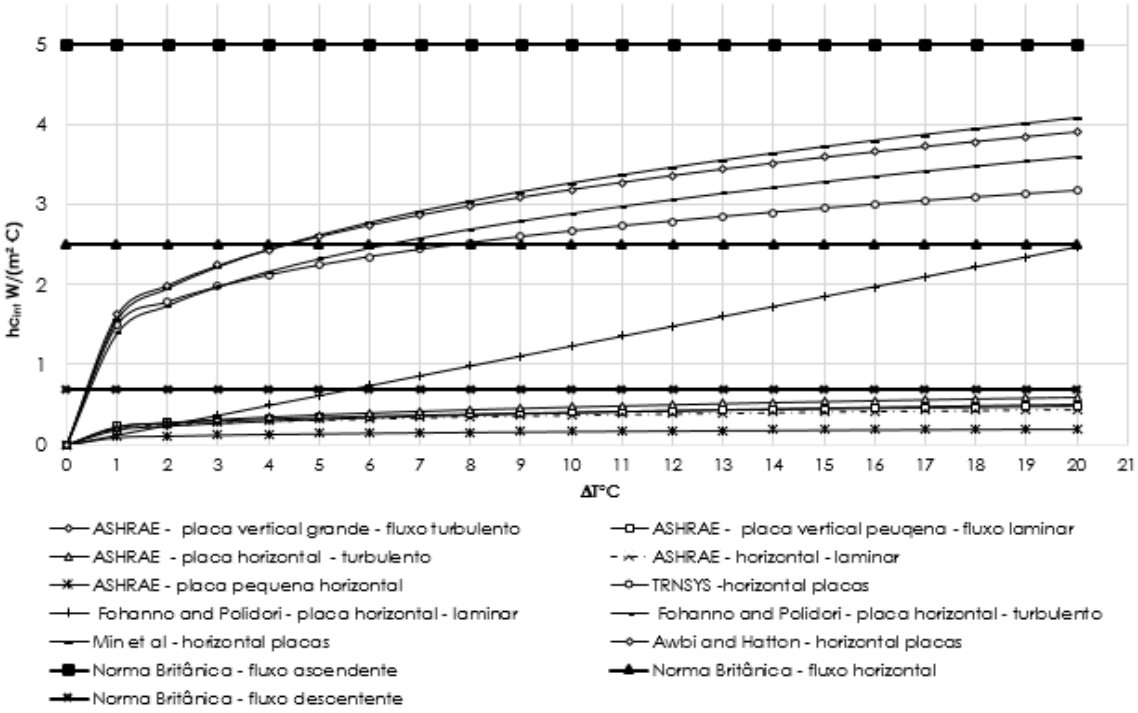
Figura 1 – Equações para o cálculo do hc_{ext}



Fonte: Os autores

Conforme a Figura 1 existe uma grande variedade de modelos de cálculos de hc_{ext} que, se utilizado da maneira correta, contribui para atingir o valor mais adequado para cada situação específica. As equações são classificadas conforme o tipo do experimento para a obtenção do modelo, podendo ser escala reduzida ou escala real. A Figura 2 mostra os resultados para os coeficientes convectivos internos em função da temperatura.

Figura 2 – Equações para o cálculo do hc_{int}



Fonte: Os autores

Verifica-se ao analisar as figuras 1 e 2 que os resultados podem variar significativamente dependendo do método empregado.

2.4 Exemplo de aplicação

Para verificar o impacto de se usar diferentes valores para hc_{int} e hc_{ext}, adotou-se um edifício de múltiplos andares. Tal edificação possui área retangular e dimensões de 5,5 m de largura, 9 m de profundidade e altura do pé direito de 2,5 m.

Segundo a NBR 15220 (ABNT 2005), o Brasil é dividido em oito diferentes zonas bioclimáticas definidas por semelhanças climáticas, as quais possuem diretrizes construtivas específicas para cada uma delas, para garantir um maior conforto térmico aos usuários.

Para análise de alguns desses parâmetros foram realizados cálculos para duas situações típicas, verão e inverno referente as características da zona bioclimática brasileira 1 para a cidade de Curitiba no Paraná. Os valores utilizados de temperatura externa e interna foram para períodos de verão respectivamente 31,4 °C e 23 °C (diferença de -8,4 °C) e para períodos de inverno respectivamente 0,7 °C e 23 °C (diferença de 22,3 °C). Considerando-se o fluxo de ar na ventilação dado pelo valor mínimo por pessoa de 27 m³/h, conforme Portaria 3523 (BRASIL, 1998), com duas pessoas.

Para a edificação não foi considerado o uso de condicionamento mecânico e, portanto, sujeito somente à perda natural de calor. Apenas uma superfície de área A_s esteja em contato com o exterior, composta de parede de alvenaria, de área A_p, e duas janelas de vidro temperado, sem esquadria, simples, de área A_j. Outras superfícies são consideradas adiabáticas, já que separam a unidade em análise dos pavimentos acima e abaixo, das unidades ao lado e ainda o corredor de circulação, que se encontram sob mesmas condições térmicas.

Em condição livre da radiação solar, a perda de calor pela parede externa é dada pela Equação 6.

$$q=\frac{(Ti-Te)}{Re} \qquad (6)$$

Onde

- q é o fluxo de calor em W/m^2;
- T_i é a temperatura da face interna da parede em kelvin (K);
- T_e é a temperatura da face externa da parede em kelvin (K);
- R_e é a resistência térmica da parede em $m^2 \cdot K/W$.

R_e, por sua vez, é a combinação em paralelo das resistências térmicas da parede e do vidro. O Quadro 1 mostra as características dos materiais utilizados.

Foi considerando, também, que o fluxo de calor perdido devido à ventilação no verão q_v é igual a 164 W e no inverno q_v igual a 435 w. Para o cálculo da produção de calor foram utilizados diversos valores de hc_{int} e de hc_{ext} para verificação dos impactos nos resultados.

Quadro 1 – Valores dos materiais utilizados

Componente	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/(m·K)	Área (m²)	Resistência térmica (m²·K)/W
Alvenaria	0,150	0,600	11,670	0,250
Vidro	0,004	1,000	2,080	0,004

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS

3.1 Produção de calor para diferentes valores de h_c

A produção de calor *q* [W] no exemplo proposto para o verão e para diversos valores de hc_{int} e de hc_{ext} estão apresentados no Quadro 2. No inverno, utilizando a mesma variação dos valores do hc_{int} e hc_{ext} para o exemplo do edifício, os valores de produção de calor q [W] são apresentados no Quadro 3.

Percebe-se, ao analisar o Quadro 2, que uma superestimação hipotética de hc_{int} e hc_{ext}, por exemplo, 8 (W/m²K) e 25 (W/m²K) respectivamente, comparado com valores de 4 (W/m²K) e 10 (W/m²K), pode resultar em uma diferença de extração de calor de 258 % no verão.

Quadro 2 – Valores de produção de calor no verão *q* [W] para manter -8,4 ˚C de diferença entre o ar interior e o exterior, para diferentes valores de hc_{int} e hc_{ext}

hc_{ext} (W/m²K)	hc_{int} (W/m²K)						
		3	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
	5	6	-15	-30	-42	-52	-60
	10	-19	-49	-72	-90	-106	-119
	15	-30	-64	-90	-112	-131	-147
	20	-36	-72	-101	-125	-146	-164
	25	-40	-77	-108	-134	-156	-176
	30	-42	-81	-112	-140	-163	-184

Fonte: Os autores

Tal superestimação dos coeficientes de troca de calor por convecção levaria, no verão, a um erro grosseiro de subdimensionamento do sistema de refrigeração, contrário à segurança.

Fazendo uma análise similar percebe-se uma diferença de produção de calor de 34% no inverno, portando, no inverno, existe a possibilidade de leve superdimensionamento, contrário à economicidade, porém em favor da segurança.

Quadro 3 – Valores de produção de calor no inverno q [W] para manter 22,3 ˚C de diferença entre o ar interior e o exterior, para diferentes valores de hc_{int} e hc_{ext}

	hc_{int} (W/m²K)						
		3	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
hc_{ext} (W/m²K)	**5**	854	909	950	982	1008	1029
	10	922	1000	1061	1110	1151	1186
	15	950	1039	1110	1169	1219	1262
	20	966	1061	1138	1203	1259	1307
	25	976	1075	1156	1225	1285	1337
	30	982	1085	1169	1241	1303	1358

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou algumas equações para determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção externo e interno, com foco no procedimento utilizado pela norma NBR 15220 (ABNT 2005). O hc_{ext} é influenciado principalmente pela rugosidade da superfície, velocidade do vento e direção do vento. O modelo utilizado na norma brasileira foi baseado na ISO 6946:1997, contudo, assim como citado por outros autores, não foi possível encontrar informações sobre o projeto experimental utilizado para a metodologia, porém, foi possível verificar que o cálculo do coeficiente externo não leva em conta as variações do tipo de construção, da rugosidade da superfície, orientação da superfície e tipo de terreno. O coeficiente de troca de calor por convecção interno na ISO 6946:1997 é apresentado em forma de tabela dependendo somente da direção fluxo de calor não considerando variações da temperatura da superfície e do ar. Os dados ambientais utilizados também não correspondem aos climas típicos de verão e inverno do território brasileiro pois, para o cálculo da norma ISO 6946:1997, foi aplicado o valor de 0 °C na temperatura externa anual média, o que corresponde ao clima de países com invernos rigorosos. Conforme apresentado existem discrepâncias entre os valores desses coeficientes, dependendo da equação empregada, o que pode levar a incertezas significativas no cálculo de produção total de energia. Através de um cálculo simplificado foi possível ter uma sensibilidade da superestimação dos coeficientes de troca de calor por convecção. Mostra-se, que a superestimação de hc_{ext} em 25 W/m²·K quando poderia ser 10 W/m²·K e de hc_{int} em 8 W/m²·K quando poderia ser 4 W/m²·K pode levar a um desvio significativo nos cálculos do calor a ser gerado ou retirado, no exemplo aplicado foi encontrado no inverno e no verão, respectivamente, 34 % e 258_% de diferença. Com isso, foi verificado que há evidências de que a norma está mais adequada para regiões mais frias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - PPGCC da Universidade Federal do Paraná – UFPR e aos Institutos Lactec pelo apoio na elaboração deste projeto, na forma de bolsa para a autora.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Ministerial 3523, de 28.8.98. Dispõe sobre Ar Condicionado. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 31 Ago. 1998. Disponível em: < http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html>. Acesso em 4 março 2016.

EMMEL, M. G.; ABADIE, M. O.; MENDES, N. New external convective heart transfer coefficient correlations for isolated low-rise buildings. **Energy and Buildings**, Elsevier 2007. p. 335-342.

HARKOUSS, F. **Sensitivity study of building thermal simulations to some input parameters**. Final year project. Mechanical Engineering Branch III. Lebanese University. Líbano, 2013.

HOLMAN, J. P. **Heat Transfer**, 5th ed, McGraw-Hill Book, 1981.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6946 – Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.** British, 1997.

MIRSADEGHI M.;CÓSTOLA D.; BLOCKEN B.; HENSEN J.L.M. Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: Implementation and uncertainty. **Building Physics and Services**. Eindhoven University of Technology. Volume 56. Netherlands, 2013.

OBYN, S.; MOESEKE, V. G. Variability and impact of internal surfaces convective heat transfer coefficients in the thermal evaluation of office buildings. **Applied Thermal Engineering.** Elsevier. 2015. p. 258 e 272.

OHLSSON, A. K. E.; ÖSTIN, R.; OLOFSSON, T. Accurate and robust measurement of the external convective heat transfer coefficient based on error analysis. **Energy and Buildings.** Elsevier. 2016. p. 83–90.

PEETERS, L.; BEAUSOLEIL-MORRISONB, I.; NOVOSELAC, A. Internal convective heat transfer modeling: Critical review and discussion of experimentally derived correlations. **Energy and Buildings.** Elsevier. 2011. p. 2227–2239.

SHAO, J. LIU J.; ZHAO J.; ZHANG W.; SUN D.; FU Z. A novel method for full-scale measurement of the external convective heat transfer coefficient for building horizontal roof. **Energy and Buildings.** Elsevier.2009. p. 840–847

WANG, K. S. **Handbook of air conditioning and refrigeration.** 2nd ed. McGraw-Hill. United States of America, 2000.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA NBR 15575 (2013) QUANTO AO DESEMPENHO TÉRMICO: UM ESTUDO DE CASO EM SALVADOR - BAHIA[1]

CONCEIÇÃO, Jéssica (1); LEITE, Regina M. C. (2)

(1) IFBA, e-mail: jessica.16.santos@hotmail.com; (2) IFBA, e-mail: regina.leite@ifba.edu.br

RESUMO

O conforto térmico de um ambiente está diretamente associado ao bem-estar e a sensação de satisfação do indivíduo com o meio. Para atender à necessidade de reorganização da área da construção civil no que se refere ao conforto térmico, foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, em 2008, a Norma Brasileira de Desempenho de Edificações Habitacionais - NBR 15575 (2013). Este trabalho tem como objetivo analisar duas edificações recentemente construídas, localizadas na cidade de Salvador - BA, relacionadas ao desempenho térmico baseado na NBR 15575 (2013). A presente pesquisa consiste em avaliar a transmitância térmica e absortância à radiação solar e compará-las com os valores recomendados pelas normas NBR 15575 (2013) e NBR 15220 (2003), através do procedimento simplificado. Para isto, os parâmetros de avaliação dos sistemas de vedação vertical e cobertura apresentados na NBR 15575 (2013) foram obtidos in loco. Em seguida foram feitas entrevistas com usuários nas edificações A e B com a finalidade de verificar se há satisfação térmica mediante o comparativo com a NBR 15575 (2013). O objetivo proposto foi alcançado. Constatou-se que apenas a edificação A atende aos requisitos da norma, provavelmente devido à utilização de materiais com função de isolante térmico.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Desempenho. Edificações.

ABSTRACT

The thermal comfort of an environment is directly associated with well-being and sense of individual satisfaction with the environment. To meet the need for reorganization of the construction area with regard to thermal comfort, was published by the Brazilian Association of Technical Standards, in 2008, the Brazilian Standard Performance of Buildings Housing - NBR 15575 (2013). This work aims to analyze two buildings recently built, located in the city of Salvador - BA, related to thermal performance based on the NBR 15575 (2013). This study is to evaluate the thermal transmittance and absorbance to solar radiation and compare them with the values recommended by NBR 15575 standards (2013) and NBR 15220 (2003), through the simplified procedure. For this, the evaluation parameters of the vertical sealing and coating systems shown in the NBR 15575 (2013) were produced on the ground. Then users with interviews were conducted in buildings A and B in order to check for thermal satisfaction by the comparison with the NBR 15575 (2013). The proposed objective was achieved. It was found that only the construction meets the standard requirements, probably due to the use of materials with thermal insulating function.

[1] CONCEIÇÃO, Jéssica; LEITE, Regina M. C.. Avaliação da aplicabilidade da NBR 15575 (2013) quanto ao desempenho térmico: um estudo de caso em Salvador - Bahia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Thermal comfort. Performance. Buildings.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo Ruas (1999), o conforto térmico é a sensação de bem-estar sentida por uma pessoa num determinado lugar. Isto é o resultado da combinação da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida e a roupa usada pelas pessoas. Então um local é confortável se proporcionar bem-estar ao maior número de pessoas.

Visando a necessidade de reorganização da área da construção civil foi publicada a Norma Brasileira de Desempenho de Edificações Habitacionais - NBR 15575 (2013) em 2008 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Diferente de outras normas brasileiras publicadas, ela tem como prioridade orientar e prescrever como melhorar o desempenho das edificações e avaliá-las quanto à capacidade em resistir às intempéries e situações diárias para dessa maneira garantir o mínimo de conforto ao usuário.

Para Borges (2010), em 1984 quem tratava do desempenho de imóveis era a ISO 6241(1984), que até alguns anos atrás era referência. O que a difere da Norma Brasileira de Desempenho é a falta de foco ambiental, pois a ISO 6241 (Organização Internacional para Padronização,1984) foi elaborada numa época em que a sustentabilidade das construções não era um tema central para a sociedade. Dessa maneira, o problema da presente pesquisa é que nas residências e prédios construídos antes do surgimento da NBR 15575 (ABNT, 2013) não havia uma preocupação com o conforto do ambiente a fim de evitar o consumo de energia para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar.

O trabalho consiste em um estudo de caso para analisar a transmitância térmica e absortância à radiação solar dos sistemas de vedação vertical e cobertura e compará-las com os requisitos das normas NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2003), através do procedimento simplificado.

O objetivo da presente pesquisa é analisar duas edificações, localizadas na cidade de Salvador-BA, construídas após a publicação da norma NBR 15575 e verificar, pelo procedimento simplificado, o desempenho térmico baseado nos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013). Pressupõe-se que devido à construção ser relativamente nova e as normas brasileiras NBR 15575(2013) e NBR 15220 (2003) sobre conforto térmico já existirem desde 2008, as construções analisadas estão de acordo com os parâmetros exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) quanto ao desempenho térmico.

2 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Segundo Ruas (1999), a energia produzida excessivamente no metabolismo deve ser liberada para o meio para que a temperatura interna do corpo se mantenha constante. Este fenômeno ocorre através dos mecanismos de

troca térmica do corpo humano com o meio que se dividem em: Convecção, Condução, Radiação. De acordo com o mesmo autor, **a convecção** consiste no movimento de massas de fluidos em que o ar quente sobe e o ar frio desce. Já a **condução** é a passagem de energia térmica de uma região para outra, através de um meio material. O fenômeno da **radiação** ocorre através de ondas de calor no vácuo e em alguns meios materiais em que a energia radiante propaga-se até outro corpo através do espaço que os separa.

Os materiais possuem características próprias diante da radiação solar: absortância à radiação solar, transmitância à radiação solar e refletância à radiação solar. Segundo Pereira et al. (2015), uma superfície emite calor por radiação quando estiver a qualquer temperatura acima do zero absoluto (zero Kelvin). O comportamento dos componentes de determinado material com relação à radiação térmica dependerá das propriedades radiantes de sua superfície. Para este autor, a energia radiante que atinge uma superfície opaca será parte refletida e parte absorvida, sendo a fração refletida, dependente da refletância da superfície e a fração absorvida, dependente de sua absortância. A soma dessas duas parcelas é igual ao total incidente, assim basta conhecer a refletância da superfície opaca para também determinar a sua absortância (uma é o complemento da outra).

Define-se como refletância à radiação solar o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma. Já a absortância à radiação solar corresponde ao quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005a). Seus valores variam de zero a um (ou de 0 a 100%) (PEREIRA et al.,2015).

Segundo Lamberts et al. (2011), Transmitância térmica (U) é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à permissão da passagem de energia, medida em W/m2 K. Esta propriedade está relacionada à espessura do componente e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura. Já a Capacidade térmica é uma propriedade dos componentes construtivos que indica a quantidade de calor necessária para elevar sua temperatura em uma unidade, por cada unidade de área.

Para Lamberts et al. (2011) em edificações localizadas em países quentes como o Brasil, quando se aplicam materiais de baixo aquecimento, devido à menor absorção da radiação solar, podem reduzir ganhos de calor melhorando o bem-estar dos ocupantes da edificação e reduzindo o consumo de energia com condicionamento de ar. O desempenho de paredes de edificações pode ser entendido por meio da seguinte analogia: um corpo A passa parte de sua energia térmica, o que resulta numa redução de sua temperatura enquanto que o corpo B absorve-a e aumentará sua temperatura. Portanto, o processo continua até que as temperaturas se igualem, isto é, até que se atinja o equilíbrio térmico

(LAMBERTS et al. ,2011)

Os mesmos autores ressaltam que os vidros das esquadrias são materiais transparentes às radiações visíveis e possibilitam iluminação natural ao espaço. Além disso, quando a energia radiante incide sobre uma superfície transparente ela é absorvida, refletida ou transmitida. Contudo, podem resultar em problemas térmicos, acústicos e econômicos.

Quanto ao comportamento da cobertura, Silva (2004) discorre que tem papel de vedação (telhado), podendo proporcionar ainda isolação térmica, acústica, forro e impermeabilização. Além disso, a NBR 15575 (ABNT, 2013) ressalta que o sistema de cobertura influencia diretamente no conforto térmico dos ocupantes e no consumo de energia para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar.

3 AS NORMAS BRASILEIRAS DE DESEMPENHO TÉRMICO

A Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais - NBR 15575 (ABNT, 2013) teve a sua primeira versão divulgada em 2008, com parâmetros muito severos. Contudo, após reavaliação e atualização, em fevereiro de 2013 foi concluída e revisada facilitando assim o trabalho das empresas, dos fabricantes, dos engenheiros, dentre outros.

3.1 Norma brasileira NBR 15575 (2013)

A NBR 15575 (ABNT, 2013) visa avaliar o desempenho das novas edificações e trata de seis temas: requisitos gerais, sistema de estrutura, piso, vedação vertical, cobertura e sistemas hidrossanitários. Neste trabalho foram avaliadas as vedações verticais e coberturas abordadas a seguir. Segundo a NBR 15575 (2013) a parte 4 desta norma trata das **vedações verticais** e avalia as paredes e esquadrias, visando detectar se há bom desempenho térmico quando comparado com os requisitos. São avaliados também capacidade térmica, absortância à radiação solar e a transmitância térmica.

Antes de detalhar os requisitos é necessário ressaltar que segundo Sorgato et al., (2013) a norma possui três procedimentos para avaliação da adequação das edificações, a saber: simulação computacional, medição e simplificado. O método adotado no presente trabalho foi o simplificado, pois se aplicam os cálculos da transmitância térmica, capacidade térmica e absortância à radiação solar para serem comparados com os requisitos da NBR 15575 (2013). A respeito do zoneamento brasileiro, segundo Lamberts (2010) ele se divide em oito zonas e a cidade de Salvador se encontra na zona oito.

Os requisitos para a avaliação da vedação vertical são: a transmitância térmica, absortância à radiação solar e capacidade térmica. De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), **a absortância à radiação solar** trata-se do quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Segundo a mesma norma **a capacidade térmica** consiste na quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema, em kJ/(m2.K).

Para Lamberts et al. (2010) **a transmitância térmica** é a permissão da passagem de energia, medida em W/(m2 .K), apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Transmitância térmica de paredes

Transmitância Térmica U W/m².K		
Zonas 1 e 2	**Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8**	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α ≤ 0,6
	U≤ 3,7	U ≤ 2,5

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

Para Lamberts (2011) há critérios específicos para quando não se pode medir a construção para obter a absortância à radiação solar, a seguir estão os requisitos referentes à cobertura e à parede.

A parede assume valor de absortância à radiação solar baseado na sua cor. É importante que para a análise do desempenho térmico do projeto, caso a cor não seja identificada, sejam utilizados os valores: cor clara: a = 0,3; cor média: a = 0,5; cor escura: a = 0,7.

Em relação à cobertura: o valor disponível no projeto baseado no material do telhado ou outro elemento utilizado que constitua a superfície exposta da cobertura, conforme pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 – Absortância à radiação solar (ondas curtas) e emissividade (e) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície		α	ε
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2003).

Outro critério importante é a capacidade térmica apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (CT) kJ/m².K	
Zonas 8	Zonas 1 a 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

Na parte 5 da Norma são apresentados dois critérios para descobrir o desempenho da cobertura quanto ao procedimento simplificado, que são a transmitância térmica e a absortância à radiação solar, que podem ser observadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (*U*) W/m²K					
Zonas 1 e 2	**Zonas 3 a 6**		**Zonas 7 e 8** [1)]		**Nível de desempenho**
U ≤ 2,3	α [1)] ≤ 0,6	α [1)] > 0,6	α [1)] ≤ 0,4	α [1)] > 0,4	*M*
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α [1)] ≤ 0,6	α [1)] > 0,6	α [1)] ≤ 0,4	α [1)] > 0,4	*I*
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α [1)] ≤ 0,6	α [1)] > 0,6	α [1)] ≤ 0,4	α [1)] > 0,4	*S*
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	
[1)] Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.					
NOTA O fator de ventilação (*FV*) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.					

Fonte: ABNT NBR 15575-5 (ABNT, 2013).

Segundo a ABNT NBR 15575-1(2013), os critérios associados à cobertura e às paredes seguem os requisitos apresentados no quadro 4 cujo o nível mínimo para aceitação é o M (denominado mínimo).

3.2 Norma brasileira NBR 15220 (2003)

Para Lamberts et al. (2010), a norma reúne as recomendações e diretrizes que abordam a otimização do desempenho térmico e são fundamentadas em estratégias de adaptação da edificação ao clima. Partindo desse pressuposto, os parâmetros utilizados no método simplificado mencionado na ABNT NBR 15575 (2013) são baseados na ABNT NBR 15220 (2003) e serão apresentados a seguir.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA – PAREDE E COBERTURA

$$U = 1 / RT \quad (1)$$

Onde:

U = transmitância térmica

RT = resistência térmica

FATOR DE CORREÇÃO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA - COBERTURA

$$FT = 1{,}17 - 1{,}07.h^{-1{,}04} \quad (2)$$

Onde:

FT= fator de correção de transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional)

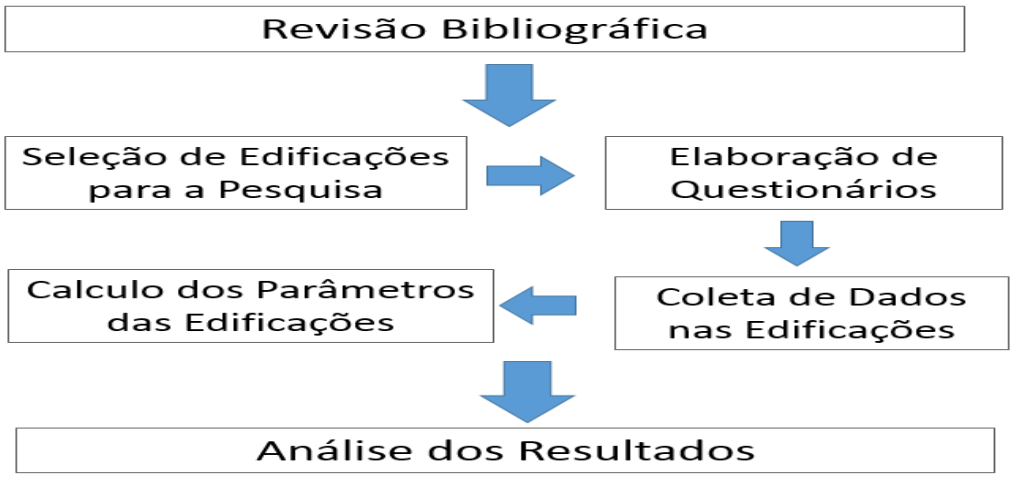
h= altura da abertura em dois beirais opostos

Nota: Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, FT=1.

4 METODOLOGIA

Segundo Araújo et al. (2008) o estudo de caso é uma abordagem metodológica de investigação especialmente adequada quando procuramos compreender, explorar ou descrever acontecimentos e contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores. Partindo desse pressuposto o estudo foi desenvolvido em etapas conforme a figura 1:

Figura 1 – Delineamento da Pesquisa



Fonte: As autoras

A primeira etapa do trabalho foi à revisão bibliográfica baseada em documentos sobre conforto térmico e em normas técnicas: ABNT NBR 15575 (2013), ABNT NBR 15220(2003). Na etapa seguinte, realizou-se a seleção das edificações a serem investigadas. Selecionou-se edificações baseadas na

ABNT 15575(2013) para atender os seguintes requisitos: a obra não deve estar em andamento, nem se tratar de uma reforma e deve ter sido construída após a primeira publicação da norma (2008).

Após a seleção das edificações, elaborou-se dois questionários: um para clientes, a fim de detectar o nível de satisfação térmica e o outro, aplicado aos responsáveis, que teve como foco obter informações sobre os materiais que compõem as edificações, e a partir destas informações pesquisar os valores de transmitância térmica, usando catálogo do INMETRO, para calcular os parâmetros de desempenho das edificações.

Após a fase das entrevistas foi possível calcular, analisar e comparar os dados obtidos e avaliar as edificações de acordo com as exigências da ABNT NBR 15575 (2013). As edificações escolhidas tiveram suas obras concluídas antes de 2013. A edificação A funciona como shopping e a B como restaurante, ambas climatizadas.

5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA ABNT NBR 15575 (2013)

Nesta fase foram agrupados os cálculos referentes ao desempenho térmico de duas edificações, baseados nos parâmetros da ABNT NBR 15575 (2013) sobre vedações verticais e cobertura, retratados nos quadros 4 e 5.

Quadro 5 - Cálculo dos requisitos da ABNT NBR 15575-4 (2013)

Valores Calculados			**Requisitos da NBR 15575 (2013)**	
Locais	Transmitância Térmica	Absortância à Radiação Solar	Transmitância Térmica	Absortância à Radiação Solar
Edificação A	2,72	0,3	≤3,7 OU 2,5	≤0,6
Edificação B	5,5	0,5	≤3,7 OU 2,5	≤0,6

Fonte: As autoras

Segundo a ABNT NBR 15220 (ABNT, 2003) Salvador situa-se na zona 8. Utilizando esse dado num comparativo com os requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013) e com o quadro 5 tem-se que a transmitância térmica nas paredes deve ser menor ou igual a 3,7 ou 2,5, enquanto que a absortância à radiação solar deve ser menor ou igual a 0,6. Embora a edificação A atenda a ambos quesitos, a edificação B só atende a um requisito.

Quadro 6 - Cálculo dos requisitos da ABNT NBR 15575-5 (2013)

Valores Calculados			**Requisitos da NBR 15575 (2013)**	
Locais	Transmitância Térmica	Absortância à Radiação Solar	Transmitância Térmica	Absortância à Radiação Solar
Edificação A	1,18	0,4	≤2,3 FV	≤0,4
Edificação B	1,75	0,75	≤1,5 FV	>0,4

Fonte: As autoras

O nível de desempenho exigido pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013) é o "M" que estabelece a U ≤ 2,3FV e absortância à radiação solar ≤ 0,4, ou ≤1,5 FV w/m2.k e α> 0,4. Observa-se no quadro 6 que a edificação A atende aos quesitos mencionados e a edificação B só atende a absortância.

Cabe destacar que os valores das transmitâncias térmicas foram obtidos através do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2013). Por falta de informações compatíveis com a situação real foram utilizadas associações por meio das funções dos materiais à obtenção das transmitâncias térmicas.

6 COLETA DE DADOS

Neste tópico são discutidos os resultados obtidos para o processo de avaliação do desempenho térmico das edificações A e B. Aplicou-se um tipo de questionário aos responsáveis de cada estabelecimento com o objetivo conhecer a sua percepção de conforto térmico e os materiais utilizados na construção das edificações e outro tipo de questionário aplicados a dois clientes com o objetivo conhecer a percepção do conforto térmico das edificações por parte do seu público.

6.1 Questionário aos responsáveis pelos estabelecimentos e Clientes

A primeira parte do questionário sobre conforto térmico abordou o nível de satisfação dos usuários para com os ambientes e a segunda parte consistiu numa coleta de dados sobre as construções, nele constam nove questões aplicadas a um responsável de cada estabelecimento, apresentadas a seguir nos quadros.

Quadro 7 – Questionário aos responsáveis sobre o conforto térmico

PERGUNTAS AOS RESPONSÁVEIS PELAS EDIFICAÇÕES A e B		
1- Como você se sente termicamente nesse ambiente?	**Edificação A**	**Edificação B**
Com frio		
Confortável	x	x
Desconfortável		
Normal		
Com calor		
2- Em sua opinião, como deveria estar o ambiente térmico para seu melhor desempenho?	**Edificação A**	**Edificação B**
Bem mais aquecido		
Um pouco mais aquecido		
Mais aquecido		
Mais refrescado		
Sem mudança	x	x
3- Como está sua tolerância quanto a este ambiente térmico?	**Edificação A**	**Edificação B**
Boa	x	x
Intolerável		
Muito difícil de tolerar		
Pouco difícil de tolerar		

Fonte: As autoras

Quadro 8 – Questionário aos responsáveis sobre características da edificação

PERGUNTAS AOS RESPONSÁVEIS PELAS EDIFICAÇÕES A e B		
4 – Qual a constituição da alvenaria?	**Edificação A**	**Edificação B**
Bloco cerâmico	x	
Bloco concreto (sical)		x
Gesso		x
Tijolo maciço	x	
5- E quanto à cobertura, qual o tipo de telha? Se não utilizar telhado, marque abaixo o que o ambiente possui:	**Edificação A**	**Edificação B**
Forro		
Laje		
Laje com isolante térmico	x	
Telha cerâmica + Forro Sonique espuma acústica + telha amianto		x
6- A ventilação natural é suficiente para longa permanência neste lugar?	**Edificação A**	**Edificação B**
Sim	x	
Não		x
7- O ambiente possui climatização (ar condicionado)?	**Edificação A**	**Edificação B**
Sim	x	x
Não		
8- Com que frequência você liga o ar condicionado?	**Edificação A**	**Edificação B**
Sempre	x	x
Às vezes		
Poucas vezes		
9- Existe uma exigência de algum órgão público de fiscalização para um restaurante/ Shopping ter ar condicionado?	**Edificação A**	**Edificação B**
Sim	x	
Não		x

Fonte: As autoras

Quadro 11 – Questionário aos clientes

PERGUNTAS AOS CLIENTES DAS EDIFICAÇÕES A e B		
1- Como você se sente termicamente nesse ambiente?	**Edificação A**	**Edificação B**
Com frio		
Confortável	x	x
Desconfortável		
Normal		
Com calor		

2- Em sua opinião, como deveria estar o ambiente térmico para seu melhor desempenho?	**Edificação A**	**Edificação B**
Bem mais aquecido		
Um pouco mais aquecido		
Mais aquecido		
Mais refrescado		
Sem mudança	x	x
3- Como está sua tolerância quanto a este ambiente térmico?	**Edificação A**	**Edificação B**
Boa	x	x
Intolerável		
Muito difícil de tolerar		
Pouco difícil de tolerar		
4 - O ambiente possui climatização (ar condicionado)?	**Edificação A**	**Edificação B**
Sim	x	x
Não		

6.2 Registro fotográfico

Registros fotográficos foram realizados nas duas edificações com o objetivo de mostrar os materiais que as compõem quanto à vedação vertical e a cobertura.

6.2.1 Edificação A

Figura 2 – Vista da laje e paredes no piso L2



Foto: As autoras.

Figura 3 – Vista da cobertura no piso L1



Foto: As autoras.

6.2.2 Edificação B

Figura 4 – Vista da Cobertura e paredes



Foto: As autoras.

Figura 5 - Fachada



Foto: As autores.

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa foram reunidos resultados oriundos dos cálculos dos parâmetros da ABNT NBR 15575 (2013) quanto a vedação vertical e cobertura em paralelo com os resultados dos questionários.

Após analisar os questionários foi possível observar que os usuários e responsáveis pelos estabelecimentos acreditam que o ambiente é confortável devido ao uso de ar-condicionado.

Visando verificar se os dados obtidos demonstram conforto térmico realizaram-se cálculos para obter o desempenho das duas edificações. Comparou-se os resultados obtidos aos requisitos da norma. Ao analisar os resultados para as vedações verticais, verificou-se que para atender os requisitos da norma de desempenho, a transmitância térmica(U) deve ser menor ou igual a 3,7 , o que significa que a capacidade de conduzir energia por unidade de área deve ser menor ou igual a 3,7 e absortância à radiação solar (α) menor ou igual a 0,6 isto é, a taxa de radiação solar absorvida pela superfície dividido pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície deve ser menor do que 0,6, estar abaixo de 60%. Os resultados mostram que o sistema de vedação da edificação A atende aos requisitos, pois obteve U= 2,72 W/m2.k e α=0,3.

Na edificação B que possui U= 5,50 W/m2.k e α=0,5, a transmitância térmica está acima de 3,7 por isso não atende ao requisito da norma. Este resultado indica que os materiais que compõem as paredes possuem a capacidade de condução de energia acima do limite estabelecido (transmitância térmica ≤ 3,7).

Por outro lado, ao avaliar o sistema de cobertura da edificação A constatou-se que está em conformidade, os resultados obtidos foram: U= 1,18W/m2.k e α=0,40, para atender aos requisitos, a transmitância térmica deve ser menor ou igual a 2,3 e a absortância à radiação solar deve ser menor ou igual a 0,4.

Enquanto que a edificação B deveria atender aos requisitos de U≤1,5 w/m2.k e α>0,4 mas isso não aconteceu, pois obteve U= 1,75W/m2.k e α=0,75. O que mostra que também na escolha do material para a cobertura da edificação B não houve a preocupação com o conforto térmico.

É possível perceber, portanto, que os parâmetros calculados para a edificação B não correspondem com a descrição de conforto térmico apresentadas nas entrevistas.

8 CONCLUSÕES

O objetivo proposto ao presente estudo de caso foi alcançado: avaliou-se o conforto térmico a partir do cálculo da transmitância térmica e absortância à radiação solar das duas edificações baseadas nos requisitos da ABNT NBR 15575 (2013) através do procedimento simplificado.

A hipótese do trabalho foi confirmada apenas para a edificação A, pois a edificação teve sua construção em 2012 e as normas brasileiras sobre conforto térmico já existiam anteriormente. Então, a construção analisada está de acordo com os parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15575 (2013) em relação à vedação vertical e à cobertura, quanto ao desempenho térmico. Desta forma, é possível garantir o mínimo de conforto térmico aos seus usuários sem o acionamento de ar condicionado. Após calcular os mesmos parâmetros para a edificação B verificou-se que ela não atende a norma ABNT NBR 15575 (2013) quanto ao desempenho térmico. Provavelmente este resultado diferente seja devido à edificação A ter investido em materiais com função de isolante térmico como poliuretano, isopor, gesso e bloco Sical.

Uma dificuldade enfrentada para a realização deste trabalho foi encontrar valores da transmitância térmica, inclusive usou-se um catálogo do INMETRO (2013); quando não encontrado o valor real do material foi adotado o valor cujas características e funções são similares. Além disso, por falta de informações sobre a descrição dos vidros utilizados pelas duas edificações, os mesmos não foram analisados.

Sugere-se a continuidade do trabalho, pois a quantidade de entrevistados foi relativamente pequena, tornando o resultado da percepção de conforto pelo usuário pouco representativo. Então, é recomendável um estudo mais aprofundado por meio dos procedimentos apontados na ABNT NBR 15220-1 (2013): a simulação computacional e a medição da edificação.

A proposta, portanto, segundo a ABNT NBR 15220 (2013) para melhorar o desempenho do sistema de vedação e cobertura da edificação B é a ventilação cruzada, que se trata da livre circulação de ar no ambiente, ou seja, se existir uma janela em uma fachada deve ter uma porta em outra fachada, ambas abertas sempre atentando para os ventos do entorno. Esta solução poderia evitar o uso de ar condicionado, que, segundo os entrevistados, não é obrigatório neste tipo de estabelecimento.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. Estudo de Caso. Métodos de Investigação em Educação. Instituto de Educação e Psicologia, Universidade do Minho, 2008. Disponível em: <http://grupo4te.com.sapo.pt/estudo_caso.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2015.

_____. **NBR 15575**: Desempenho de Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – parte 2. Rio de Janeiro, 2003.

BORGES, C. A. Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios passa a valer em 12 de maio; saiba por que ela é importante para o setor. 2010. Disponível em:<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-282364-1.aspx>. Acesso em: 10 set. 2015.

CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS. 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf> Acesso em: 10 set. 2015.

LAMBERTS, R. **Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. 2010. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2015.

LAMBERTS, R. et al. **Conforto térmico**. 2011. Disponível em:<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_1.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2015.

RUAS, A. C. **Conceituação de conforto térmico.** 1999. Disponível em:<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/biblioteca-digital/download/Publicacao/107/Conforto%20T%C3%A9rmico%20nos%20Ambientes%20de%20Trabalho-pdf>Acesso em: 3 ago. 2015.

SILVA, A. J. C. **Cobertura**. 2004. Disponível em: <http://www.tecomat.com.br/angelo/arquivos/obertura_apostila_unicap.pdf> Acesso em: 3 set. 2015.

SORGATO, M.; MELO, A.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15.575. 2013. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/viewFile/12205/8544>. Acesso em: 5 ago. 2015.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R; GÜTH, S.S; GHISI, E. Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1), Florianópolis, maio de 2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONFORTO ADAPTATIVO E PERCEPÇÃO DO USUÁRIO: CORRESPONDÊNCIAS NO ESTUDO DA BIBLIOTECA DA PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO[1]

COSTA, Débora (1); HATANAKA, Aparecida (2); NOGUEIRA, Flávia (3); PANZA, Gustavo (4); KNUDSEN, Marcelo (5)

(1) FAU-USP/IFSP, e-mail: debora.costa@usp.br; (2) FAU-USP, e-mail: cidahatanaka@gmail.com; (3) Universidade Anhembi-Morumbi, e-mail: aliottinogueira@gmail.com; (4) Piratininga Arquitetos Associados, email: gustavopanza@piratininga.com.br; (5) Escola de Engenharia Mauá, email: knubr@yahoo.com.br

RESUMO

O edifício Vila Penteado, sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU Maranhão, é uma edificação histórica tombada e opera à ventilação natural. Sua biblioteca possui características que favorecem o conforto do usuário. O presente trabalho tem o objetivo de confrontar a avaliação de conforto térmico – a partir de análises realizadas pelo método do conforto adaptativo – com a opinião e comportamento dos usuários, a fim de verificar correspondência entre o método e a percepção dos usuários da biblioteca. O trabalho foi realizado durante os meses de setembro a dezembro de 2015. Os ambientes selecionados para coleta de dados foram duas salas de leitura. Para a obtenção dos dados foram realizadas medições com termômetros de bulbo seco, de bulbo úmido, de globo e anemômetros. Para a aferição da percepção dos usuários foram aplicados questionários aos frequentadores nas mesmas datas das medições. O artigo apresenta os resultados obtidos nas coletas de dados e as correspondências entre o método do conforto adaptativo, a percepção dos usuários da biblioteca e a observação de seu comportamento. Os resultados obtidos no estudo indicam grande percentual de satisfação térmica e correspondência entre conforto adaptativo, percepção e comportamento do usuário.

Palavras-chave: Medições. Conforto Adaptativo (CA). Percepção do usuário. Biblioteca.

ABSTRACT

Vila Penteado building, headquarters of the Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU Maranhão, is a historic building tumbled and operates by natural ventilation. Its library has features that promote user comfort. This work aims to confront the evaluation of thermal comfort - from analyzes performed by the adaptive comfort method - with users opinion and behavior, in order to verify correspondence between the method and the perception of library users. The study was conducted from September to December 2015. Two reading rooms were selected for data collection. To

[1] SOBRENOME01, Nome; SOBRENOME02, Nome; SOBRENOME03, Nome. Instruções para a preparação do artigo completo para o ENTAC 2016. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

obtain the data, measurements were performed with dry bulb thermometers, wet bulb globe and anemometers. To gauging the perception of the users, questionnaires were applied on the same dates of the measurements. The article presents the results obtained in the data collection and the correspondences between the method of adaptive comfort, the perception of library users and the observation of their behavior. The results of the study indicate a large percentage of thermal satisfaction and correspondence between adaptive comfort, perception and user behavior.

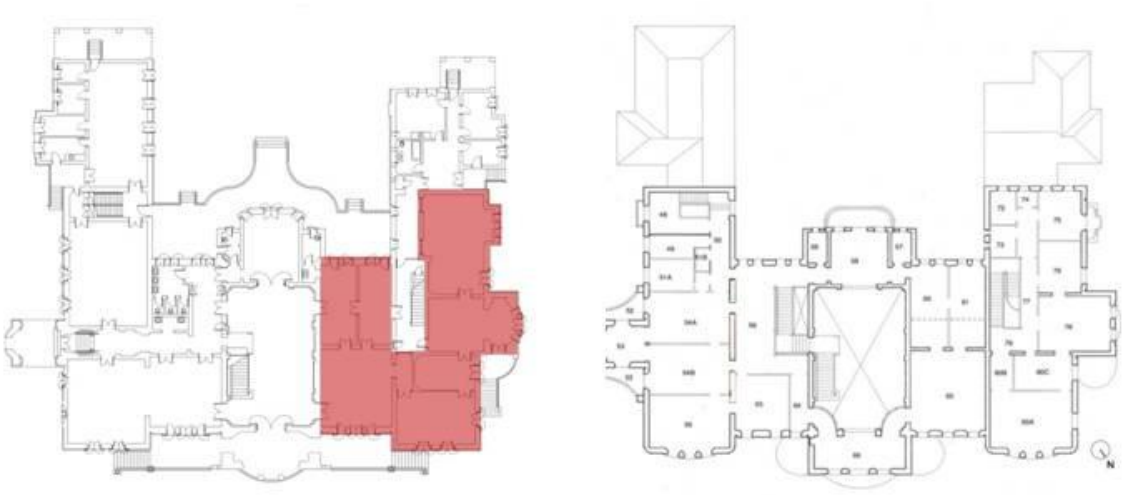
***Keywords**: Measurements. Adaptative Comfort. User perception. Library.*

1 INTRODUÇÃO

O edifício Vila Penteado, onde hoje funciona a Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU Maranhão, foi projetado por Carlos Ekman e construído no início em 1902 para servir de residência às famílias do Conde Antonio Alvares Penteado e Antônio Prado Junior. Doado à Universidade de São Paulo no final da década de 1930, em 1949 – após as necessárias adaptações pelas quais passou o espaço físico - passou a comportar a Faculdade de Arquiteutra e Urbanismo, sendo que desde 1971 abriga exclusivamente seu curso de pós-graduação.

O edifício possui três andares – porão, térreo e piso superior – e foi construído em tijolos, chegando a apresentar 50 cm de espessura em determinados pontos de sua envoltória. Possui pé direito de 5,25 m no pavimento térreo e de 4,65 m no pavimento superior. Seus grandes caixilhos, com 1,77 m de altura possibilitam uma ampla gama de variações de abertura para obtenção de controle térmico e lumínico dos ambientes. Na Figura 1 apresentam se plantas dos pavimentos térreo e superior.

Figura 1 – Plantas do edifício Vila Penteado. Pavimentos térreo e superior



Fonte: Piratininga Arquitetos Associados

Sua biblioteca – localizada na parte colorida da Figura 1- passou por uma grande reforma que recuperou a pintura original e reestruturou o espaço para que pudesse abrigar racionalmente o grande acervo, dentre livros,

teses e outros. Diariamente recebe pesquisadores das mais diversas instituições e locais, devido à importância de seu acervo para a pesquisa relacionada à arquitetura.

A biblioteca possui sete dependências, como apresentado na Figura 2. Possui duas salas de leitura e pesquisa, (2) e (6), com orientação Nordeste e Noroeste.

Figura 2 – Setorização interna da biblioteca



Fonte: Piratininga Arquitetos Associados

A sala 2 possui três janelas, com peitoril a 93 cm do piso e caixilho de 1,77 m de altura e 93 cm de largura, enquanto a sala 6 possui duas janelas, com caixilhos de 1,77 m, e 75 cm de largura, conforme Figura 3. A sala 2 recebe insolação pela manhã primordialmente, enquanto a sala 6 recebe insolação no período da tarde. Ambas as salas, no entanto, são sombreadas pelos edifícios vizinhos, recebendo na maior parte do dia somente radiação solar indireta e difusa.

Figura 3 – Salas de Leitura 2 e 6



Fonte: autores

Os ambientes das salas de leitura da biblioteca são agradáveis tanto esteticamente quanto térmica e luminicamente, oferecendo sensação de conforto para o desempenho das atividades, segundo opinião informal dos usuários de modo geral.

A sensação de conforto térmico, no entanto, é uma combinação entre fatores pessoais e ambientais. FANGER (1972) e equipe desenvolveram uma metodologia para a avaliação dos ambientes térmicos, considerando que mesmo que as condições de conforto obtidas pela equação do conforto – também desenvolvida pelo autor - sejam satisfeitas, ainda assim haverá um percentual de usuários insatisfeitos com as condições térmicas do local. Segundo a ASHRAE (2013), "conforto térmico é o estado da mente (ou estado de espírito) que expressa satisfação com o ambiente térmico". Portanto, admite-se que a sensação de conforto tenha um componente de subjetividade.

O edifício em questão – Vila Penteado – possui condicionamento passivo. Sua análise térmica, portanto, prescinde de um método apropriado a esse tipo de edificação. Segundo PEREIRA e ASSIS (2010), o método mais adequado para a avaliação de ambientes naturalmente ventilados nos climas brasileiros seria aquele proposto por DE DEAR, BRAGER, e COOPER (1998), posteriormente incluído na ASHRAE (2013). Tal método, denominado Conforto Adaptativo (CA), foi utilizado no presente trabalho para a realização do diagnóstico térmico dos ambientes das salas de leitura da Biblioteca da FAU Maranhão.

Tal método considera que há uma faixa mais ampla do que a do PMV – método apropriado para avaliação térmica de ambientes artificialmente condicionados, desenvolvido por Fanger (1972) - para a satisfação térmica dos usuários, já que estes teriam a possibilidade de alterar variáveis relacionadas aos índices de isolamento térmico da roupa e aos controles de ganho de calor da edificação, buscando atingir índices satisfatórios de conforto sem que para tanto houvesse a necessidade de utilizar o condicionamento artificial. O ser humano é visto, dessa perspectiva, como

agente que interage em todos os níveis do sistema ambiental pessoal em função da resposta térmica obtida.

De Dear e Brager (2002) consideram que as sensações térmicas sofrem influência da expectativa que se tem sobre o clima local. Assim, os parâmetros de conforto variariam conforme o contexto em que se inserem. O método se utiliza dos valores de Temperatura de Bulbo Seco Média Mensal para o ambiente externo e dos valores de Temperatura Operativa para o ambiente interno, obtidos por meio das Equações 1 e 2, para estabelecer parâmetros relacionados às sensações térmicas dos usuários nos respectivos ambientes. O cálculo da Temperatura Operatva, no entanto, pressupõe a determinação dos valores de Temperatura Radiante Média, conforme Equação 1:

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + \frac{273 + 10^8}{\varepsilon_g} + \left(\frac{|t_g - t_a|}{D}\right)^{1/4} * (t_g - t_a)]^{1/4} - 273 \quad \textbf{(1)}$$

Onde:

- D - diâmetro do termômetro de globo (m)
- Eg – 0,95 emissividade presumida do termômetro de globo
- tg - temperatura do termômetro de globo (K)
- ta - temperatura do ar (K)
- va - velocidade do ar (m/s)

A partir da determinação da Temperatura Radiante média, determinam-se as Temperaturas Operativas, conforme Equação 2:

$$t_o = (a * t_a) + (1 - a)t_r \quad \textbf{(2)}$$

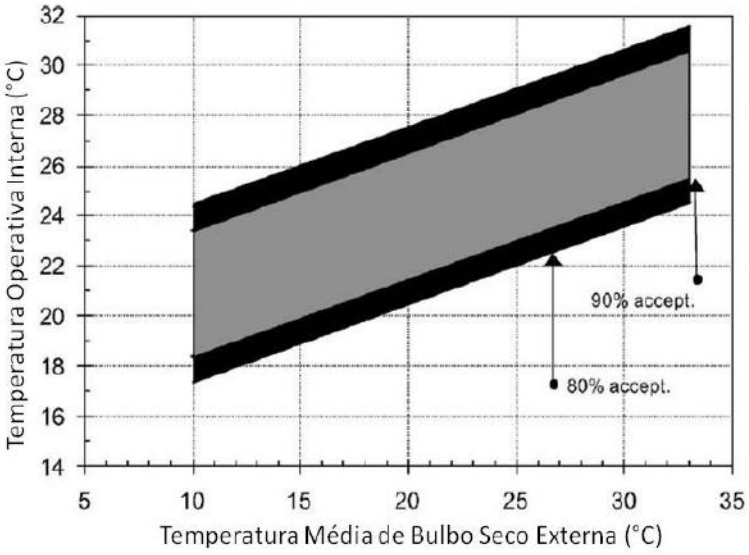
Onde:

- to – temperatura operativa (°C ou K)
- a – constante (conforme tabela)
- tr– temperatura radiante média (°C ou K)
- ta – temperatura do ar (°C ou K)

O Modelo Adaptativo estabelece uma faixa que delimita temperaturas nas quais se pode estabelecer que há sensação de conforto térmico por parte dos usuários, cujo índice de satisfação térmica alcançaria até 90% dos usuários – já que, segundo Fanger (1972), por melhores que sejam as condições de conforto térmico, haverá um percentual de insatisfeitos - , e duas faixas nas quais se estabeleceria sensação de satisfação térmica para até 80% dos usuários, sendo que a faixa localizada na porção superior

aponta para tendência ao calor e a faixa situada na porção inferior aponta para tendência ao frio, conforme Figura 4.

Figura 4 - Intervalo para Temperaturas Operativas aceitáveis para edificações naturalmente ventiladas Fonte: ASHRAE 55 (2013)



Fonte: ASHRAE 55 (2013)

Diante da situação descrita, o presente trabalho se propõe a avaliar o conforto térmico das duas salas de leitura da biblioteca da FAU - Maranhão, através da análise de dados de medições realizadas *in loco* e interpretadas segundo o método do CA, cruzando-os com informações qualitativas a respeito da percepção do usuário quanto à sensação térmica, obtidas por meio de entrevistas, com o objetivo de averiguar correspondências entre os dados medidos e interpretados e os dados obtidos por meio de entrevistas realizadas com os usuários a respeito de sua sensação térmica nos ambientes estudados, ou seja, a correspondência existente entre o método do CA e a opinião do usuário. O presente estudo não se pretende conclusivo, sendo uma pesquisa investigativa realizada com amostragem limitada, podendo, contudo, apresentar dados indicativos de correspondência entre o método do CA e as respostas dos usuários.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Medições

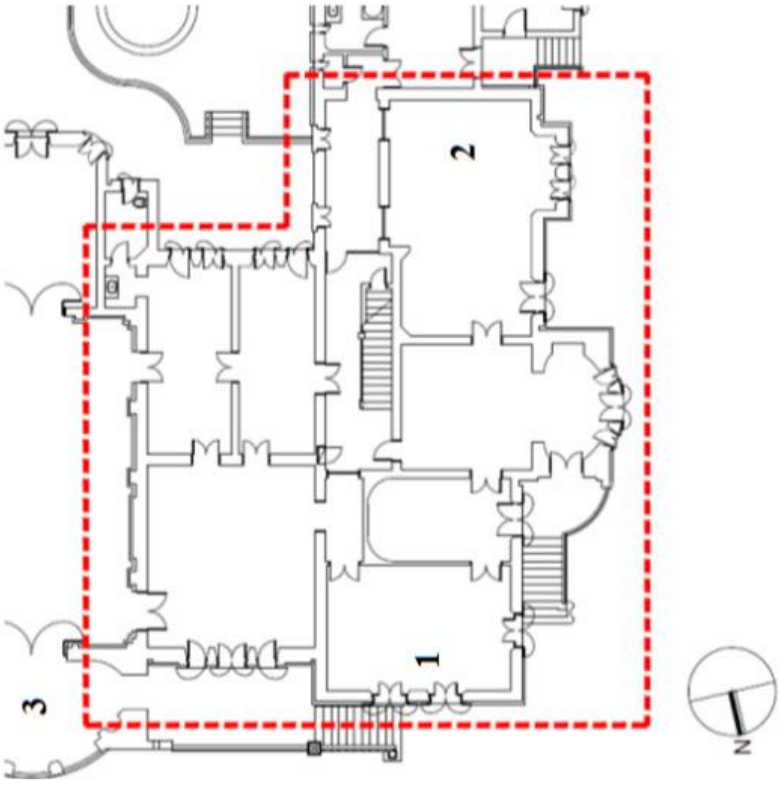
As medições foram realizadas em três etapas, em períodos de duração variada. No entanto, para que fosse possível encontrar correspondência entre as datas de medições e de aplicação de questionários, optou-se por destacar os resultados obtidos nas seguintes datas:

- 02 de outubro de 2015 – sala 1;
- 06 de novembro de 2015 – salas 1 e 2;

- 23 de novembro de 2015 – salas 1 e 2.

Foram realizadas medições em um ponto externo à edificação (3) e nas duas salas de leitura principais (1 e 2), conforme planta:

Figura 5 - Planta dos ambientes onde foram dispostos os sensores de medição



Fonte: Piratininga Arquitetos Associados

Para as medições utilizaram-se três tripés com sensores tipo HOBO, dois deles posicionados nas salas de leitura 2 e 6, enquanto o terceiro permaneceu em área externa ao edifício, recebendo eventualmente incidência de radiação solar. As medições foram realizadas conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis medidas e sensores utilizados

Variável	**Sensor**	**Especificidade**
Temperatura de Bulbo Seco (TBS)	Termômetro de Bulbo Seco	Medições internas e externas
Temperatura de Globo (TG)	Termômetro de Globo	Nas medições internas foram utilizados globos negros; Nas medições externas foi utilizado globo cinza
Umidade Relativa do Ar (UR)	Termômetro de Bulbo Úmido	Medições internas e externas
Velocidade do Vento (V ar)	Anemômetro	Medições internas e externas

Fonte: autores.

2.2 Aplicação de questionário

Para a avaliação do conforto da biblioteca sob o olhar do usuário, foram aplicados 04 questionários distintos utilizando perguntas abertas e fechadas com escala Linkert com 2, 3, 5 e 7 pontos nos dias 02 de outubro e 06 e 26 de novembro de 2015, com o total de 29 questionários.

O questionário é um conjunto de perguntas sobre um determinado tópico que não testa a habilidade do respondente, mas mede sua opinião, seus interesses. É um levantamento de dados por amostragem, permite a generalização de uma população, assegurando a representatividade (Pinheiro e Günther, 2008). A aplicação dos questionários se deu conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados sobre a aplicação dos questionários

Data	**Quantidade de questionários aplicados**	**Local a que se refere o questionário**	**Condição climática externa**
02 de outubro	12	Sala de Leitura 2	Nublado até 11h00 e ensolarado no restante do dia
06 de novembro	08	Sala de leitura 2 Sala de leitura 6	Nublado com períodos de chuva
26 de novembro	09	Sala de leitura 2 Sala de leitura 6	Ensolarado

Fonte: Os autores.

As perguntas feitas se referiam às sensações térmicas do usuário naquele espaço, bem como à solicitação de que fossem sugeridas alterações no que se refere à temperatura ambiente. Foram respondidas as perguntas apresentadas no questionário constante da Figura 6.

Figura 6 – Questionário aplicado aos usuários da biblioteca referente à sensação térmica

1. Qual tipo de atividade você exerce no ambiente?

   _____

   Por quanto tempo?

   _____

	Com muito calor	Com calor	Leve-mente com calor	Neutro	Leve-mente com frio	Com frio	Com muito frio
2. Qual a sensação térmica neste momento?							

3. Como você preferia estar se sentindo agora?

   ( ) mais aquecido ( ) assim mesmo ( ) mais resfriado

4. Como você se sente em relação ao movimento do ar neste momento?

   Aceitável ( ) pouco movimento do ar ( ) suficiente ( ) muito movimento do ar

   Inaceitável ( ) pouco movimento do ar ( ) muito movimento do ar

5. Como você preferia que o movimento do ar estivesse agora?

   ( ) mais movimento ( ) assim mesmo ( ) menos movimento

6. Marque com um X as vestimentas que você está usando:

( ) sapato com sola fina	( ) camiseta manga curta	( ) saia leve
( ) sapato com sola grossa	( ) camiseta manga longa	( ) saia comprida
( ) bota	( ) moleton	( ) vestido leve
( ) sandália aberta	( ) camisa manga longa	( ) vestido comprido
( ) sandália fechada	( ) camisa manga curta	( ) colete fino
( ) meia soquete fina	( ) camisa flanela	( ) suéter manga longa
( ) meia soquete grossa	( ) camisa leve	( ) suéter manga curta
( ) meia soquete fina	( ) camisa sem manga	( ) jaqueta leve
( ) meia calça	( ) bermuda	( ) jaqueta normal
( ) calcinha	( ) calça fina	( ) jaqueta grossa
( ) sutiã	( ) calça jeans	( ) paletó
( ) cueca	( ) calça de lã	( ) outros

Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS

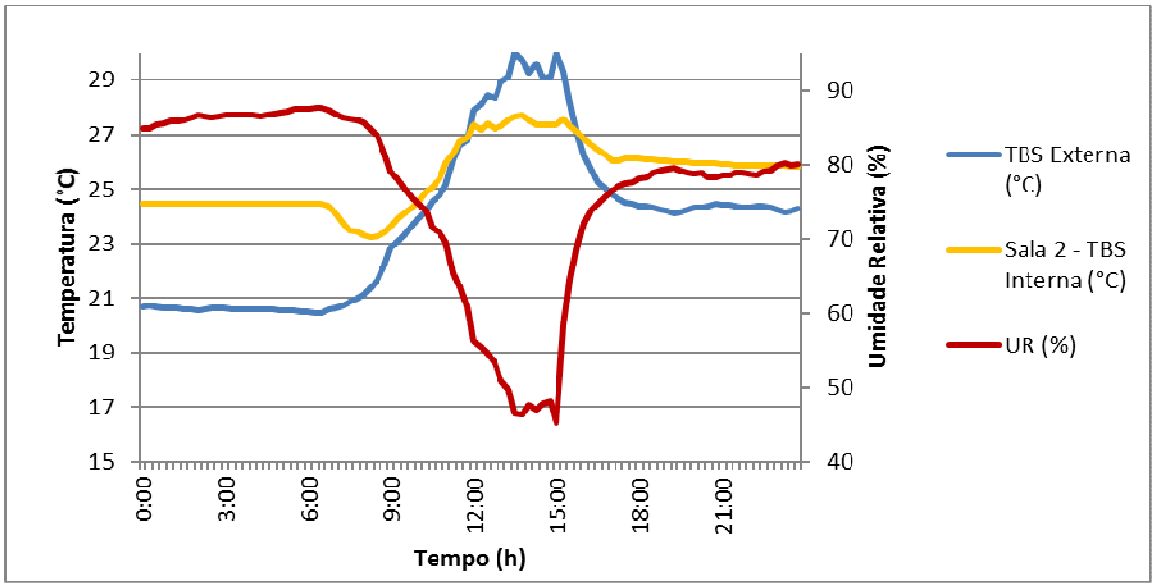
A seguir serão apresentados os resultados das medições, inicialmente apresentando-se a condição climática dos dias de medição, a seguir os resultados desses dados processados de acordo com o método do CA, passando pelo resultado obtido nos questionários para chegar, por fim, à discussão dos dados obtidos como um todo.

3.1 Descrição da condição climática nos dias de medição

As medições realizadas no dia 02 de outubro demonstram que a temperatura de bulbo seco externa (TBS Externa) atingiu o valor máximo de 30,0 ° C às 15h00min, enquanto a umidade relativa chegou aos 45,18%,

conforme Figura 7. No interior da Sala 2 a TBS máxima registrada foi 27,73° C, às 13h45min.

Figura 7 – Condições climáticas registradas na Etapa 1, dia 02 de outubro

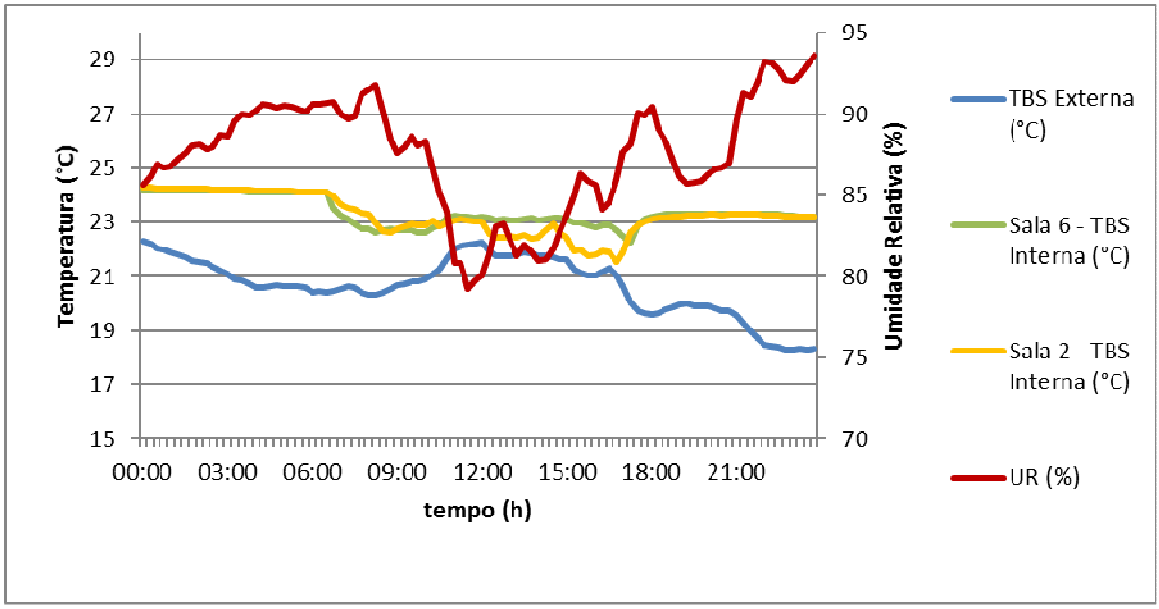


Fonte: Os autores.

Durante as medições as janelas da Sala 2 foram mantidas abertas. No entanto, pode-se observar o efeito da inércia térmica da edificação, que mesmo com a plena troca de ar com o exterior, possibilitou amplitude térmica inferior à registrada na parte externa da edificação.

No dia 6 de novembro foram realizadas medições nas Salas 2 e 6, bem como no ambiente externo. A Figura 8 apresenta os resultados, nos quais se pode observar que a TBS Externa atinge o máximo às 10h45min.

Figura 8 - Condições climáticas registradas na Etapa 2, dia 06 de novembro



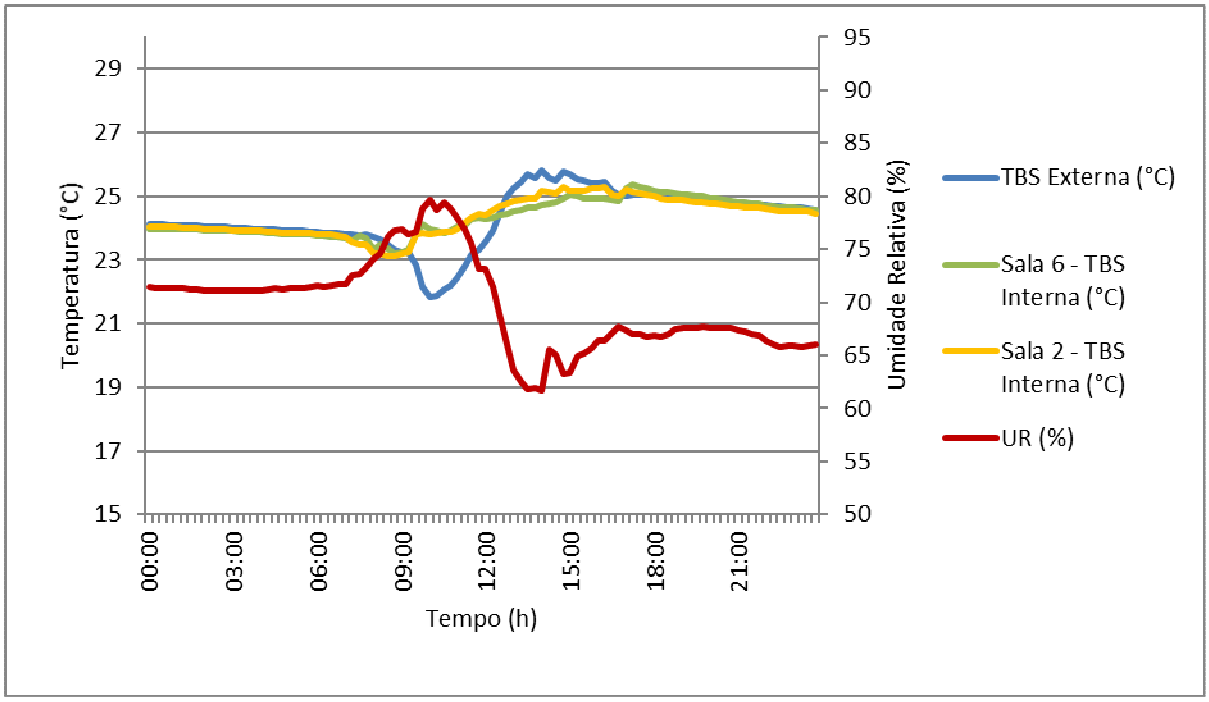
Fonte: Os autores.

Nas Salas 2 e 6 a temperatura se mantem constante durante o período noturno e – muito possivelmente – devido à abertura das janelas na parte da manhã, registra-se diminuição na TBS, já que no ambiente externo a TBS já se encontrava com valores inferiores durante toda a noite. Nota-se que durante o período da tarde a temperatura da Sala 2 apresenta-se ligeiramente infeiror à da Sala 6, em função de sua orientação solar.

Ao longo do dia as temperaturas das Salas 2 e 6 se aproximam da temperatura externa, para depois se distanciarem novamente, atingindo outra vez a constância assim que as janelas são fechadas. Ao longo do dia registra-se oscilação na umidade relativa do ar, o que denota que o dia foi chuvoso.

No dia 26 de novembro as temperaturas externa e internas se aproximaram durante o período noturno e durante o dia, no período da manhã, houve aumento de umidade relativa e diminuição da TBS Externa, como apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Condições climáticas registradas na Etapa 3, dia 26 de novembro



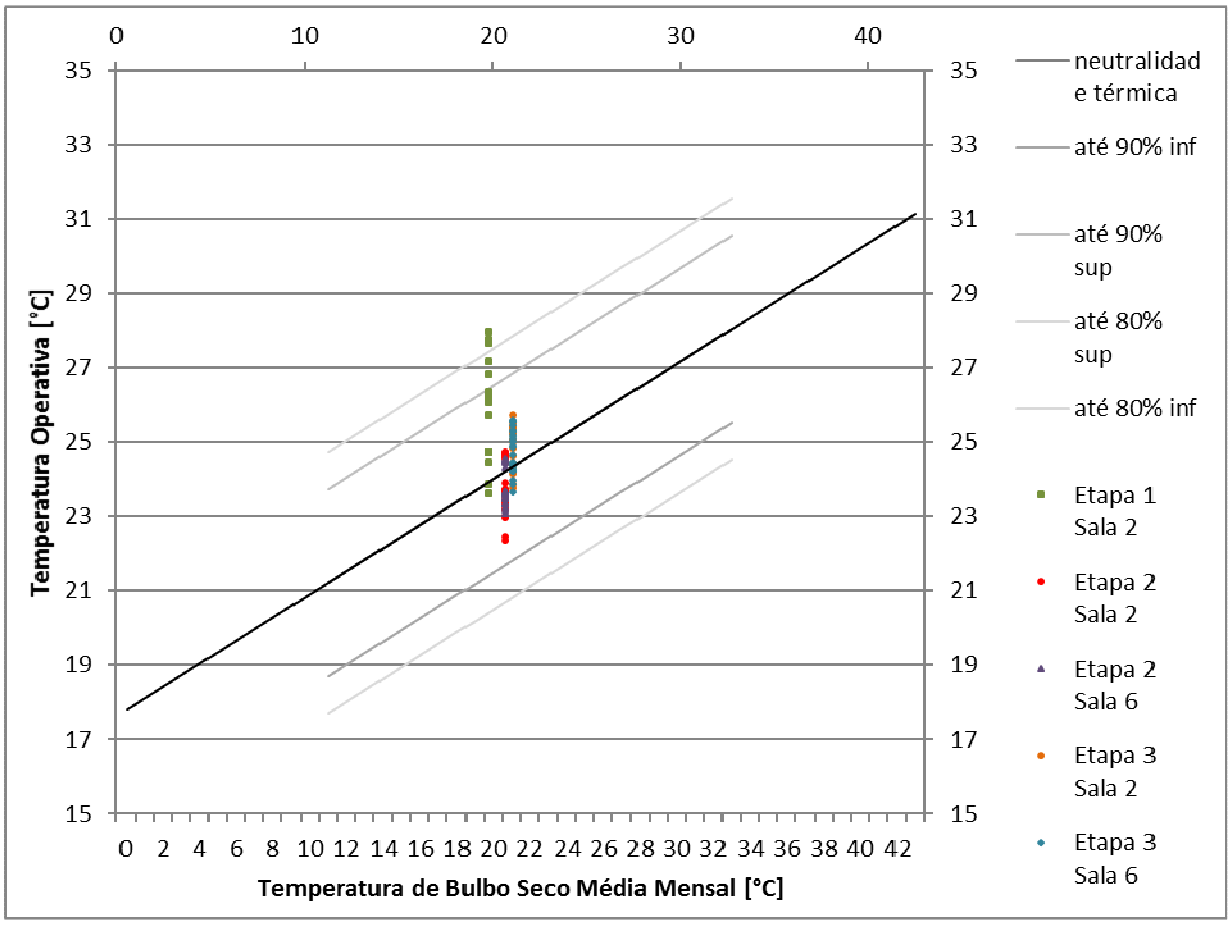
Fonte: Os autores.

Ainda que com as janelas das Salas 2 e 6 abertas, as temperaturas de bulbo seco ali medidas permaneceram mais estáveis do que as registradas no ambiente externo, evidenciando a inércia térmica proporcionada pela envoltória. Ao final do dia as temperaturas externas e internas voltam a se aproximar.

3.2 Conforto Adaptativo

A partir das medições realizadas nas três datas, realizou-se o processamento dos dados de acordo com as equações descritas no item 2, a fim de que fossem obtidos os valores de Temperatura Operativa para a determinação do índice de CA. As Temperaturas de Bulbo Seco Médias Mensais utilizadas para a determinação do índice foram obtidas a partir da base de dados do INMET, da qual se utilizou as medições registradas pela Estação Meteorológica de São Paulo, Mirante de Santana. Na Figura 10 apresentam-se os dados referentes ao índice de CA.

Figura 10 - Conforto Adaptativo: resultados das três etapas



Fonte: Os autores.

A fim de que se possam relacionar as informações registradas nas medições com os dados obtidos a respeito da percepção dos usuários por meio de questionário, optou-se por tabular os resultados obtidos por meio do método do CA de forma similar aos dados obtidos nas entrevistas. Dessa forma, serão considerados para efeito de correspondência na Tabela 2 as informações constantes do Quadro 2.

Quadro 2 - Correspondência entre terminologia utilizada no método do CA e nos questionários aplicados aos usuários

Faixa de sensação térmica constante do método do CA	Termo constante do Quadro 3 para efeito de correspondência com as respostas dos usuários
Entre os limites superior e inferior de até 90% de satisfação térmica	Neutro
Entre o limite superior de até 90% de satisfação e o limite superior de até 80% de satisfação	Levemente com calor
Entre o limite inferior de até 90% de satisfação e o limite inferior de até 80% de satisfação	Levemente com frio
Acima do limite superior de até 80% de satisfação térmica	Com calor
Abaixo do limite inferior de até 80% de satisfação térmica	Com frio

Fonte: Os autores.

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos pelo método do CA nas medições realizadas nas etapas 1, 2 e 3.

Tabela 2 – Resultados obtidos nas medições de Conforto Adaptivo (CA)

Etapas	Tabulação dos dados das medições
1ª Etapa	75% neutro 17% com calor 8% levemente com calor
2ª Etapa	100% neutro
3ª Etapa	100% neutro
Geral	95% neutro 3% com calor 2% levemente com calor

Fonte: Os autores.

De acordo com o método do CA, somente nas medições realizadas na Etapa 1, ocorrida no dia 02 de outubro foram registrados valores situados fora da faixa de 90% de satisfação térmica, com tendência ao calor. Nas Etapas 2 e 3, foram registrados valores correspondentes a até 90% de satisfação térmica nas Salas de Leitura 2 e 6 durante todo o dia de medição.

Ainda que a tabulação dos resultados parciais indique índice de até 90% de satisfação nas Etapas 2 e 3 das medições, há uma diferença sutil entre os pontos, como se observa na Figura 10, indicando que – embora dentro da faixa de até 90% de satisfação – as medições realizadas na Etapa 2 tendem a apontar levemente à condição de frio, enquanto as medições da Etapa 3 tendem à maior neutralidade.

Na tabulação geral dos resultados obtidos nas três etapas de medição, podem-se observar que 95 % dos valores medidos denotam sensação térmica de próxima da neutralidade, 2% apontam para uma sensação leve de calor, enquanto 3% apontam para sensação de calor.

3.3 Questionários

Os dados obtidos nos questionários aplicados constam da Tabela 3.

Tabela 3 – Dados sobre a aplicação dos questionários

Etapa -Data	**Quantidade de questionários aplicados**	**Qual a sensação térmica no momento**
1ª Etapa	12	59% neutro
02 de outubro		33% levemente com calor
		8% com calor
2ª Etapa	08	63% neutro
06 de novembro		25% levemente com frio
		12% levemente com calor
3ª Etapa	09	67% neutro
26 de novembro		22% levemente com frio
		11% com calor
Resultado Geral	29	66% neutro
		20% levemente com calor
		11% levemente com frio
		3% com calor

Fonte: Os autores.

Nos questionários aplicados no dia 02 de outubro, cuja amostra contou com doze usuários, houve registro de sensação de neutralidade térmica decladara por 59% dos usúarios, enquanto 33% declararam sentir–se levemente com calor e 8% com calor. Os usuários que declararam sentir calor ou levemente calor, responderam os questionários após às 11h45min.

Os questionários aplicados no dia 06 de novembro, com amostra composta de oito usuários indicam sensação de neutralidade térmica decladara por 63% dos usúarios, enquanto 25% declararam sentir–se levemente com frio e 12% levemente com calor. Os usuários que declararam sentir-se levemente com frio responderam os questionários entre 14h e 14h15min e o usuário que declarou sentir-se levemente com calor, respondeu ao questionário às 14h42min.

Os questionários aplicados no dia 26 de novembro, cuja amostra conta com 09 usuários, indicam sensação de neutralidade térmica decladara por 67% dos usúarios, enquanto 22% declararam sentir–se levemente com frio e 11%

levemente com calor. Os usuários que declaram sentir levemente com frio responderam os questionários entre 10h35min e 11h45min e o usuário que declarou sentir-se com calor, respondeu ao questionário às 12h20min.

Na compilação do resultado dos 29 questionários aplicados, a análise geral da percepção da sensação térmica nos ambientes aponta sensação de neutralidade térmica foi declarada por 66% dos usuários, levemente com calor para 20%, levemente com frio para 11% e com calor para 3%.

3.4 Discussões

Quando se comparam os resultados das etapas de medição e aplicação de questionário separados por dias de medição, pode-se notar que nos dados correspondentes ao dia 02 de outubro há similaridade entre os resultados obtidos pelos dois métodos. Nos gráficos pode-se notar a predominância de registros relacionados à sensação de neutralidade térmica (75% segundo o CA e 59% segundo a resposta dos usuários) acompanhado de tendência ao calor (8% e 17% contra 33% e 8% para levemente com calor e com calor segundo CA e resposta ao questionário, respectivamente).

Já os resultados correspondentes ao dia 06 de novembro pelo método do CA apontam para 100% dos pontos localizados dentro da faixa correspondente a até 90% de satisfação térmica, o que equivaleira à categoria "neutro" segundo o Quadro 2. Segundo o CA, no entanto, ainda que dentro dessa faixa, nota-se pequena tendência de registro de sensação térmica leve de frio, já que os pontos situam-se abaixo da linha de neutralidade térmica, alguns aproximando-se do limite de até 80% de satisfação para o frio. Os registros correspondentes às respostas dos usuários apontam maior percentual relacionado à sensação de neutralidade (63%), 25% de sensação leve de frio e 12% de sensação leve de calor. Considera-se que em linhas gerais haja correspondência entre os resultados obtidos pelos dois métodos, ainda que com a existência de resultado apontando para a sensação de calor.

No dia 26 de novembro os resultados obtidos pelo método do CA se apresentam 100% dentro da faixa de até 90% de satisfação térmica. Todos os pontos registrados encontram-se próximos à linha da neutralidade térmica. Os resultados obtidos por meio dos questionários, no entanto, apontam para a predominância da sensação térmica de neutralidade (67%), mas apresentam registros correspondentes à leve sensação de frio (22%) e à sensação de calor (11%).

Como resultado geral, de acordo com o que se apresenta nas Figuras 14 e 18, ambos os métodos apontam para a predominância da sensação térmica de neutralidade (95% contra 66% entre o CA e os questionários, respectivamente). Segundo o método do CA, não houve registros de sensação leve de frio ou de frio, mas registrou-se 2% de sensação leve de calor e 3% de sensação de calor. As respostas dos usuários apontam para o total de 11% de sensação leve de frio, 20% de sensação leve de calor e 3%

de sensação de calor – a última coincidindo exatamente com o resultado obtido pelo outro método.

O trabalho foi realizado em um local de uso que pode ser esporádico, e seu usuário muitas vezes advem de outras localidades, com climas diversos. Essa característica abre possibilidade de questionamento quanto à completa validade do método de conforto adaptativo para determinados programas de uso, uma vez que esse considera a temperatura média mensal de bulbo seco externa como uma das variáveis para a determinação do índice de conforto adaptativo do usuário.

Outra indagação sobre o método do CA refere-se ao tipo de edificação a ser estudada, ou mais propriamente às suas características de inércia térmica. Nas edificações com baixa inércia, a temperatura do ar interno pode oscilar de forma considerável no decorrer de um dia, de acordo com a incidência de radiação solar. Nesses casos, seria adequado considerar como input a média mensal de TBS, como pressupõe o CA para atribuir um índice de conforto adaptativo?

4 CONCLUSÕES

Em linhas gerais os resultados apontam para a confluência entre os métodos adotados para esse trabalho, mesmo com algumas discrepâncias, principalmente registradas na tabulação geral de ambos.

Seria desejável que tal investigação pudesse ser ampliada para que os pontos irrelevantes estatisticamente não aparecessem com alto percentual, como se observou na tabulação dos resultados obtidos por questionários, nos quais, em algumas situações, a resposta de um único usuário correspondeu a 12% no resultado final. Tal fator foi uma das dificuldades encontradas durante a execução, já que a biblioteca – ainda que muito relevante – recebe um número reduzido de usuários diariamente - muitas vezes advindos de outras localidades, com climas diversos - em comparação a outras bibliotecas maiores ou de acervo mais generalista.

As diferenças existentes entre os resultados obtidos pelos dois métodos apontam para a noção de que a sensação de conforto em uma edificação compreende aspectos que vão além daqueles aspectos objetivos, passíveis de medição, se a arquitetura for considerada em sua complexidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores da disciplina Critérios para Adequação Climática das Edificações do curso de pós-graduação do programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e ao técnico em instrumentação Ranieri C. Higa pela dedicação e apoio durante o processo de execução desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. ASHRAE STANDART 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. . 2013.

DEAR, R. J. DE; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549–561, 2013.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference FINAL REPORT ASHRAE RP - 884. 1998.

FANGER, P.O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.** New York: McGraw-Hill, 1972.

PEREIRA, I.M.; ASSIS, E.S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. n.1, p. 31–51, mar. 2010.

PINHEIRO, José de Queiroz; GÜNTHER, Hartmut (organizadores). **Métodos de pesquisa nos estudos pessoa-ambiente**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2008.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA GESTÃO PÚBLICA COMO FERRAMENTA AUXILIAR PARA CONTRATAÇÃO DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA[1]

OLIVEIRA, Wagner Costa (1); CUNHA, Eduardo Grala da (2)

(1) UFPel, e-mail: wenver@gmail.com; (2) UFPel, e-mail: egcunha@terra.com.br

RESUMO

Este trabalho faz parte de uma pesquisa de mestrado sobre eficiência energética de edificações públicas de uma Instituição Federal de Ensino Superior. Neste estudo, avalia-se a possibilidade da utilização da simulação computacional como subsídio para a contratação de tarifas de energia elétrica, além de avaliar diferentes condições de uso das edificações, visando a maior economia. Utilizando o software EnergyPlus 8.3, modelou-se um prédio administrativo da IFES estudada. Foram testados dois cenários de ocupação, considerando expedientes de 40 e 30 horas semanais, respectivamente. Na configuração das tarifas, utilizou-se o modelo tarifário da Resolução Normativa nº 414 da ANEEL, bem como os valores praticados pela concessionária de energia do Estado. As simulações apontaram que o cenário do expediente de 30 horas semanais acarretou um menor consumo de energia e demanda de potência. Também se verificou que a contratação da Tarifa Verde se mostrou mais vantajosa economicamente para ambos os cenários. Demonstrou-se ainda que a economia de energia alcançada no segundo cenário não se refletiu em economia financeira na mesma proporção. O trabalho contribui para validar a simulação como ferramenta de gestão, verificando o impacto de diferentes agendas de ocupação e na definição da demanda a ser contratada junto à concessionária, evitando taxas excessivas.

Palavras-chave: Simulação computacional. Tarifas de energia. Edifícios públicos.

ABSTRACT

This paper is part of a master's research about energy efficiency in public buildings of a Federal University. In this study, the goal is to evaluate the possibility of using computational simulation as a tool to manage the process of hiring electric energy tariffs, and as a way to evaluate diverse occupation conditions in buildings, aiming to achieve maximum economy. Using the software EnergyPlus 8.3, after modeling a real university office building, two occupation scenarios - considering 40 and 30 office-hour weeks, were tested. In the tariff settings, the charges from the national regulatory authority (ANEEL), as well as the charges applied by the local electric utility company were considered. Simulations indicated that the 30 office-hour week showed lower energy consumptions and power demand. It was also verified that in both cases the Green Tariff model was cheaper than the other tariff models available. Finally, it was demonstrated that the energy economy achieved in the 30 office-hour week was not reflected in the tariff values on the same proportion. This work contributes to validate the use of computational simulation as a management tool, verifying the impact

[1] OLIVEIRA, Wagner Costa; CUNHA, Eduardo Grala da. Uso da simulação computacional na gestão pública como ferramenta auxiliar para contratação de tarifas de energia elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

of different occupation schedules and on the definition of the power demand hired from the electric utility company, thus avoiding excessive taxes.

***Keywords**: Computer simulation. Energy tariff. Public buildings.*

1 INTRODUÇÃO

A Instrução Normativa nº 2 de 2014, promulgada pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, determina que os projetos de edificações públicas federais, bem como os retrofits, devem ser desenvolvidos buscando a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de Projeto nível "A". Fica evidente a crescente preocupação do Governo Federal com a redução do consumo de energia elétrica no setor público, o qual corresponde a 8,0% do consumo total do País, segundo o Balanço Energético Nacional de 2015.

A simulação computacional é uma ferramenta capaz de auxiliar no processo de projeto de uma edificação eficiente. Através da análise de uma alternativa de projeto, é possível verificar o desempenho térmico do edifício projetado, assim como seu consumo energético total. Com estes dados em mãos, o projetista pode promover alterações na proposta arquitetônica e realizar uma nova simulação, de forma a obter um resultado cada vez mais eficiente (LAMBERTS et al, 2014).

Também é possível utilizar os programas de simulação de eficiência energética para averiguar o impacto de diferentes formas de ocupação no conforto térmico, no consumo de energia do prédio e nos custos da energia utilizada. Variações na densidade de ocupantes e nos horários de ocupação acarretam mudanças nos padrões de uso da energia elétrica, o que por sua vez traz diferenças nos valores das respectivas tarifas, devido ao modo de cobrança.

A tarifação de energia elétrica obedece à Resolução Normativa (RN) nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Segundo esta normativa, são vários os custos integrantes da fatura de energia elétrica: geração, transmissão, distribuição, encargos setoriais, tributos e outros (taxas de serviços específicos, por exemplo).

Para edificações não residenciais e com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3kV ou atendidas por sistema subterrâneo de distribuição, há a opção entre três modalidades tarifárias diferentes. A principal diferença relaciona-se com a existência de um período do dia chamado de horário de ponta, no qual o consumo de energia na rede elétrica é maior e, portanto, os custos são mais elevados. Este horário, definido pela concessionária de energia, é das 18:00 às 21:00 (19:00 às 22:00, durante o horário de verão). As diferentes modalidades disponíveis para escolha do consumidor são as seguintes:

- **Tarifa Binômia:** tem um único valor para a energia consumida e outro para a demanda contratada, independente do horário de utilização;
- **Tarifa Verde:** apresenta dois valores para a energia, dependendo do

horário de consumo, e um único valor de demanda contratada;

- **Tarifa Azul:** possui custos diferenciados para a energia e para a demanda, de acordo com o horário de utilização.

Além do horário, outra questão importante a ser analisada é a demanda contratada. De acordo com a RN 414, a demanda contratada deve ser integralmente paga, independentemente de sua utilização ou não. Além disso, caso a demanda utilizada seja superior à contratada, é cobrada uma sobretaxa sobre o valor excedente. Assim, é imprescindível conhecer as características de utilização de energia do edifício, para que se possa escolher a tarifa mais econômica, em termos financeiros.

2 OBJETIVOS

Através do uso de simulações computacionais realizadas com o software Energy Plus 8.3, o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de utilização da simulação computacional para a adequada contratação de tarifas de energia elétrica, visando a maior economia financeira possível.

3 METODOLOGIA

A pesquisa tem uma ênfase quantitativa, e utiliza a simulação computacional como estratégia. O método é caracterizado em 5 etapas: definição da edificação base para o estudo, modelagem da edificação, configuração das condições de uso e ocupação, configuração dos parâmetros das tarifas energéticas e análise de resultados.

As etapas de modelagem do edifício foram realizadas no software SketchUp com o *plugin* Legacy Open Studio versão 1.0.13. Após a modelagem foram inseridas as configurações para as simulações.

A seguir, foram configurados os parâmetros das tarifas energéticas de acordo com a Resolução normativa nº 414/2010 da ANEEL, utilizando os campos do grupo *Economics* no EnergyPlus.

Foram feitas as simulações considerando duas hipóteses de ocupação do edifício. Na primeira, considerou-se o padrão atual, com um expediente de oito horas, dividido em dois turnos de quatro horas com ocupação total, com um intervalo de uma hora e meia entre eles. O segundo caso estudado considerou um expediente contínuo de 12 horas, porém com ocupação parcial do edifício, simulando assim uma situação de flexibilização da jornada de trabalho dos funcionários da instituição.

3.1 Caracterização física do edifício

Para a realização do estudo, foi escolhido o prédio administrativo da Pró-Reitoria de Infraestrutura (PROINFRA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). A edificação de dois pavimentos possui área de 286,41m² no térreo e 357,58m² no pavimento superior, e está localizada em uma cidade pertencente à Zona Bioclimática 3. As plantas do prédio estão representadas

na Figura 1.

Figura 1 – Plantas baixas dos pavimentos da edificação



Fonte: Autores

O Quadro 1 apresenta as características físicas dos materiais empregados na edificação, e os valores que foram utilizados na simulação.

Quadro 1 – Caracterização dos materiais empregados

Material	**Espessura (cm)**	**ρ (kg/m³)**	**λ (w/(m.K))**	**c (J/(kg.K))**
Tijolo maciço	11	2000	1,05	920
Tijolo furado	11	2000	1,05	920
Reboco interno e externo	2	2000	1,15	1000
Gesso acartonado	1,25	900	0,35	840
Lã de rocha	7	90	0,045	750
Azulejo	0,5	2000	1,05	920
Basalto	2	2700	1,6	840
Piso vinílico	0,32	2180	0,2	960
Piso cerâmico	1	2000	1,05	920
Forro fibramineral	1,4	280	0,063	590
Laje e contrapiso	10	2400	1	1000
Telha metálica	0,1	2700	55	880
EPS (Isopor)	3	25	0,035	1420
Madeira (portas)	2,54	608	0,15	1630

Fonte: Adaptado de ABNT (2005)

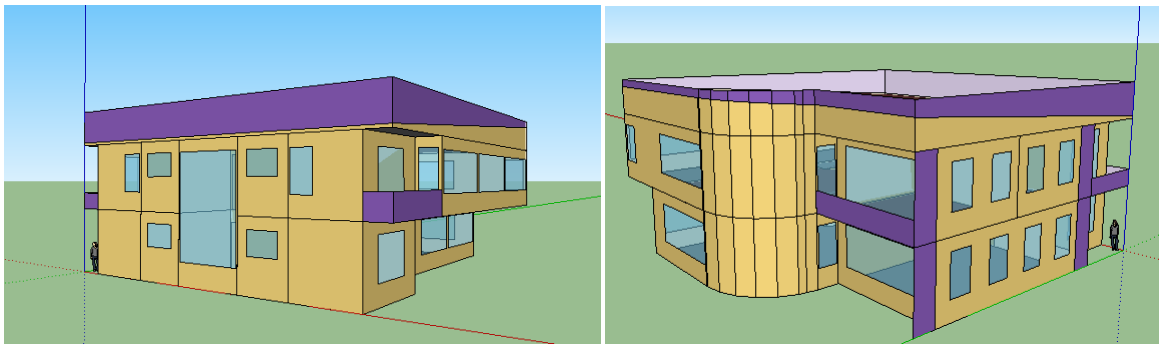
Como o software escolhido para as simulações define o envelope da edificação através de camadas homogêneas, foi necessário calcular paredes equivalentes para os diferentes sistemas de alvenaria presentes no edifício.

A seguir, serão descritos os principais componentes do envelope da edificação:

- **Paredes externas:** foram utilizadas duas configurações: paredes simples, composta de tijolos furados e reboco pintado em ambas as faces, ou paredes duplas, com tijolos maciços aparentes na face externa e tijolos furados com reboco interno, tendo um colchão de ar de 6cm entre as camadas;
- **Paredes internas:** apresentam-se em gesso acartonado com chapas de 12,5mm recheadas com lã de rocha ou paredes de tijolos furados, com reboco em ambas as faces ou com aplicação de azulejo em uma delas, no caso dos banheiros;
- **Pisos:** foi utilizado piso vinílico com 3,2mm de espessura nos ambientes de trabalho, basalto regular nas circulações e sacadas e piso cerâmico nos sanitários e na copa. Os pisos foram assentados sobre uma camada de 10cm de concreto, tanto no térreo (contrapiso) como no pavimento superior (laje);
- **Forros:** em ambos os pavimentos, é de fibra mineral com camada de ar de 60cm de espessura entre o revestimento e a laje;
- **Cobertura:** o edifício é coberto com telha trapezoidal em galvalume, com isolante térmico em EPS;
- **Esquadrias:** as janelas, assim como a porta externa, possuem perfis de alumínio com vidro temperado verde, com 8mm de espessura. As portas internas são em compensado, com bandeiras de vidro comum transparente com 4mm.

A Figura 2 apresenta duas imagens do modelo criado durante a etapa descrita.

Figura 2 – Imagens do modelo de simulação



Fonte: Autores

3.2 Caracterização da ocupação do edifício

Foram estabelecidas duas agendas alternativas para a ocupação do prédio, a fim de analisar o impacto de diferentes padrões de utilização do prédio no consumo e nos custos de energia da edificação.

Na primeira hipótese, correspondente ao padrão atual (no qual os

funcionários da Universidade cumprem um expediente de 40 horas de trabalho semanais), o uso da edificação se dá nos dias de semana (de segunda à sexta-feira) das 7h às 19h e nos sábados das 7h às 13h, não havendo ocupação nos domingos e feriados.

O percentual de ocupação foi definido de acordo com a utilização do prédio: nos dias de semana, para o intervalo que compreende entre as 7h e 8h foi considerada uma ocupação de 20%. O período compreendido entre as 8h e às 12h, bem como o intervalo entre as 13:30h e as 17:30h, teve uma ocupação considerada de 100%. No período compreendido entre as 12h e 13:30h, teve uma ocupação considerada de 25%, correspondente aos funcionários que almoçam no prédio. Também foi configurada a ocupação considerando 50% no intervalo entre às 17:30h e 19:00h. Nos sábados, para o período ocupado, foi configurada uma ocupação de 10%.

Na segunda hipótese de ocupação da edificação, a ocupação do edifício nos dias de semana ocorre das 7h às 21h. No período entre 8h e 20h, foi considerada uma ocupação contínua de 50% da força de trabalho, correspondente à equipe de trabalho dividindo-se em dois expedientes contínuos de 6h cada. Dessa forma, os trabalhadores cumprem uma jornada de 30 horas semanais.

Por se tratar de uma edificação com uso administrativo, que funciona normalmente durante o ano inteiro, não foi considerada a redução de população durante os períodos de férias da universidade.

As demais características referentes à ocupação, uso, equipamentos e operação do edifício foram definidas nesta etapa, de acordo com os critérios apresentados a seguir.

- **Atividade:** A taxa de calor liberado pela atividade dos ocupantes do prédio foi configurada a partir da tabela C.1 da NBR 16401/2008, sendo adotado o valor de 130W por pessoa, correspondente a atividade moderada em trabalhos de escritório. A população no edifício foi definida através dos parâmetros estabelecidos na NBR 9077/2001. O prédio foi considerado como categoria D-1 quanto a sua ocupação, sendo recomendado, para efeitos de cálculo, que seja considerada uma pessoa para cada 7,00m² de área;
- **Ventilação natural:** foi ajustada para cada uma das aberturas da edificação. Foi considerada sua utilização para resfriamento do edifício, quando a temperatura interna está pelo menos 2ºC acima da temperatura externa. A ventilação natural é utilizada somente na parte da manhã, até as 10 horas, quando é acionado o ar condicionado da edificação e as janelas são fechadas. Como o acionamento do condicionador de ar é feito pelos próprios usuários, em cada ambiente de trabalho, e os postos de trabalho estão distribuídos de forma que cada janela tenha pelo menos uma pessoa por perto, é possível garantir que estas não ficarão abertas no momento em que o sistema for acionado para resfriar o ambiente;
- **Condicionamento artificial:** o sistema de ar condicionado do prédio foi

configurado para ser dimensionado automaticamente para cada um dos compartimentos do edifício onde são desenvolvidas atividades de trabalho, excluindo-se assim as circulações, a copa, a escada e os banheiros. Foram considerados aparelhos do tipo split reverso com COP nível A, acordando com INMETRO. Os setpoints de refrigeração e aquecimento foram estabelecidos em 25°C e 21°C, respectivamente. Nos meses mais quentes, os equipamentos são acionados às 10 horas da manhã; no período frio, eles são acionados às 8 horas. Em ambos os casos, o sistema é desligado meia hora antes do final do expediente de trabalho;

- **Iluminação artificial:** a taxa de dissipação do calor pela iluminação foi definida através da Tabela C.2 da NBR 16401/2008, considerando-se 16 W/m² para escritórios utilizando iluminação fluorescente. As lâmpadas utilizadas no projeto são do tipo fluorescente tubular, embutidas no forro. Nos ambientes onde não são realizadas atividades de trabalho, foi utilizada uma taxa de dissipação de 8 W/m². A iluminação artificial do edifício não é do tipo dimerizada;
- **Equipamentos de trabalho:** para definição da taxa de dissipação de calor dos equipamentos de trabalho, utilizou-se a Tabela C.6 da NBR 16401/2008, que estabelece um valor de 21,5 W/m² para um posto de trabalho a cada 7,7m², valor próximo do utilizado para a definição da população.

3.3 Simulação

Para os procedimentos de simulação, foi utilizado o arquivo climático da cidade de Porto Alegre, representando a Zona Bioclimática 3, conforme a NBR 15220/2005 (ABNT).

Para cada uma das hipóteses testadas, foram obtidos os dados de consumo energético mensais para cada um dos sistemas do edifício (iluminação, equipamentos, aquecimento e resfriamento do sistema de condicionamento de ar), bem como a demanda de potência máxima verificada em cada um dos meses. Também foram obtidos os dados referentes aos valores de contratação de energia elétrica de cada uma das tarifas configuradas (Binômia, Verde e Azul). Os valores das tarifas foram configurados conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores das tarifas de energia

Tarifa	Demanda (R$/kW)		Consumo (R$/kWh)		Impostos (PIS, COFINS, ICMS)
	Ponta	Fora de ponta	Ponta	Fora de ponta	
Binômia	-	36,93	-	0,41367	38,217%
Verde	-	15,50	1,15	0,40172	
Azul	29,76	15,50	0,35	0,40172	

Fonte: Autores

Após a análise dos valores globais das tarifas para cada uma das hipóteses,

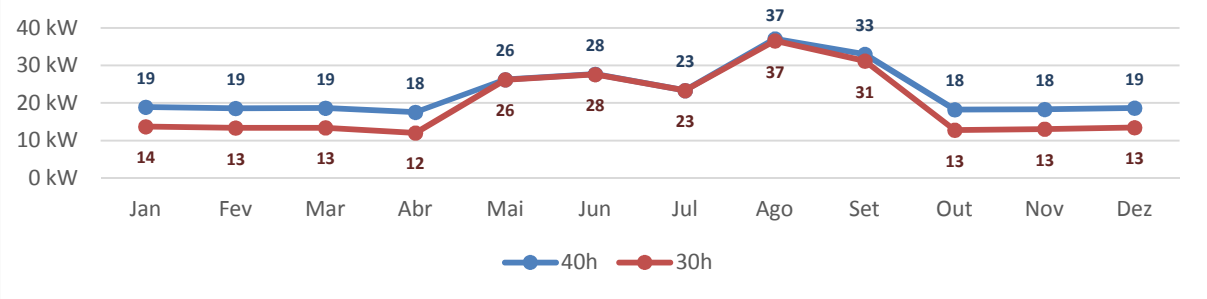
fez-se uma análise detalhada daquela que se mostrou mais vantajosa para cada um dos casos, verificando os valores mensais cobrados pela demanda e energia nos horários de ponta e fora de ponta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consumo de energia

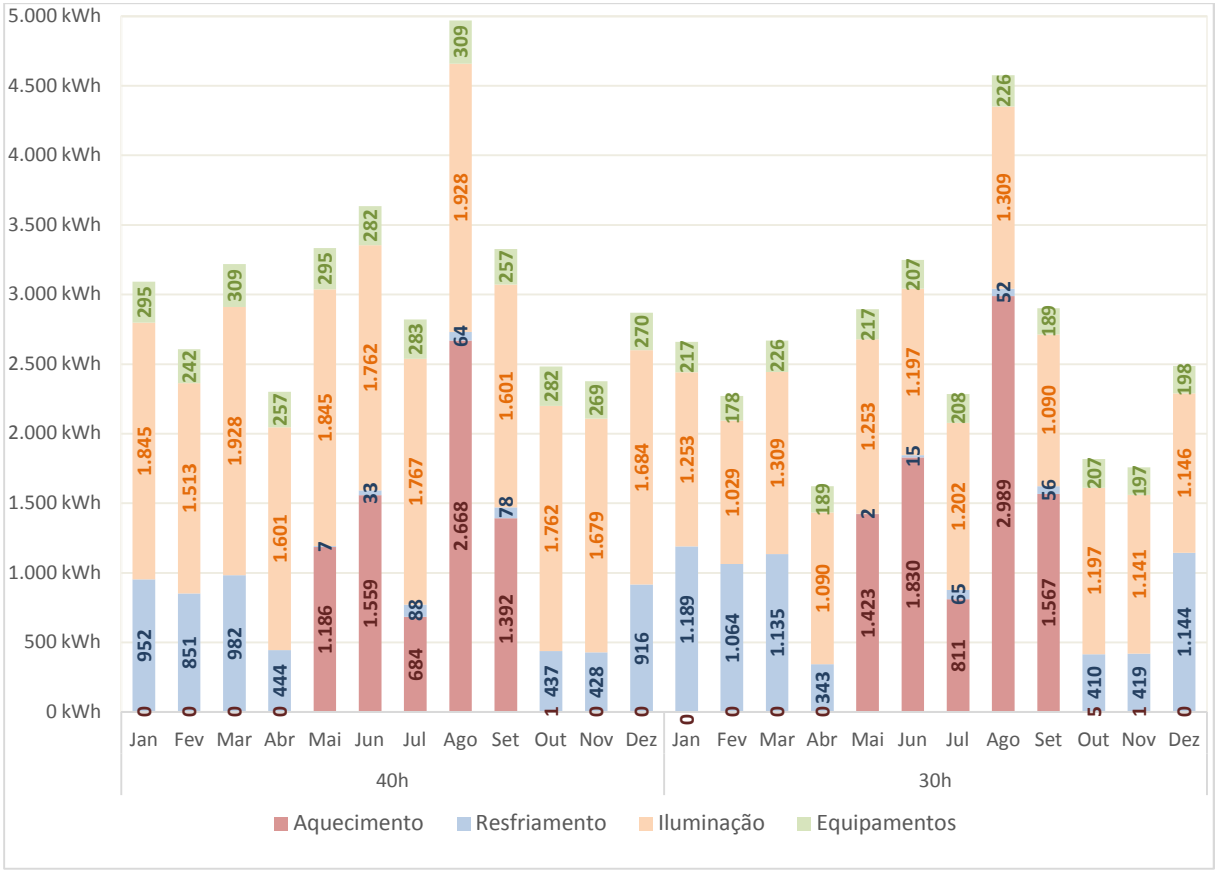
Os Gráficos 1 e 2 a seguir apresentam os dados a respeito do consumo de energia da edificação, nas duas situações de ocupação avaliadas. São demonstrados os valores mensais da demanda máxima, bem como o total de energia consumida por mês, de acordo com seu uso final, para cada uma das hipóteses.

Gráfico 1 – Comparação das demandas máximas mensais nos dois casos



Fonte: Autores

Gráfico 2 – Comparação do consumo de energia mensal, por uso final, nos dois casos



Fonte: Autores

Comparando os dados referentes a cada uma das situações de ocupação, verifica-se que o segundo caso, considerando a jornada de 30 horas semanais, apresenta valores menores nas demandas máximas mensais, bem como um consumo energético menor. Em relação a demanda, observa-se que nos meses mais quentes, quando o sistema de ar condicionado é utilizado somente para resfriamento, as demandas são entre 5 e 6kW menores que a da outra alternativa; nos meses mais frios, as demandas acabam sendo iguais na maioria das vezes. Também se percebe que a demanda, nas duas hipóteses de ocupação verificadas, é maior nos meses em que o aquecimento do ar condicionado é mais utilizado.

Ainda em relação à demanda, percebe-se uma grande amplitude de valores dentro de cada uma das hipóteses de ocupação. Nota-se uma relação direta com o aumento da utilização do ar condicionado para aquecimento (que começa no mês de maio, estendendo-se até outubro) e o aumento da solicitação de demanda. O valor máximo chega a ser mais de 200% maior que o valor mínimo, e até 85% maior que a média dos valores mensais, considerando-se o expediente de 30 horas semanais.

Em relação ao consumo de energia elétrica, a situação do expediente de 30

horas semanais apresenta consumos mensais menores em relação ao primeiro caso, apesar de demonstrar, em quase todos os meses, um consumo mais elevado nos sistemas de condicionamento de ar. Isto se deve, principalmente, à extensão do horário de funcionamento do edifício, fazendo com que o sistema fique ligado por mais tempo para atender às necessidades dos usuários. A redução de consumo mensal varia entre 7,91% (em agosto) e 29,54% (em abril, quando ocorre o menor consumo total do sistema de condicionamento de ar, no segundo caso). O consumo total de energia do prédio é 15,77% menor na simulação considerando a jornada de 30 horas semanais.

4.2 Tarifas de energia

Após análise dos dados obtidos sobre as demandas máximas totais com as simulações anteriores, foi definida a contratação de uma demanda de 30kW para ambos os casos, nas três tarifas. No caso da tarifa azul, foi estipulada a contratação de 10kW para a demanda no horário de ponta.

Os valores totais das tarifas de energia elétrica para ambos os casos estão relacionados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores totais das tarifas de energia elétrica nos dois casos

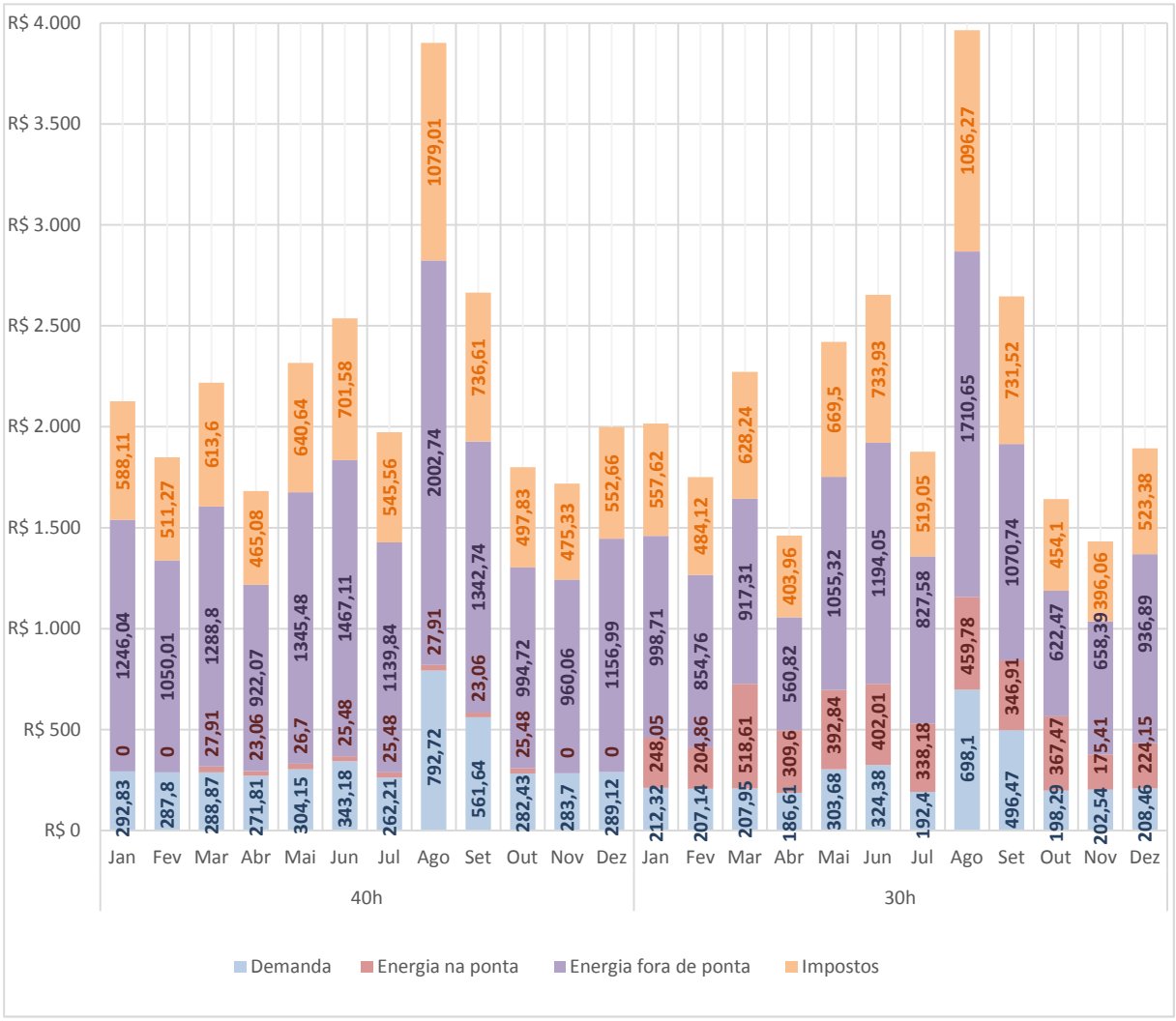
Caso 1 – Jornada de 40 horas semanais		**Caso 2 – Jornada de 30 horas semanais**	
Tarifa	**Valor (R$)**	**Tarifa**	**Valor (R$)**
Binômia	35.353,39	Binômia	29.359,64
Verde	26.789,40	Verde	26.031,66
Azul	26.943,23	Azul	28.925,62

Fonte: Autores

Em ambos os casos, a tarifa horária verde mostrou-se mais vantajosa economicamente. No primeiro caso, esta tarifa apresenta um valor 24,24% menor que o preço da contratação mais cara, utilizando a tarifa binômia convencional. No caso do expediente de 12 horas, a diferença é de 11,33% entre a tarifa mais cara e a mais barata.

Percebe-se, também, que a energia elétrica é mais barata no segundo caso, nas tarifas binômia e verde, enquanto que na tarifa azul, o valor é menor para a simulação da jornada de 40 horas semanais. A maior diferença de valores é observada na tarifa binômia, na qual a energia é 16,95% mais barata que no primeiro caso. Para a tarifa verde, o percentual cai para 2,83%. Tal redução nos valores não corresponde diretamente à redução de consumo verificada anteriormente. Para compreender melhor esta relação, o Gráfico 3 a seguir apresenta os valores mensais discriminados da tarifa verde para os dois casos estudados, comparando mês a mês as tarifas nas duas hipóteses de ocupação estudadas.

Gráfico 3 – Valores mensais da tarifa verde nas duas hipóteses de ocupação



Fonte: Autores

Observando o gráfico, verifica-se que os valores para a demanda contratada são menores em todos os meses na hipótese de 30 horas semanais, conforme demonstrado anteriormente no Gráfico 1. No entanto, o mesmo não é válido para as tarifas de energia. Com a extensão do horário de expediente, a utilização de energia elétrica no horário de ponta acaba sendo maior, ocasionando tarifas de energia maiores em sete dos doze meses do ano. Dessa forma, a redução do consumo de energia em 15,77% com a jornada de 30 horas semanais acaba não se traduzindo em um benefício econômico na mesma proporção.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho procurava verificar a possibilidade de utilização da simulação computacional como uma ferramenta de apoio à contratação de tarifas de energia elétrica. Através dos procedimentos realizados utilizando o modelo de uma edificação administrativa de uma IFES, foi possível verificar o consumo de energia elétrica e a demanda máxima de potência mensal

considerando dois cenários de utilização diferentes para o prédio. Com este conhecimento, foi possível estabelecer um valor de contratação para a demanda que não gerasse tarifas excessivas, possibilitando assim uma economia financeira na contratação.

A comparação entre os consumos de energia e as demandas nas duas situações de ocupação evidenciaram que o expediente de trinta horas semanais possibilita uma considerável economia de consumo, de 15,77%, em relação ao expediente de quarenta horas semanais. Também foi possível verificar que, em ambos os casos, a Tarifa Verde se mostrou como a mais econômica financeiramente, embora a diferença entre as tarifas para os dois tipos de expediente seja menor do que a diferença de consumo. Isto se dá pelo fato do aumento do consumo no horário de ponta, quando a energia é 186% mais cara que nos outros horários.

Sendo assim, considera-se que a simulação atendeu à expectativa de auxiliar na gestão da instituição, provendo importantes subsídios para a tomada de decisões por parte do gestor, garantindo assim a maior economia possível na operação da edificação.

Cabe, enfim, ressaltar que este estudo é válido para o caso específico aqui estudado, levando em conta as características de ocupação, iluminação artificial, equipamentos de trabalho e condicionamento artificial do ar do prédio. Diferentes rotinas de trabalho, utilização de equipamentos específicos com maior demanda energética e a presença de sistemas diferenciados de ar condicionado são fatores que podem influenciar os padrões de consumo de energia e demanda e, consequentemente, os valores das tarifas do edifício.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9077:** Saída de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR-15220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR-16401:** Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 414.** Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2010.

BRASIL, MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa 02, de 04 de junho de 2014.**

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Rio de Janeiro, 2015.

LAMBERTS, Paulo; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando**. Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADA COM PAINÉIS LEVES EM EDIFICAÇÃO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS[1]

ROCHA, Antonio Carlos da (1); BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de (2); LEITE, Brenda Chaves Coelho (3); PETRECHE, João Roberto Diego (4)
(1) POLI-USP, e-mail: acrocha@usp.br; (2) POLI-USP, e-mail: mercia.barros@poli.usp.br; (3) POLI-USP, e-mail: brenda.leite@poli.usp.br; (4) POLI-USP, e-mail: joao.petreche@poli.usp.br

RESUMO

O desempenho térmico das edificações está fortemente relacionado às características das vedações verticais externas que constituem seu envelope, as quais são construídas, predominantemente, por alvenarias de blocos e revestimentos aderidos. A tecnologia de fachada com painéis leves vem sendo proposta como uma alternativa potencial para a execução dessas vedações. Entretanto, seu comportamento como elemento de fachada ainda é pouco conhecido no mercado nacional e, para que se introduza esta tecnologia em um projeto, deve-se avaliar o atendimento a exigências e requisitos de desempenho requeridos por normas técnicas nacionais, dentre os quais, o desempenho térmico. Para esta exigência, a norma ABNT NBR 15575-4:2013 estabelece dois requisitos: a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (C_T), além de três métodos de avaliação: o procedimento simplificado (normativo), a simulação computacional e a medição no local. O objetivo do presente trabalho é avaliar, comparativamente, o desempenho térmico de uma tecnologia de fachada com painéis leves e de uma fachada constituída por alvenarias e revestimentos aderidos, para uma edificação habitacional de múltiplos pavimentos, por meio da simulação computacional. Adotou-se como método de trabalho o emprego do programa *EnergyPlus*, aplicado a um mesmo projeto arquitetônico no qual se variou apenas a tecnologia de fachada. Como resultado, obteve-se que, para as mesmas condições de projeto arquitetônico e do meio ambiente, o desempenho térmico da edificação é similar para ambas as tecnologias estudadas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Fachada. Vedações externas. Fachada leve.

ABSTRACT

The thermal performance of buildings is strongly related to the characteristics of the external vertical seals constituting its envelope, which are constructed predominantly with masonry blocks and adhered coatings. The technology of lightweight panels façade has been identified as a potential alternative for the implementation of external vertical seals of these buildings. However, their behavior as an external vertical seal element is still little known in the national market and, in order to introduce this technology in a project, you should evaluate the fulfillment of requirements and performance levels determined in the national standards, among them, the thermal performance. For this demand, the ABNT NBR 15575-4: 2013 Standard establishes two requirements: the thermal transmittance (U) and the thermal capacity (C_T), defining also three methods for analysis of performance: the simplified

[1] ROCHA, Antonio *et al*. Avaliação do desempenho térmico de fachada com painéis leves em edificação de múltiplos pavimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

procedure (normative), computer simulation and measurement on site. The objective of this study is to evaluate, comparatively, the thermal performance of a lightweight panels façade technology and the thermal performance of a traditional façade with masonry blocks and adhered coatings for residential building with multiple floors, using computer simulation. It was adopted as a working method the use of EnergyPlus software, applied to the same architectural design in which only the external sealing technology was changed. As a result, it was found that at the same architectural design and environment conditions, the thermal performance of the building is similar for the two technologies studied.

***Keywords**: Thermal performance. Façade. External vertical seals. Lightweitght façade.*

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma edificação depende tanto das características ambientais do local onde ela se encontra (clima, ventos dominantes, umidade relativa do ar, grau de insolação, etc.) como das características intrínsecas ao projeto e de suas vedações externas (fachadas, coberturas e janelas).

Segundo a ABNT NBR 15575-4:2013, o desempenho térmico da vedação vertical externa deve ser avaliado pelos valores da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (C_T) do conjunto de elementos que a constitui. Para esta avaliação, são recomendados três métodos: simplificado (normativo), simulação computacional ou medição no local. Os valores máximos admitidos, por aquela norma, para a transmitância térmica (U) de paredes externas são de 2,5 W/m².K ou 3,7 W/m².K, variando de acordo com a zona bioclimática do país onde se localiza a edificação, e o valor mínimo admitido para capacidade térmica (C_T) de paredes externas é de 130 kJ/m².K, sendo este valor válido para todas as zonas bioclimáticas do país.

As vedações verticais, por sua vez, são compostas por um conjunto de diversos materiais e componentes, sejam eles tradicionais tais como blocos e revestimentos de pastas ou argamassas, ou mesmo por componentes como perfis de aço associados a painéis de base cimentícia, madeira, gesso, entre outros. Também fazem parte da fachada as esquadrias, principalmente as janelas. Portanto, a transmitância térmica (U) da vedação está diretamente associada à condutibilidade térmica (λ) desses materiais e componentes e inversamente associada às suas espessuras (e), enquanto que, a capacidade térmica (Ct) é associada diretamente à espessura (e), ao calor específico (c) e à densidade (ρ) dos materiais das camadas.

Uma diferença importante entre a vedação tradicional em alvenaria de blocos e a vedação com estrutura de aço e painéis leves é a sua densidade superficial aparente. Enquanto a primeira atinge cerca de 100 kg/m² ou mais, a segunda situa-se por volta dos 45 kg/m². Por essa propriedade, segundo a ABNT NBR 11685:1990, a vedação tradicional é classificada como pesada (acima de 60 kg/m²), e a vedação constituída por painel estruturado com perfis de aço é classificada como leve (abaixo de 60 kg/m²).

Devido ao fato de serem constituídas por componentes de baixa densidade aparente, as fachadas leves apresentam baixa massa térmica e, por consequência, baixa capacidade térmica, não atingindo o valor mínimo

requerido pela ABNT NBR 15575-4:2013. Esta norma recomenda que caso não se atinjam os valores de transmitância térmica e capacidade térmica quando os cálculos são feitos pelo método simplificado (normativo), deve-se utilizar o recurso da simulação computacional, indicando-se, para isto, a utilização do programa EnergyPlus ou outro que seja validado pela ASHRAE Standard 140 (2001).

Existem poucos dados ou estudos disponíveis sobre o desempenho térmico de fachadas leves; no entanto, o estudo comparativo por simulação computacional de MASSETTI et. al. (2008), em que relacionam o desempenho térmico de uma fachada leve e de uma fachada pesada, sugere que para o clima mediterrâneo a massa térmica da fachada não é muito relevante, tanto para a demanda energética, quanto para o conforto térmico.

OLIVEIRA e MELHADO (2009), por outro lado, destacam que para climas nos quais a amplitude térmica diária é alta (+/- 10º C), caso da região metropolitana de São Paulo, a massa da envoltória (capacidade térmica) é um importante requisito para promover o amortecimento térmico entre as temperaturas externas e internas.

O presente trabalho, ao fornecer dados comparativos entre o desempenho térmico de uma tecnologia de vedação vertical usualmente empregada e a tecnologia leve, contribui para o conhecimento deste requisito de desempenho em uma tecnologia inovadora de fachada e suscita a necessidade de estudos complementares com base em tipologias de fachadas leves e situações climáticas diferentes daquelas abordadas no presente artigo.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar, comparativamente, o desempenho térmico de uma tecnologia de vedação vertical externa, constituída por estrutura metálica secundária em *light steel frame* e fechamento em painéis leves, e o de uma tecnologia tradicional constituída por alvenaria de blocos e revestimentos aderidos.

3 MÉTODO

3.1 Simulação computacional

O método de trabalho consiste na simulação computacional do desempenho térmico, utilizando o software *EnergyPlus 8.3* que é recomendado pelo Procel Info (D´ELL SANTO et. al., 2013), pela norma ASHRAE Standard 140 (2001), e pela norma ABNT NBR 15575-1:2013 para modelagem e simulações de desempenho termo energético.

3.2 Objeto de estudo

As unidades de análise escolhidas são apartamentos localizados em uma edificação residencial vertical com pavimento térreo e vinte e cinco pavimentos-tipos (Figura 1), com quatro apartamentos por pavimento-tipo, cada um constituído por dois dormitórios, uma suíte, um banheiro social, sala de estar/jantar, terraço externo, cozinha e área de serviço (Figura 2).

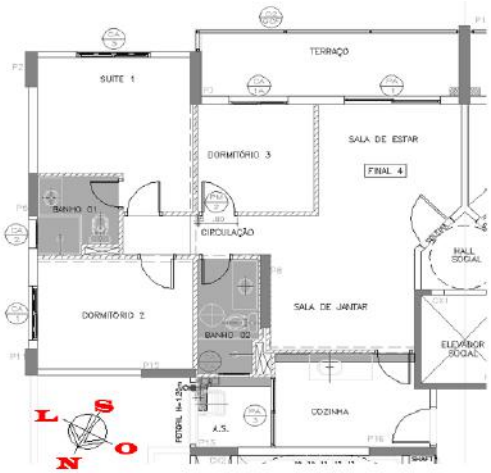
O pé-direito interno bruto é de 2,66 m e a altura bruta de piso a piso é de 2,82 m. As vedações verticais internas dos apartamentos são constituídas por paredes de gesso acartonado. As demais vedações internas e externas do pavimento são constituídas por alvenaria de blocos cerâmicos.

Figura 1 – Torre residencial



Fonte: Digital Life (2008)

Figura 2 – Planta do apartamento



Fonte: MCAA (2008)

Conforme indicado na Figura 3, o posicionamento dos ambientes de permanência prolongada no pavimento-tipo para as análises foi definido de acordo com as orientações da ABNT NBR 15575-1:2013. Para a situação de verão foi selecionado o dormitório 2 (janela voltada para o oeste e a outra parede exposta voltada para o norte). Para a situação de inverno foi selecionada a suíte 1 (janela voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste).

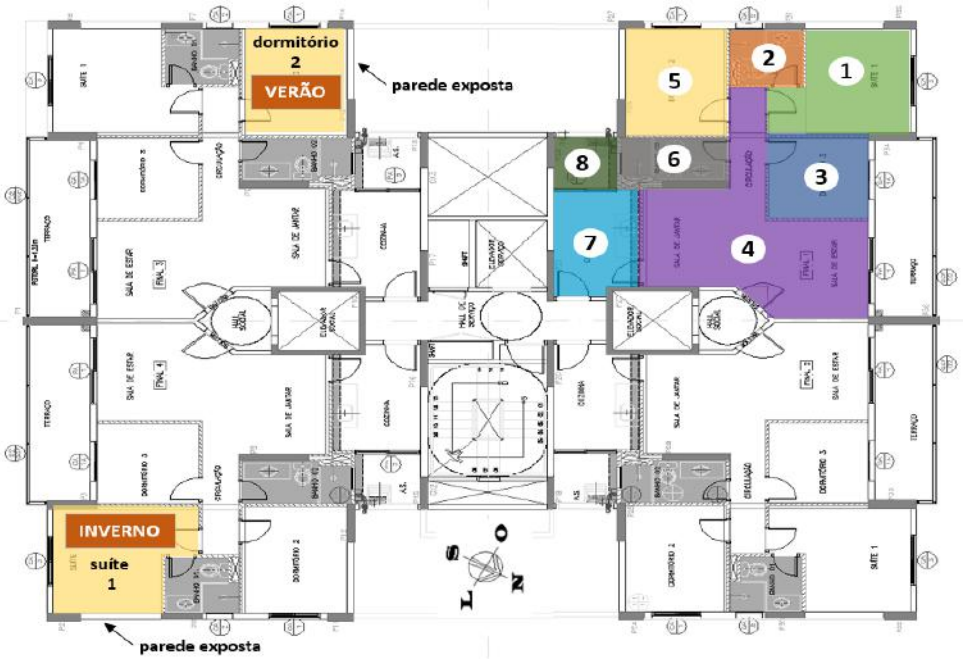
A ABNT NBR 15575-1:2013 recomenda para edifícios de múltiplos pavimentos, a seleção de unidades do último andar. No entanto, optou-se no presente trabalho, pela seleção de apartamentos localizados em pavimento intermediário da edificação, com o objetivo de isolar a influência das perdas térmicas pelo contato com o solo e dos ganhos térmicos pela presença da laje de cobertura, proporcionando a avaliação mais efetiva da contribuição das vedações verticais externas no desempenho térmico interno da edificação.

A Figura 3 indica ainda, as oito zonas térmicas internas do apartamento definidas para as simulações, sendo: suíte 1 (1), banho da suíte (2), dormitório 3 (3), sala de estar/jantar e circulação (4), banho 2 (5), dormitório 2 (6),

cozinha (7) e área de serviço (8), onde cada ambiente constitui uma zona térmica.

Como condição de contorno, admitiu-se que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, isto é, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades e que não há elementos construtivos ou dispositivos de sombreamento na edificação (ABNT NBR 15575-1, 2013). Quanto à ventilação natural, considerou-se o edifício provido de janelas de alumínio com sistema de abertura com folhas de correr, as quais foram definidas como semiabertas (50% de abertura), para o período das 8h00 às 21h00, e fechadas (0% de abertura), das 21h00 às 8h00. Em relação às condições de utilização do apartamento, as simulações foram realizadas sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas e outros equipamentos em geral), conforme ABNT NBR 15575-1:2013.

Figura 3 – Planta de um pavimento-tipo completo, indicando o posicionamento dos ambientes selecionados para as situações de verão e de inverno e as oito zonas térmicas internas do apartamento definidas para as simulações



Fonte: Adaptado pelos autores de MCAA (2008)

3.3 Clima estudado

Considerou-se a edificação localizada na cidade de São Paulo, ou seja, situada na zona bioclimática brasileira ZB03. Seus dados geográficos e climáticos são apresentados no Quadro1.

Quadro 1 – Dados geográficos e climáticos da cidade de São Paulo.

UF	Zona bioclimática	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Classificação Köppen
SP	3	São Paulo	23.5 S	46.62 W	792	Cwa

Fonte: adaptado pelos autores da Tabela A.1da ABNT NBR 15575-1:2013

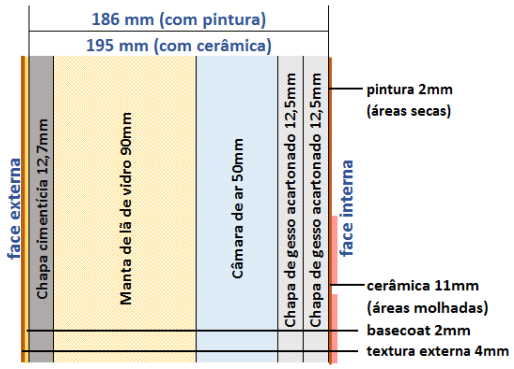
A ABNT NBR 15575-1:2013 estabelece que devem ser simulados os dias típicos de projeto de verão e de inverno e apresenta no texto da norma os dados

típicos de algumas cidades, os quais podem ser utilizados na ausência de dados mais específicos.

3.4 Características dos materiais e componentes das vedações verticais externas estudadas

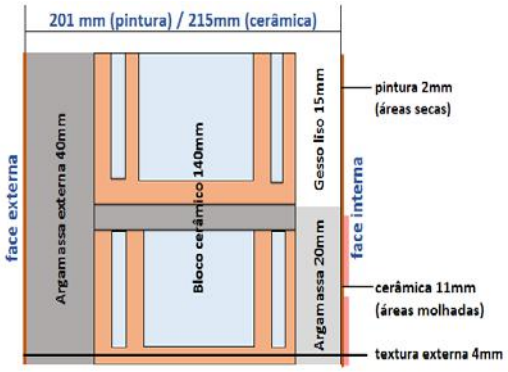
Definiu-se o perfil típico das duas tecnologias de vedação externa em estudo (painéis leves e tradicional em alvenaria de blocos). Para ambas, foram identificados os materiais e componentes empregados, bem como suas propriedades físicas, utilizadas como dados de entrada no software de simulação computacional. O perfil com as camadas e os componentes de cada uma das tecnologias estão representados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Vedação externa em painéis leves



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 7 – Vedação externa em alvenaria de blocos cerâmicos e revestimentos aderidos



Fonte: elaborado pelos autores

As propriedades físicas dos materiais e componentes das vedações verticais, e dos pisos e tetos em estudo são apresentadas no Quadro 2

Quadro 2 – Propriedades dos materiais componentes das vedações verticais externas e internas, pisos e tetos do objeto do estudo

Propriedades / Materiais componentes	Espessura [m]	Condutividade térmica λ [W/m.K]	Densidade aparente ρ [kg/m³]	Calor específico c [J/kg.K]	Absortância solar α	Emissividade ε
Textura externa	0,004	0,40	1.300	1.000	0,65	0,85
Basecoat	0,002	0,40	1.300	1.000	0,30	0,90
Chapa cimentícia	0,0127	0,39	1.150	1.000	0,30	0,85
Manta de lã de vidro	0,09	0,045	12	700	0,50	0,90
Chapa gesso acartonado	0,025	0,50	800	840	0,20	0,90
Argamassa colante	0,005	1,15	1.950	1.000	0,65	0,85
Revestimento cerâmico	0,0095	1,00	1.700	920	0,20	0,85
Pintura interna	0,002	0,40	1.300	1.000	0,20	0,90
Argamassa externa	0,04	1,15	1.950	1.000	0,65	0,85
Bloco cerâmico 140/190mm (paredes)	0,032/0,044	1,00	1.700	920	0,65	0,85
Argamassa interna	0,02	1,15	1.950	1.000	0,65	0,85
Massa de gesso	0,015	0,70	1.200	840	0,20	0,90
Piso cerâmico	0,011	1,00	1.700	920	0,20	0,85
Argamassa contrapiso	0,03	1,15	1.950	1.000	0,65	0,85
Laje de concreto	0,12/0,16	1,75	2.300	1.000	0,65	0,85
Forro gesso em placa	0,03	0,35	1.375	840	0,20	0,90

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005

Os valores de resistência térmica, a transmitância térmica e a capacidade térmica para cada tipo de vedação vertical foram calculados numericamente conforme o procedimento simplificado (normativo) estabelecido na ABNT NBR 15575-1:2013, de acordo com a metodologia de cálculo proposta pela ABNT NBR 15220-2:2005. Por este método, a vedação vertical externa em painéis leves não atende ao requisito da capacidade térmica (C_T), cujo valor mínimo admitido é de 130 kJ/m².K. Para os cálculos, foram utilizados ainda parâmetros complementares indicados na ABNT NBR 15220-2:2005, a saber: resistência térmica superficial interna (Rsi); resistência térmica superficial externa (Rse); resistência térmica da câmara de ar (Rar); emissividade da superfície da textura externa; e, absortância à radiação solar da textura externa; de acordo com as condições do projeto.

As fórmulas utilizadas para o cálculo dos valores apresentados no Quadro 3, conforme ABNT NBR 15220-2:2005, foram as seguintes:

- Resistência térmica (R)

$R_{TOTAL} = R_{si} + \sum R_{camadas} + R_{se}$ e $R_{camada} = e / \lambda$, onde:

R_{si} = resistência térmica superficial interna [(m².K)/W]
R_{se} = resistência térmica superficial externa [(m².K)/W]
R_{camada} = resistência térmica de cada camada constituinte da vedação
e = espessura da camada [m]
λ = condutividade térmica do material que compõe a camada [(W/(m.K)]

- Transmitância térmica (U)

$U_{TOTAL} = 1 / R_{TOTAL}$ [W/(m².K)]

- Capacidade térmica (C_T)

$C_{TOTAL} = \sum C_{T\ camadas}$ e $C_T = e \cdot c \cdot \rho$, onde:

e = espessura da camada [m]
c = calor específico do material da camada [J/(kg.K)]
ρ = densidade de massa aparente do material da camada [kg/m³]

A resistência térmica, a transmitância térmica e a capacidade térmica para cada tipo de vedação vertical externa são apresentadas no Quadro 3.

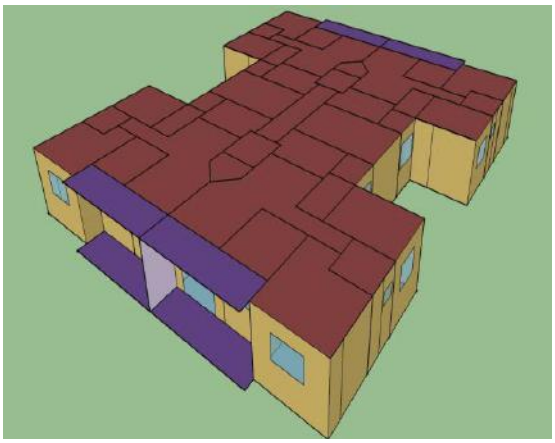
Quadro 3 – Valores calculados de resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica das vedações externas em estudo

Vedação externa	**Resistência térmica [R] (m².K)/W**	**Transmitância térmica [U] W/(m².K)**	**Capacidade térmica [C_T] J/K**
A - Painéis leves com pintura interna	**2,39**	**0,42**	**20,12**
B - Painéis leves com cerâmica interna	**2,39**	**0,42**	**35,69**
C - Alvenaria com pintura interna	**0,41**	**2,44**	**148,21**
D - Alvenaria com cerâmica interna	**0,41**	**2,47**	**187,75**

Fonte: elaborado pelos autores, segundo o procedimento simplificado (normativo) proposto pela ABNT NBR 15575-1:2013.

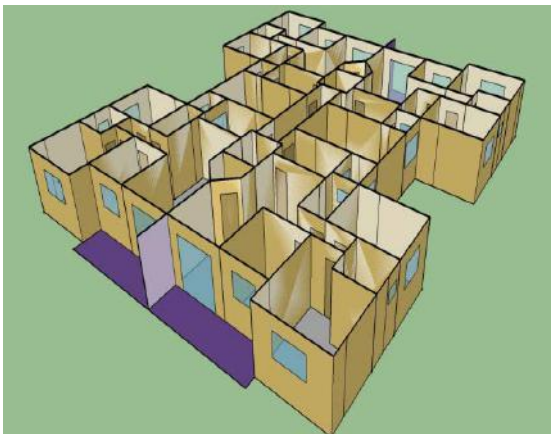
As Figuras 8 e 9 representam o pavimento-tipo completo, modelado no software *SkechtUp 2015*.

Figura 8 – Pavimento modelado – tetos



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 9 – Pavimento modelado – corte



Fonte: elaborado pelos autores

Com base nos arquivos climáticos do ano de 2015, divulgados pelo INMET, para a definição dos dias típicos de projeto de verão e inverno do presente trabalho, tomou-se como base, as seguintes datas:

- Período de verão na cidade de São Paulo: 01/01/2015 a 20/03/2015, e, 20/12/15 a 31/12/2015.
- Período de inverno na cidade de São Paulo: 21/06/2015 a 23/09/2015
- Para compor as temperaturas horárias dos dias típicos de projeto para verão e inverno, tomou-se como base a média simples das temperaturas dos quatro dias mais quentes e dos quatros dias mais frios, um de cada mês das respectivas estações. Os dias selecionados para o verão foram: 29/12/2015, 10/01/2015, 21/02/2015 e 07/03/2015. Os dias selecionados para o inverno foram: 17/06/2015, 21/07/2015, 05/08/2015 e 19/09/2015.

4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nas simulações são apresentados na Tabela 1 e relacionam as temperaturas horárias externas nos dias típicos de projeto nas situações de verão (dormitório 2) e de inverno (suíte 1), com as temperaturas internas dos ambientes de referência, para ambas as tecnologias estudadas: a fachada tradicional com alvenaria e, a fachada com painéis leves, sendo demonstradas em períodos de 3 em 3 horas ao longo dos dias típicos de projeto de verão e inverno.

Os diferenciais entre as temperaturas externas e as temperaturas internas nos ambientes de referência, apresentados na Tabela 1, permitem estabelecer um comparativo entre as temperaturas internas obtidas com a fachada tradicional com alvenaria de blocos e as temperaturas internas obtidas com a fachada com painéis leves.

Tabela 1 – Diferenciais nas temperaturas internas dos ambientes de referência com a fachada tradicional em alvenaria e com a fachada em painéis leves nas situações de verão e inverno

Horários	VERÃO				INVERNO			
	Temperatura Externa [°C]	Temperatura Dorm 2 Fachada Alvenaria [°C]	Temperatura Dorm 2 Fachada Painéis Leves [°C]	Δ t Alvenaria x Painéis Leves [°C]	Temperatura Externa [°C]	Temperatura Suíte 1 Fachada Alvenaria [°C]	Temperatura Suíte 1 Fachada Painéis Leves [°C]	Δ t Alvenaria x Painéis Leves [°C]
01:00	20,0	24,0	24,0	0,0	12,6	16,3	16,5	-0,2
03:00	19,3	23,7	23,9	-0,2	12,2	16,1	16,4	-0,3
06:00	19,1	23,2	23,6	-0,4	11,9	15,7	16,2	-0,5
09:00	23,8	23,5	23,8	-0,3	14,2	14,9	15,3	-0,3
12:00	28,1	26,5	26,8	-0,3	19,4	17,6	17,9	-0,4
15:00	29,1	27,8	28,0	-0,2	21,6	19,9	20,1	-0,2
18:00	25,3	26,0	26,0	0,0	18,2	18,3	18,4	-0,1
21:00	22,7	24,2	24,1	0,1	15,9	16,9	17,0	-0,1
00:00	21,4	25,0	25,0	0,0	14,7	17,5	17,7	-0,1
Máxima	**29,8**	**28,0**	**28,2**	-0,2	**21,9**	**19,9**	**20,1**	-0,2
Média	**23,5**	**24,9**	**24,8**	0,1	**15,9**	**17,2**	**17,3**	-0,1
Mínima	**19,1**	**23,1**	**23,6**	-0,4	**11,9**	**14,9**	**15,3**	-0,3

Fonte: elaborado pelos autores

Pela avaliação comparativa do comportamento das temperaturas internas dos ambientes de referência estudados, considerando-se os valores máximos, médios e mínimos da Tabela 1, o desvio máximo entre as temperaturas das duas vedações externas, situa-se na ordem dos dois por cento (2%) o que demonstra a similaridade de desempenho térmico entre as duas tecnologias de vedação externa avaliadas.

Pelos resultados obtidos nas simulações, a fachada leve é ligeiramente mais confortável na situação de inverno (temperaturas internas mais elevadas), enquanto que, a fachada em alvenaria de blocos e revestimentos aderidos, apresenta desempenho térmico ligeiramente superior na situação de verão (temperaturas internas mais amenas).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Considerando-se as características climáticas do local, as definições de contorno estabelecidas para a edificação, os materiais envolvidos na construção das divisórias internas e das envoltórias externas (fachadas), e a configuração do projeto arquitetônico avaliado, constatou-se um comportamento similar entre o desempenho térmico das vedações externas em painéis leves e o desempenho térmico das vedações externas construídas em alvenarias de blocos cerâmicos e revestimentos aderidos.

Pelos baixos valores de capacidade térmica da vedação externa em painéis leves, obtidos nos cálculos pelo procedimento simplificado (Quadro 3), muito aquém do valor mínimo requerido pela norma ABNT NBR 15575-4:2013,

esperava-se que esta vedação apresentasse desempenho térmico inferior ao da vedação tradicional em alvenaria de blocos, o que não ocorreu. O comportamento de ambas é muito semelhante. Este fato, ressalvando-se as limitações e condições estabelecidas no presente estudo, leva à reflexão de que o parâmetro "capacidade térmica" das vedações deva ser objeto de pesquisas específicas para que não venha a ser um limitante para o emprego de tecnologias leves de vedação externa.

Frente aos resultados, acredita-se que estudos complementares, com outras configurações de vedações externas leves, em condições de entorno e climáticas diferenciadas, devam ser empreendidos a fim de que se confirmem ou não os resultados e conclusões apresentados no presente estudo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. **ASHRAE STANDARD 140-2001:** Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-11685:1990:** Divisórias leves internas moduladas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR-15575-1:2013**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4:2013**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15220-2:2005**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

D´ELL SANTO, A. et. al. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. Artigo. Cadernos Proarq. UFRJ: Publicação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Volume 20, 2013, p.115-136.

LABEEE. **Arquivos climáticos para simulação energética de edificações**. INMET2015. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>. Acesso em: 18 mar. 2016.

MASSETTI *et. al*. **Influence of thermal mass in the façade on thermal behavior of residential buildings in the mediterranean climate.** Artigo. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 2008. Disponível em: <http://plea-arch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/poster/PLEA_FinalPaper_ref_463.pdf.>. Acesso em 15 mar. 2016.

OLIVEIRA, L. A.; MELHADO, S. B. **Projeto de fachadas leves: especificações de desempenho.** Artigo. São Paulo: Universidade de São Paulo - Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU-USP. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43620/47242>. Acesso em: 17 mar. 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

VENTILAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS: REVISÃO CRÍTICA DA NORMALIZAÇÃO E DAS METODOLOGIAS DE PREDIÇÃO[1]

AMARAL, Daniel O. (1); ASSIS, Eleonora Sad (2)

(1) UFMG, e-mail: danielamaral.arquiteto@yahoo.com.br; (2) UFMG, e-mail: eleonorasad@yahoo.com.br

RESUMO

Grande parte do território brasileiro possui climas amenos, favorecendo a ventilação natural das edificações durante boa parte do ano. Entretanto, mesmo em edificações residenciais, tem-se percebido uma tendência nacional ao uso da climatização artificial, aumentando desnecessariamente o consumo de energia. Além de um adequado desempenho térmico das envoltórias em cada região climática, o correto dimensionamento da ventilação natural nos ambientes é importante para prover conforto térmico. Para tanto, é necessário identificar os parâmetros existentes na normalização e os melhores métodos de predição da ventilação natural que possam dar subsídio às várias etapas do projeto da edificação. Objetiva-se aqui levantar e analisar a normalização brasileira e internacional de ventilação e os métodos disponíveis de predição. O método utilizado foi o da pesquisa bibliográfica em documentos nacionais e internacionais (dissertações, teses e artigos de periódicos), analisando qualitativamente o material encontrado segundo a matriz PLOR (Potencialidades, Limites, Oportunidades e Riscos). Dentre os métodos de predição se destacam os de simulação computacional, pois apresentam as melhores relações de custo-benefício e fornece resultados confiáveis e representativos.

Palavras-chave: *Ventilação natural*. *Critério de projeto*. Normalização. *Método de predição.*

ABSTRACT

Much of Brazil has mild climates, favoring natural ventilation of buildings during much of the year. However, even in residential buildings, we have observed a national trend to the use of artificial air conditioning, unnecessarily increasing energy consumption. In addition to a proper thermal performance of the building fabric in each climatic region, the correct sizing of natural ventilation in the rooms is important to provide thermal comfort. Therefore, it is necessary to identify the parameters in standardization and the best natural ventilation prediction methods that can give subsidy to the various stages of the building design process. This paper aims to identify and analyze Brazilian and international standardization of ventilation and the available prediction methods. The method used was the bibliographical research in national and international documents (dissertations, thesis and journal articles), qualitatively analyzing the material found under the SWOT matrix (Strengths, weaknesses, opportunities, and threats). Among the prediction methods, stand out computer simulation, since they have the best cost-benefit ratios and provides reliable and representative results.

Key words: *Natural ventilation. Design criteria. Standards. Prediction methods.*

[1] AMARAL, Daniel O.; ASSIS, Eleonora Sad; Ventilação natural de edifícios: Revisão crítica da normalização e das metodologias de predição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte do território brasileiro possui climas amenos, favorecendo a ventilação natural das edificações durante boa parte do ano. O uso da ventilação natural em edifícios residenciais é uma prática habitual no país, mas é feita usualmente de forma empírica e se atendo apenas ao que as legislações municipais ou a normalização técnica exigem. A adoção de estratégias de ventilação natural em países de clima ameno como o Brasil é importante para prover conforto térmico aos usuários, e é reconhecida pela ABNT:NBR 15220-3:2005, que coloca a ventilação natural como estratégia a ser adotada em todas as zonas bioclimáticas brasileiras, apenas com ressalvas às zonas 4,6 e 7, onde ela deve ser feita apenas quando a temperatura do ar externo estiver menor que a temperatura do ar interno.

Apesar da viabilidade do uso da ventilação natural como forma de condicionamento passivo de edificações no Brasil, segundo o levantamento feito por Nelson Solano Vianna em 2001, sobre o estado da arte em pesquisa na área de conforto ambiental, a área de ventilação natural era tema de apenas 3,3% da pesquisa nacional. Esse levantamento foi conduzido em pesquisas de Pós-graduação, artigos em eventos técnicos da área e em revistas especializadas nacionais até o ano de 2001. Nos anais dos dois maiores eventos técnicos da área mais recentes, o Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído 2014 e o Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído 2015 é possível perceber que a situação não mudou muito. No primeiro, no tema específico Conforto Ambiental e Eficiência Energética apenas 7,9% tratavam da ventilação natural e no ENCAC 2015 era de apenas 6,9% do total.

As pesquisas em ventilação natural são de grande importância para que seja possível, através do conhecimento gerado, a criação de parâmetros normativos mais assertivos na predição da ventilação natural na fase de projeto e na obtenção de conforto térmico dos usuários. De forma complementar, a divulgação dessas pesquisas e uma certa tradução do conteúdo para uma linguagem mais acessiva, permitiria uma disseminação maior desse conhecimento e a utilização do mesmo por parte dos projetistas.

2 OBJETIVO

Objetiva-se aqui discutir os parâmetros existentes na normalização em ventilação em edificações residenciais, levantar e analisar os métodos disponíveis de predição da ventilação natural devido à pressão de vento, para compreender as características de cada método, seus potenciais e limitações.

3 METODOLOGIA

O método utilizado foi o da revisão de literatura em documentos nacionais e internacionais (leis, normas, regulamentos, dissertações, teses e artigos de periódicos), buscando um entendimento do estado da arte na pesquisa em

ventilação natural. Foram levantados os parâmetros normativos, e em seguida os métodos de predição da ventilação natural.

Para a análise dos métodos de predição da ventilação natural foi utilizada a chamada matriz PLOR (Potencialidades, Limites, Oportunidades e Riscos), analisando qualitativamente o material encontrado. Ela permite ao usuário da modelagem encontrar na matriz um auxílio nos parâmetros e dados de entrada dos modelos e na interpretação dos resultados, evitando situações que reforçam seus limites e riscos (PONTES et al. 2015). Essa matriz permite também ao usuário conhecer os processos envolvidos na modelagem e do próprio fenômeno físico que envolve a ventilação natural.

4 RESULTADOS

4.1 Parâmetros e normalização existentes

Nesta subseção serão apresentadas as que tratam da ventilação de edificações residenciais. As normas brasileiras analisadas são: a Norma de Desempenho Térmico de Edificações ABNT:NBR15220:2005, a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais ABNT:NBR 15.575:2013, a Norma de Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários ABNT:NBR 16401-3:2008 e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R de 2012. No caso das normas estrangeiras serão analisadas a norma norte-americana ASHRAE 62.1 e as normas europeias existentes apresentadas por Dimitroulopoulou (2012).

Os requisitos da ASHRAE 62.1 fazem uma distinção entre ambientes ventilados mecanicamente e naturalmente. Para o primeiro grupo são fornecidos valores de vazões mínimas para cada tipo de uso do ambiente em função da sua ocupação e área. Considerando um quarto de 12 metros quadrados, com um pé direito de 2,50m, e com dois ocupantes a taxa de renovação mínima seria de 30,96 m²/h, o que corresponderia a aproximadamente uma troca de ar por hora[2]. Para ambientes ventilados naturalmente os parâmetros são qualitativos, como a razão entre a área da abertura e do piso e com a profundidade do ambiente. As normas europeias apresentadas possuem valores que vão de 0,5 a 1,5 trocas de ar por hora para ambientes climatizados artificialmente. As normas da Alemanha e Itália, dentre as estudadas, foram as únicas que apresentaram valores específicos para espaços ventilados naturalmente, sendo esses valores menores que aqueles exigidos para espaços mecanicamente ventilados.

A NBR 16.401 possui a mesma lógica da ASHRAE 62.1, inclusive com valores de renovação de ar iguais às dela. Os códigos de obras dos municípios, a NBR 15.220 e o método prescritivo da NBR 15.575 dão como parâmetros apenas as relações entre a área de abertura e do piso. Os pré-requisitos de ventilação natural do RTQ-R exigem além da razão área de abertura e do

2 Os valores em L/s foram convertidos em m³/h para permitir o cálculo da troca de ar por hora (ACH)

piso, a relação entre as áreas de entrada e saída do ar. No método de simulação computacional previsto na NBR 15.575, para comprovar o desempenho térmico da envoltória, os ambientes de permanência prolongada são simulados para os dias típicos de inverno e de verão e as temperaturas mínimas e máximas encontradas devem atender aos critérios estabelecidos na norma. Neste caso a ventilação natural deve ser considerada com uma ou cinco renovações de ar por hora. No caso da metodologia de simulação computacional do RTQ-R deve ser feita uma simulação anual para comprovar que a edificação é capaz de prover conforto térmico, e é sugerido o uso do método *airflownetwork* para modelar a ventilação natural.

4.2 Métodos de predição de ventilação natural

4.2.1 Modelos em túnel de vento

As pesquisas em ventilação natural utilizando experimentos com modelos em escala em túneis de vento começaram a partir dos anos 50 e tinham como objetivo investigar os fluxos de ar através das aberturas e seu impacto na ventilação natural de edifícios (KARAVA, 2008). Inicialmente desenvolvidos para estudos em aerodinâmica espacial e de aeronaves, os túneis de vento começaram a ser adaptados e utilizados para estudos em aerodinâmica de edifícios e contextos urbanos. A principal adaptação nos túneis é relativa à capacidade do mesmo representar as características do vento dentro da camada limite, onde ele se apresenta turbulento e com velocidades de vento variando em altura, os chamados perfis de vento.

Grande parte do conhecimento produzido sobre a ventilação natural em edifícios se deve a experimentos em túneis de vento (TOLEDO, 1999). Neles é possível estudar desde modelos de grandes áreas urbanas até a escala de escoamento interno de um ambiente. Os estudos que vão da escala urbana até a fachada dos edifícios têm como dados mais comumente obtidos os campos de pressão nas fachadas dos modelos em escala. Obtidos esses dados, é possível através dos modelos teóricos, calcular as vazões de ar e velocidade do ar interno. Já através dos estudos na escala interna de um ambiente ou da edificação é possível obter diretamente os dados de velocidade do ar interno, o que segundo Carey e Ethridge (1999) geram maior precisão nos resultados.

Dentre as principais limitações encontradas na literatura (COOK, 1974; CAREY E ETHERIDGE, 1999; PASSE E BATTAGLIA, 2015) são: a dificuldade em representar os perfis de ventos, a rugosidade do entorno edificado e o perfil turbulento do vento dentro da camada limite; o uso de modelos teóricos para calcular os dados de vazão e velocidades do ar interno, a necessidade de um grande controle sobre o ambiente e as condições de ensaio para que não sejam gerados dados incorretos; e o alto custo desse tipo de experimento.

4.2.2 Métodos prescritivos

Como afirmado no item anterior, os modelos empíricos ou teóricos de predição da ventilação natural são baseados em dados extraídos de experimentos realizados em túneis de vento e em descrições dos princípios físicos que regem a fluidodinâmica. Os modelos empíricos contam com constantes e exponentes retirados dos experimentos em túneis de vento e possuem sua aplicabilidade restrita a condições semelhantes às dos experimentos. Os modelos teóricos por sua vez, são baseados nos princípios de conservação de massa e energia, assumindo simplificações, tais como estabilidade e simetria no fluxo de ar, que geram equações mais fáceis de serem aplicadas prescritivamente (PASSE E BATTAGLIA, 2015). Segundo Srebric (2011), os modelos semi-empíricos são modelos teóricos calibrados por coeficientes empíricos, e representam a forma mais simples predição de ventilação natural através dos chamados modelos single zone, capazes de representar apenas uma zona ou ambiente por vez.

Os modelos prescritivos encontrados na literatura levantada (TOLEDO, 1999; ALLARD, 1998; BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008; SREBRIC, 2011; PASSE E BATTAGLIA, 2015) determinam o fluxo de ar interno em função das seguintes variáveis: área da abertura, velocidade do vento incidente, o coeficiente de perda de pressão ao passar pela abertura (coeficiente de descarga), e a diferença entre os coeficientes de pressão na entrada e saída do ar. As diferenças entre esses modelos são devidos à inserção de outras variáveis, como relações entre as áreas de entrada e de saída, densidade do ar, gravidade; devido às condições em que foram realizados os experimentos; e à condição de ventilação que se pretende avaliar, ventilação cruzada ou por uma única fachada. Os modelos prescritivos são capazes de oferecer uma primeira e rápida estimativa do desempenho da ventilação, e podem ser aplicados nas fases iniciais de projeto, porém, os projetistas devem ter em mente suas restrições e aplicabilidades (ALLARD, 1998).

4.2.3 Modelos AirFlowNetwork (AFN)

Os modelos de energia são baseados em modelos nodais, e as relações de troca de calor e massa são resolvidas entre eles. De forma semelhante é considerada a ventilação natural através dos modelos de AFN, onde o fluxo de ar entre os nós é calculado através da diferença de pressão entre eles. Com isso é possível se calcular dados como a pressão, fluxo de ar no ambiente, temperatura, umidade, e as trocas de calor sensível e latente.

Os valores de pressão necessários para o cálculo são obtidas através dos Coeficientes de Pressão (C_p), que são uma razão da pressão exercida em uma determinada superfície em relação à velocidade do vento incidente através de um número adimensional, sendo assim possível determinar a pressão resultante a partir de qualquer velocidade de vento que incida sobre esta superfície. Os C_p padrão utilizados pelos softwares são resultantes de bancos de dados, sendo os mais comuns o AIVA e o ASHRAE Handbook (WANG et al. 2012). Esses bancos de dados são alimentados por

compilações de C_p medidos em campo ou em túnel de vento – classificados através de regressões de acordo com parâmetros como a altura do edifício, relação entre altura, largura e comprimento da geometria do edifício, condições de entorno, como estar inserido em área rural ou em ambiente urbano adensado, por exemplo.

4.2.4 Modelos de Computational Fluids Dynamics (CFD)

O modelo CFD é baseado na discretização do volume do edifício em pequenos subvolumes, onde são solucionadas para cada vértice as equações de Navier-Stokes, nomeadas equações de conservação de massa, energia e momento para assim derivar os campos de velocidade do ar e temperatura (ALLARD, 1998). Entre as variáveis consideradas nessas formulas estão: densidade do fluido, velocidade, viscosidade (atrito), força exercida, tempo, espaço (x,y,z), temperatura, forças tensões normais e de cisalhamento.

> CFD é considerado a técnica mais complexa e demorada, mas também a mais flexível. [...] o processo é demorado e apenas algumas situações típicas de vento, ao invés de todos os casos possíveis, são considerados na prática. Isto é o porquê do CFD ser mais comumente usado para testar comportamentos térmicos de um edifício em condições extremas, como por exemplo uma tarde quente de verão. Esta prática é considerada uma visão limitada porque os projetistas precisam entender como um edifício se comporta durante o ano todo e com qual frequência os ocupantes podem estar insatisfeitos com as condições interiores". (Wang et al, 2012)

Os modelos de CFD são capazes de mostrar detalhadamente como o fluido, se comporta de acordo com as condições de contorno descritas na modelagem. Entretanto esse alto grau de detalhamento exige um custo computacional muito elevado, inviabilizando estudos anuais. Portanto nos estudos encontrados na literatura o CFD é utilizado para definir as condições de contorno dos modelos de energia (ME), como o cálculo dos C_p's, ou para estudos de escoamento do ar e estratificação da temperatura no interior de edifícios.

4.2.5 Simulações conjuntas: AFN + CFD

Foram encontradas na literatura várias referências de estudos utilizando a metodologia de associação dos modelos de simulação descritos nos itens 4.2.3 e 4.2.4. O estudo de Wang et al. (2012) tem como objetivo a definição de uma metodologia de obtenção dos coeficientes de pressão através de simulações em CFD para alimentar as simulações dos ME. A justificativa segundo Wang et al. (2012) é que "os valores de Cp usados atualmente na maior parte dos softwares de modelos de energia são baseados em bancos de dados de Cp ou modelos analíticos, que ignoram o efeito do contexto urbano e da própria forma do edifício. ". Com os resultados da simulação CFD foram extraídos os valores de C_p para cada uma das aberturas do edifício que foram inseridos no ME. Como resultado das simulações do ME

foram comparados os valores obtidos da temperatura do ar e da vazão de ar no ambiente em um modelo com os valores padrão de C_p dos softwares de ME e em outro modelo com os valores de C_p obtidos com a simulação em CFD. Os resultados mostraram que a simulação com os valores padrão de C_p subestimaram o potencial da ventilação natural.

O estudo de Wang e Wong (2009) teve como objetivo uma metodologia de simulação conjunta entre ME e CFD para melhor predição de condições internas de um cômodo em relação à ventilação natural. Neste estudo foi considerado o ambiente sem influências do entorno. Primeiro foram simulados os cenários no ME para a definição das condições de contorno a serem usadas na simulação de CFD, tais como, as temperaturas das faces internas, a velocidade e pressão de vento em cada uma das aberturas. Foram comparados os resultados de uma simulação toda feita em CFD, que foi utilizada como referência de validação, com os resultados de duas formas de simulação conjunta, uma usando os valores de velocidade de vento nas aberturas e outra usando os valores de pressão de vento nas aberturas. Os resultados mostram que as simulações que utilizam os valores de pressão de vento nas aberturas como dado de entrada para a simulação CFD se aproximam mais dos resultados da simulação referência, tanto para os valores de velocidade do ar no interior do ambiente quanto para o comportamento do volume de ar interno em relação aos perfis de escoamento.

4.3 Análise PLOR

Após o levantamento das características de cada tipo de metodologia de predição da ventilação natural como mostrado acima, foi aplicado o método PLOR e gerado o quadro a seguir. (QUADRO 1)

Quadro 1 – Matriz PLOR das metodologias de predição de ventilação natural

Metodologia	Potencialidades	Limites	Oportunidades	Riscos
Prescritivos	Fácil entendimento e aplicação.	Cálculo de apenas uma zona. Não considera entorno.	Facilmente aplicável nas etapas iniciais de projeto.	Simplificação do cálculo e dos dados de entrada tendem a obtenção de resultados imprecisos.
Túnel de vento	Permite representação do entorno, estudos de escoamento no entorno do edifício e no interior, gera dados instatâneos	Custo elevado e difícil acesso. Dificuldade em representar os perfis de velocidade do vento e o fluxo turbulento de ar existentes na camada limite.	Gerar dados primários para o desenvolvimento de modelos empíricos e teóricos.	Necessidade de grande controle sobre o experiemento para não gerar dados incorretos.

AFN	Simulação de multi-zonas com integração entre elas. Resultados confiáveis. Facilidade de gerar dados anuais	Considera o volume de ar como um ponto, gerando valores médios. Dependência da entrada criteriosa de dados como C_p, para gerar resultados confiáveis	Uso de dados externos como dados de entrada para simulação do impacto da ventilação no conforto térmico.	Cuidado na construção do modelo e na entrada de dados para evitar distorções.
CFD	Simulação espacial que permite gerar dados sobre o volume e não um ponto médio.	Necessidade de conhecimento técnico, representa cenários específicos, alto custo computacional para simulações anuais	Permite a compreensão detalhada e visual do que acontece com todo o volume estudado	Imperícia na entrada de dados e definição das condições de contorno pode gerar distorções nos resultados
AFN + CFD	Usa as potencialidades de cada modelos. Permite obter dados mais precisos com menor custo computacional que o CFD	Necessidade de conhecimento prévio do fenômeno físico e da metodologia de simulação conjunta	Redução do custo computacio-nal e aumento da precisão dos resultados.	Imperícia na entrada de dados e definição das condições de contorno pode gerar distorções nos resultados

Fonte: Os autores

5 CONCLUSÃO

Devido ao nível de desenvolvimento desses países e a expressiva adoção do condicionamento artificial, na norma norte americana, a ASHRAE 62.1, e nas normas europeias, a maior preocupação evidenciada é com as taxas mínimas de renovação de ar necessárias para a dispersão e exaustão dos poluentes gerados no interior das edificações. A fixação de um valor mínimo de renovação de ar tenta equilibrar a garantia da qualidade interna do ar com o consumo energético dos sistemas de climatização artificial, uma vez que a admissão de ar externo significa ganho ou perda de calor, em sistemas de resfriamento e de aquecimento, respectivamente. Já os parâmetros prescritivos existentes na normalização brasileira não são capazes de garantir o desempenho da ventilação e sua contribuição para o conforto térmico dos usuários das edificações. É necessária a criação de parâmetros que relacionam, por exemplo, o clima local, o entorno edificado, a disponibilidade de ventos, a orientação da edificação.

Dentre os métodos de predição levantados e analisados através da matriz PLOR, é possivel avaliar a aplicabilidade de cada um ao que se pretende fazer. Os túneis aerodinâmicos permitem a representação do fenômeno de

forma muito próxima à realidade, permitindo se analisar todas as possibilidades, desde a escala urbana ao interior de um cômodo, porém são pouco acessíveis e de alto custo. Os modelos prescritivos permitem análises iniciais e pré-dimensionamentos de forma fácil e rápida, porém possui limitações devido às simplificações assumidas na sua modelagem. Os modelos computacionais vêm ganhando espaço nos ultimos anos com o desenvolvimento da capacidade computacional das máquinas. Eles permitem analises complexas com alto grau de confiabilidade, principalmente em simulações conjuntas. Entretanto é necessário conhecimento específico na área para que o profissional seja capaz de criar modelos corretos.

Não foram considerados neste trabalho, e seguem como sugestão de continuidade da revisão bibliográfica, as metodologias de obtenção e controle dos dados de entrada, e dos paramentos a serem considerados na construção dos modelos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a CAPES pelo financiamento desta pesquisa, e à FAPEMIG pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575** – Edificações Residenciais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 16401**– Instalações de Sistemas de ar-condicionado – Sistemas centrais e Unitários. Rio de Janeiro, 2008.

AIVC – AIR INFILTRATION AND VENTILATION CENTRE. **A guide to energy efficient ventilation.** AIVC, 1996.

ALLARD, F. (ed.). **Natural Ventilation in Buildings**. Londres: James & James, 1998.

ASHRAE – AMERICAM SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - **Standard 62.1**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Qualitu. Atlanta: ASHRAE; 2007.

BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, ano 138, nº 200, 18 de outubro de 2001.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. [3ª ed.]. Maceió: EDUFAL, 2008. 173p.

CÂNDIDO, C. et al. **Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot climate zone**. Building and Environment, 2010;(45): 222-229.

CAREY, P.S., ETHERIDGE, D.W., 1999. **Direct wind tunnel modeling of natural ventilation for design purposes**. Building Service Engineering Research and Technology 20 (3), 131-142.

COOK, N.J. **A boundary layer wind tunnel for building aerodynamics**, J. Ind. Aerodynamics, 1 (1975) 3-12.

DIMITROULOPOULOU, C. **Ventilation in European dwellings**: A review. Building and Environment, 2012; (47): 109-125;

SREBRIC, Jelena. Ventilation performance prediction. In: HENSEN, Jan. L. M.; LAMBERTS, Roberto (org.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Londres: Spon Press, 2011.

KARAVA, Panagiota. **Airflow Prediction in Buildings for Natural Ventilation Design: Wind Tunnel Measurements and Simulation**. 2008. 243 f. Tese (Doutorado). Department of Building, Civil, and Environmental Engineering. Concordia University Montreal, Canada. 2008.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - **Balanço Energético Nacional 2015** – Ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2015.

PASSE, Ulrike; BATTAGLIA, Francine. **Designing spaces for natural ventilation**; An architect's guide. New York: Routledge, 2015.

PONTES, et al. **Análise de sensibilidade e avaliação da estrutura do modelo BALSEQ em condições distintas de clima, solo e vegetação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2015; (20): 46-54;

TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação natural das habitações**. Coordenação da publicação brasileira por Alexandre Toledo. Maceió: EDUFAL, 1999.

WANG et al. **Simulating naturally ventilated buildings with detailed CFD-based wind pressure database**. In: SimBuild 2012, 5th National Conference of IBPSA-USA, Madison, WI.

WANG, L.; WONG, N.H. **Coupled simulations for naturally ventilated rooms between building simulation (BS) and computational fluid dynamics (CFD) for better prediction of indoor thermal environment**. Building and Environment, 2009; (44): 95-112;

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

OFUSCAMENTO E ENTORNO: ESTUDO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS MULTIPAVIMENTOS[1]

Lilianne de Queiroz Leal (1), Solange Maria Leder (2)

(1) UFCG, e-mail: liliannequeiroz@hotmail.com; (2) UFPB, e-mail: solangeleder@yahoo.com.br

RESUMO

Taxas de ocupação elevadas e a verticalização são variáveis de entorno que interferem no comportamento da luz natural nos interiores. A ação de superfícies com alta refletividade é recorrente nas especificações das fachadas, intensificando a ocorrência de sobrecarga térmica e desconforto visual. Neste sentido, o presente trabalho aborda a influência do entorno edificado sobre a autonomia e a probabilidade de ofuscamento em edifícios multifamiliares localizados em região de clima quente e úmido. Com uso do *software* computacional *Daysim* e o aplicativo *Evalglare*, foi simulado o comportamento da iluminação natural em 12 modelos, associando obstrução do entorno, coeficiente de reflexão das fachadas e pavimento. Dentre os indicadores de desempenho, determinaram-se a Autonomia espacial da Luz Natural (AeLN), a Iluminância Natural Excessiva (INE) e a Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN), totalizando 36 simulações. Constatou-se que índices máximos de ocupação resultaram em uma maior variabilidade da autonomia espacial - AeLN. Em contrapartida, grande parte dos ambientes apresentou iluminâncias acima de 3000lux em mais da metade do ano. Os ambientes inseridos em cenário máximo com refletividade de entorno 58% atingiram percentuais de INE inferiores a 10% ao ano e as menores ocorrências de ofuscamento intolerável. O entorno e sua refletividade foram destacados como variáveis impactantes, registrando uma forte associação entre o desempenho da luz natural e o desconforto visual.

Palavras-chave: Entorno edificado. Ofuscamento. Simulação computacional.

ABSTRACT

High occupancy rates and verticalization are environment variables that affect the daylight behaviour of internal spaces. The action of surfaces with high reflectivity is frequent in the specifications of the facades, increasing the occurrence of thermal overload and visual discomfort. In this context, this paper discusses the influence of the nearest buildings on the autonomy and the glare probability in multi-storey buildings located in hot and humid climate region. With the use of computer software, Daysim and Evalglare application was simulated the behaviour of daylight in 12 models, associating nearest obstruction, reflection coefficient of the facades and storey. Among the performance, indicators determined the Spatial Daylight Autonomy (sDA), Excessive Useful Daylight Illuminance (eUDI) and Daylight Glare Probability (DGP), totalling 36 simulations. The maximum occupancy rates resulted in a greater variability of the spatial range - sDA. In contrast, most of the environments presented above 3000lux illuminance in more than half the year. The environments inserted in maximum scenery with around 58% reflectivity reached eUDI percentages less than 10% per year and the lowest occurrence of intolerable glare. The nearest buildings and its reflectivity

[1] LEAL, L. de Q.; LEDER, S. M. Ofuscamento e entorno: estudo em edifícios residenciais multipavimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

highlighted as affecting variables, recording an association between the performance of daylight and visual discomfort.

Keywords: *Nearest building. Glare. Computer simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Para explorar o uso da luz natural nas edificações, é indispensável reconhece-la como fonte de iluminação abundante e acessível. Seu potencial de aproveitamento modifica em função da radiação solar direta, da luz proveniente da abóbada celeste e das reflexões nas obstruções externas e nas superfícies internas.

Diante de tais interferências, a disponibilidade da iluminação natural pode ser alterada mediante diferenças de gabarito das edificações e ainda configuração das vias (TSANGRASSOULIS *et al.*, 1999). Com efeito, a componente refletida externa depende da geometria urbana e ainda das propriedades das superfícies quanto à sua refletividade. As particularidades destas superfícies conduzem a constantes alterações no comportamento da luz natural nos espaços internos das edificações.

O impacto no uso de coeficientes de reflexão elevado, sobretudo em espaços urbanos adensados, ainda é pouco abordado em investigações acerca do conforto luminoso. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do entorno na autonomia da luz natural e no ofuscamento em ambientes internos, a partir de estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos inseridos em região de clima quente e úmido.

2 OFUSCAMENTO E ENTORNO

A verticalização e o adensamento vêm representando um traço característico no cenário dos grandes centros urbanos. Vistos como elementos mitigadores do aproveitamento da iluminação natural, dito por Cintra (2011), as peculiaridades do entorno intervêm no acesso à fonte de luz natural nos ambientes internos. De fato, o entorno pode ser destacado como um fator de interferência, diante da ação da luz refletida, sobretudo em locais com presença de sol em malha urbana obstruída.

Cabe ressaltar ainda os impactos no aproveitamento lumínico natural ocasionados pela diferença do grau de obstrução entre os cenários urbanos de baixa e alta densidade. Em Mendoza na Argentina, fez-se um comparativo entre as condições lumínicas do entorno da cidade e um novo estudo do código de obras, cuja reformulação possibilitava o uso e a ocupação máximos do solo (CÓRICA e PATTINI, 2011). Os autores destacaram que as componentes difusa e refletida do entorno contribuíram para um aumento significativo no consumo energético e no desconforto visual, principalmente nos períodos mais ensolarados.

A associação entre a radiação solar intensa e a adoção de superfícies verticais com elevado coeficiente reflexão provoca alterações nos níveis de iluminância (LI *et al.*, 2010), uma vez que a predominância das cores claras

nas fachadas incrementa o recurso lumínico nos ambientes internos. Ao passo em que aumenta a iluminação interna dos edifícios, a propriedade de reflexão também afeta outros fatores quando ultrapassada a faixa de luz autônoma, a exemplo do ofuscamento (MESA, 2005).

Ambientes coorporativos na cidade de Montreal registraram altos índices de desconforto por ofuscamento sobretudo em espaços cujos planos de trabalho são compostos por materiais de elevada refletividade, como as telas dos monitores. Quando tais superfícies receberam maior alcance da reflexão do céu, o risco de ofuscamento elevou significativamente (CANTIN e DUBOIS, 2011).

3 MÉTODO

O procedimento foi dividido em quatro etapas: (1) Recorte urbano e caracterização dos cenários; (2) Definição do ambiente interno; (3) Simulação computacional; e (4) Métodos de análise.

3.1 Recorte urbano e caracterização dos cenários

O estudo foi delimitado em recorte urbano situado no bairro de Manaíra por ser caracterizado como um dos mais verticalizadas da cidade de João Pessoa/PB. Inserido em Zona Adensável Prioritária (ZAP), o perímetro urbano apresenta taxa de ocupação máxima de 4,0, de acordo com o Decreto Nº 5900/ 2007.

Para caracterização dos cenários, foram consideradas as variáveis construtivas predominantes no bairro, quanto à dimensão de aberturas, altura dos edifícios e refletância média das fachadas. O recorte escolhido está situado em área central, contemplando nove quadras, destacados em mapa de localização na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização do recorte.

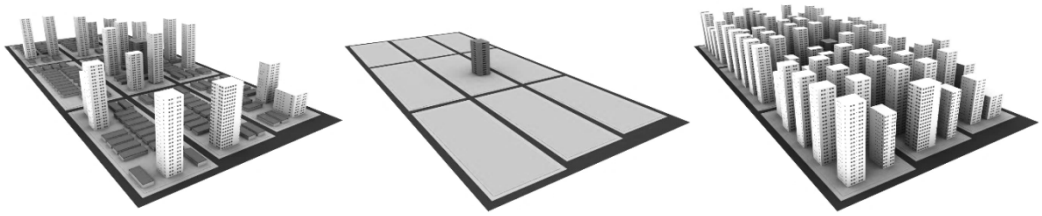


Fonte: Adaptado do *Googlemaps*

Os cenários foram definidos em três categorias: C1: Cenário Atual (Figura 2a), o qual representa a configuração presente no recorte urbano; C2:

Cenário Sem Entorno (Figura 2b), cuja edificação está isolada; e C3 e C4: Cenários Máximos (Figura 2c), que representam a magnitude de ocupação do solo e do gabarito. Todos os cenários foram modelados no programa *Sketchup* v8.0, seguindo as características atuais e as de maior predominância no bairro.

Figura 2 – a. Cenário Atual (à esquerda); b. Cenário Isolado (centro) e c. Cenário Máxima Ocupação (à direita).



Fonte: Os autores

Acrescentou-se a estes a variação da refletividade das superfícies verticais das edificações do entorno. Assim, foram adotados dois coeficientes: o de reflexão médio de 58%, predominante no bairro, e de 90%, como condição elevada. O cenário atual contemplou apenas o coeficiente médio, ao passo que o máximo adotou ambos os percentuais, sendo denominados C3 e C4, respectivamente.

3.2 Definição do ambiente interno

Para o ambiente interno em estudo, foi definido um edifício como parâmetro fixo para todos os cenários. Sua configuração obedeceu às características preponderantes no bairro quanto aos limites máximos nos percentuais de abertura e à 90% de refletividade para a envoltória. Inserido em quadra e lote centrais, o edifício apresentou dimensões de 39m x 30m, resultante de remembramento de três terrenos de 13mx30m, seguindo a orientação mais recorrente do local.

Ainda, foram adotados três pavimentos para investigação, o andar Térreo, o pavimento Intermediário (8º) e a Cobertura (15º), tendo na orientação sudeste e os ambientes internos situados na porção central da lâmina. De geometria retangular de 5,50 m de largura, 6,50 m de profundidade e 2,80 m de altura, o ambiente de estudo apresentou uma abertura de 5,50 m de largura e 1,20 m de altura (Figura 3).

3.3 Simulação computacional

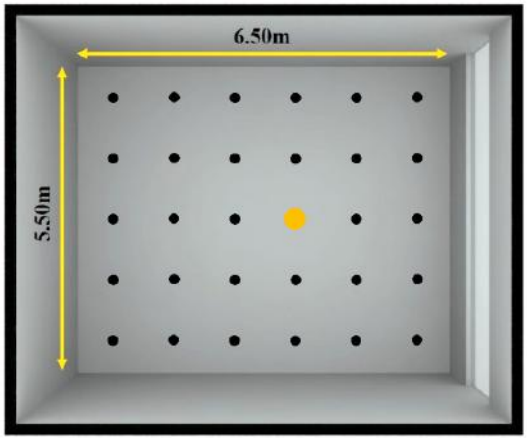
O estudo foi realizado por meio de ferramenta computacional de simulação da iluminação natural, *Daysim* (versão 3.1b). Desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC) e o *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*, o programa analisou o comportamento dinâmico da luz natural nos modelos tridimensionais para o período de um ano.

Para o processamento das simulações, utilizaram-se o arquivo climático anual da cidade de João Pessoa (TRY – *Test Reference Year*), os modelos

virtuais dos cenários, do edifício e dos ambientes (formato .3ds), o arquivo de pontos referente à malha de sensores de iluminância (formato *.pts*) e o perfil de ocupação configurado para o horário entre 6h e 17h (formato *.occ*).

Em cada ambiente interno, foi distribuída uma malha de sensores para geração dos valores de iluminância, totalizando 30 pontos à altura do plano de trabalho de 0,75m e um destes pontos, em destaque na Figura 4, foi utilizado para a simulação da probabilidade de ofuscamento, por meio do aplicativo *Evalglare*, em apenas 4 meses do ano.

Figura 3 – Ambiente interno e malha de pontos 5 x 6.



Fonte: Os autores

Os modelos foram caracterizados a partir da combinação de três parâmetros: tipo de cenário, refletância das superfícies do entorno e altura do pavimento, totalizando 12 modelos. Seguindo as recomendações de Reinhart (2010), adotaram-se, em todas as simulações, refletâncias de 18% no asfalto e 27% nas calçadas, e para o piso, paredes e teto internos, 30%, 70%, 80%, respectivamente. Para aberturas, foi utilizada 90% de transmissão luminosa, referente ao vidro transparente de 3 mm.

As variáveis de análise utilizadas foram: a autonomia espacial da luz natural (AeLN) e a iluminância natural excessiva (INE) para determinação da eficiência da luz natural nas condições autônoma e excessiva, bem como a probabilidade de ofuscamento da luz natural (POLN) para identificação dos ambientes com maior possibilidade de desconforto visual. Neste estudo, adotaram-se iluminâncias superiores a 300lux como referência para AeLN e superiores a 3.000lux para INE, com base em Mardaljevic *et al. (*2011).

3.4 Métodos de análise

Para avaliação do desempenho da iluminação natural foram adotados os seguintes critérios: Autonomia espacial acima 55% da área de piso do ambiente com iluminância acima de 300lux em 50% do ano em concordância com *Leadership in Energy and Environmental Design – LEED* e a iluminância excessiva superiores a 10% do ano em pelo menos 10% de área do ambiente. Já a probabilidade de ofuscamento da luz natural (POLN) foi determinada de acordo com as faixas de ocorrência de desconforto visual

preditas por Wienold (2010), ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2. Faixas de predição de ofuscamento.

	Imperceptível	Perceptível	Desconfortável	Intolerável
POLN	< 0,35	0,35 - 0,40	0,40 - 0,45	≥ 0,45

Fonte: Wienold (2010)

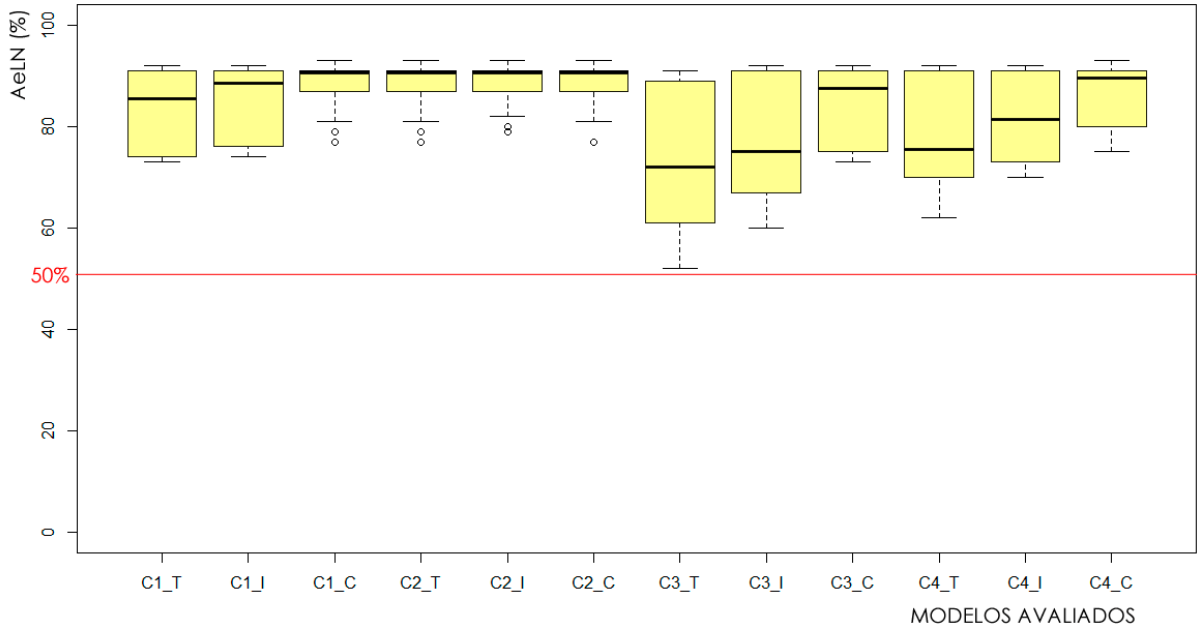
A partir dos percentuais de AeLN, INE e POLN, foram aplicados testes estatísticos no software R (Versão 3.0.1). A princípio, foi indicada a distribuição dos dados em gráficos de caixa (*boxplots*) por modelo, aplicando na sequência testes estatísticos de normalidade (*Shapiro test*) e de análise de variância, a fim de realizar comparação entre os grupos a partir da medida de variabilidade dos dados. Em complemento, aplicou-se o teste de hipóteses *Wilcoxon Rank*, procedimento não paramétrico, que substitui o teste t de *Student*, para comparação de uma variável quantitativa entre dois grupos. Além da verificação das possíveis chances de semelhanças entre o comportamento das amostras comparadas, também pode-se estimar suas respectivas diferenças. Para tais estimativas foram adotadas margem de erro com limites superior e inferior a 5% do valor esperado por meio dos intervalos de confiança (95%).

4 RESULTADOS

4.1 Autonomia Espacial (AeLN) e Iluminância Natural Excessiva (INUex)

Quanto à distribuição das iluminâncias, identificou-se que todos os modelos na fachada em estudo (Sudeste) registraram autonomia espacial acima do recomendado (Figura 4). Cabe ressaltar algumas similaridades nos resultados dos ambientes inseridos na cobertura do cenário atual (C1_C) e em todos os pavimentos do cenário sem influência do entorno (C2_T, C2_I e C2_C).

Figura 4 – Distribuição dos dados de iluminância autônoma (AeLN%).



Fonte: Os autores

Constatou-se ainda que os referidos modelos registraram os maiores percentuais em autonomia, com pouca variação no desempenho anual oscilando entre 80 e 95%. Este fato ocorreu em função das características análogas destes ambientes quanto à influência da fonte de luz direta.

Diante da distribuição espacial e dos percentuais de iluminância alcançados ao ano, considerou-se o pavimento cobertura inserido no Cenário Atual – C1_C como modelo referência para realização dos testes de hipóteses não paramétrico *Wilcoxon Rank*.

O Quadro 1 ilustra o comparativo espacial das iluminâncias acima de 300lux entre os modelos. Conforme realização do teste, observou-se que os ambientes inseridos no cenário máximo de refletância 90% (C4) apresentaram diferenças pouco significativas em relação ao modelo referência. Em virtude da componente refletida externa, equiparou-se a um cenário sem entorno ou pouco obstruído. Neste mesmo cenário, a cobertura (C4_C) registrou variação entre 75 e 90% de AeLN.

Quadro 1 – Teste de hipóteses entre modelos – Autonomia Espacial.

Cenários	**Resultado do teste – Estimativa em AeLN (%)**
C1_Cobertura > C1_Térreo	Diferença estimada em 6,5%
C1_Cobertura > C1_Intermediário	Diferença estimada em 4,5%
C1_Cobertura > C3_Térreo	Diferença estimada em 15,5%
C1_Cobertura > C3_Intermediário	Diferença estimada em 14,5%
C1_Cobertura > C3_Cobertura	Diferença estimada em 6%
C1_Cobertura > C4_Térreo	Diferença estimada em 13,5%
C1_Cobertura > C4_Intermediário	Diferença estimada em 8%
C1_Cobertura > C4_Cobertura	Diferença estimada em 4%
Para hipótese de igualdade rejeitada, a estimativa da diferença teve margem de erro de 5%.	

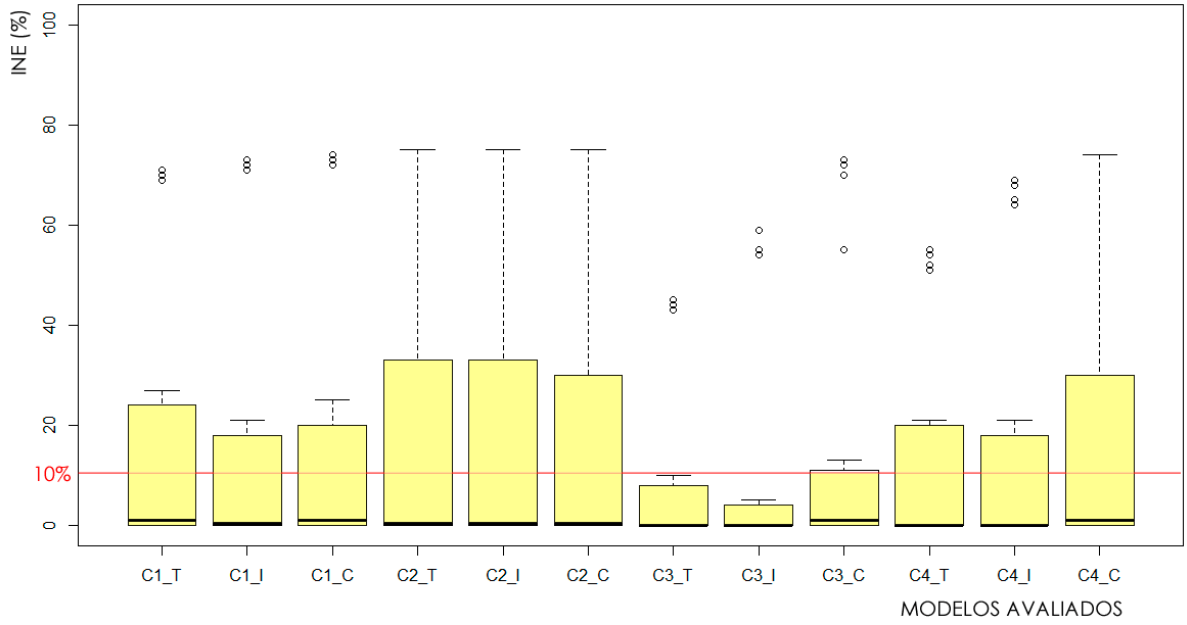
Fonte: Os autores

O modelo que apresentou estimativa da diferença mais expressiva foi o Cenário Máximo com refletividade 58% (C3) no pavimento térreo. O bloqueio ocasionado pelas superfícies verticais e a ação de um coeficiente de reflexão menor impactou no aumento da diferença estimada em 15,5%, sendo este o ambiente com maior variação, oscilando entre 50% e 90%.

A Figura 5 demonstra a distribuição do percentual ao ano das iluminâncias superiores a 3000lux, tendo a faixa de INE inferior a 10% como critério para os ambientes com possíveis reduções na ocorrência de desconforto visual. Os modelos inseridos no cenário máximo de refletância 58% (C3) apresentaram variação de INE abaixo do parâmetro de análise, sendo estes o de melhor desempenho quanto aos níveis de iluminação.

Diferente destes, os modelos do cenário sem entorno (C2) e a C4_C apontaram poucas diferenças de distribuição entre os pavimentos avaliados, atingindo INE em até 75%. Estes, por sua vez, apresentaram maiores ocorrências de iluminâncias acima da faixa autônoma.

Figura 5 – Distribuição dos dados de Iluminância Natural Excessiva (INE%)



Fonte: Os autores

Quanto à aplicação do teste de hipótese, os resultados confirmaram chances de igualdade no comportamento das iluminâncias excessivas para os ambientes do cenário atual (C1). Para tanto, estes modelos foram tomados como parâmetro para comparativos entre os demais (Quadro 2).

Quadro 2 – Teste de hipóteses entre modelos – Iluminância Natural Excessiva.

Cenários	**Resultado do teste – Estimativa**
C1 < C2_Térreo e Intermediário	Diferença estimada em 5%
C1 < C2_Cobertura	Diferença estimada em 4%
C1 > C3_ Térreo	Diferença estimada em 15%
C1 > C3_ Intermediário	Diferença estimada em 8%

C1 > C3_Cobertura	Diferença estimada em 6%
C1 > C4_ Térreo	Diferença estimada em 5%
C1 > C4_ Intermediário	Diferença estimada em 3%
C1 < C4_ Cobertura	Diferença estimada em 2,5%
Para hipótese de igualdade rejeitada, a estimativa da diferença teve margem de erro de 5%.	

Fonte: Os autores

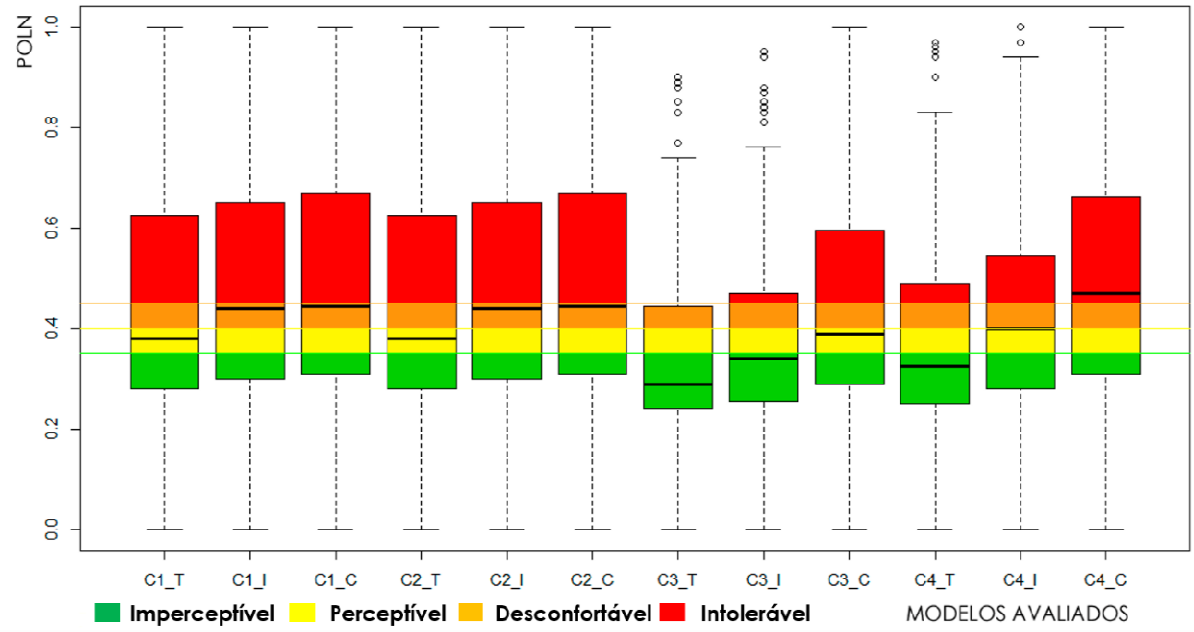
Conforme ilustrado no gráfico de caixas (Figura 5), confirmou-se um aumento no percentual de INE do sem entorno (C2) quando confrontados com os ambientes do cenário atual (C1). Já os registros de maiores estimativas foram atingidos pelos ambientes inseridos em C3. Ainda, percebeu-se uma redução nas diferenças a medida que aumentou o nível do pavimento, sendo 15%, 8% e 6%, respectivamente. A menor diferença, no entanto, foi atingida nas coberturas do cenário máximo com maior reflexão no entorno (C4_C), com 2,5% de INE a mais que o cenário atual (C1).

É importante observar que, os percentuais de INE, em sua maioria, foram alcançados nos sensores localizados mais próximos às aberturas. Tal localização permitiu maior acesso à luz solar direta e à ação efetiva das reflexões externas, o que justificou o elevado percentual nestas áreas. Inverso a estes, os pontos situados ao final do ambiente apresentaram níveis de iluminância abaixo de 3000lux, porém enquadrado na faixa autônoma, obtendo valores de INE nulos.

4.2 Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN)

Para análise do desconforto visual, a métrica da Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN) foi avaliada em função das variáveis de entorno. Através do gráfico de caixas, ilustrados no Figura 6, obteve-se um panorama das distribuições dos dados, demostrando, em sua totalidade, comportamentos assimétricos.

Figura 6 – Distribuição dos dados de Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural.



Fonte: Os autores

Dentre os resultados alcançados, notaram-se semelhanças entre os registros de POLN com variação gradativa ao passo que aumentou o nível dos pavimentos, sobretudo nos cenários atual e sem entorno, C1 e C2, respectivamente. Estes, por sua vez, apresentaram valores das medianas entre 0,40 e 0,45, já avaliada como faixa de ofuscamento desconfortável. Desempenho análogo ocorreu no cenário máximo sob reflexão do entorno de 90%, mais especificamente na cobertura (C4_C).

Os ambientes do cenário máximo com influência da refletividade de 58% (C3) registraram menores variações. A cobertura (C3_C), por sua vez, alcançou valores superiores a 0,45 (ofuscamento intolerável) em aproximadamente 50% da amostra. Ao contrário deste, destacaram-se o pavimento térreo (C3_T) e o intermediário (C3_I) como modelos em evidência, visto que obtiveram faixas de ofuscamento imperceptível (POLN < 0,35) em mais 50% dos dados. Cabe ressaltar ainda que os índices de ofuscamento entre 0,80 e 1,0 foram registrados, em sua maioria, nos períodos entre 13h e 15h.

A partir do comparativo entre as variáveis, expresso no Quadro 3, estimaram-se poucas diferenças estatisticamente significativas, variando de 2 a 9%, exceto o modelo C2_Térreo que apontou grandes chances de igualdade entre o modelo C1_T, utilizado como referência. O teste de hipóteses mostrou que os modelos inseridos no cenário máximo com refletância 58% apresentaram percentuais superiores aos demais, em especial o pavimento térreo (C3_T) com 9% de diferença estimada.

Quadro 3 – Teste de hipóteses entre modelos – Probabilidade de Ofuscamento.

Cenários	**Resultado do teste – Estimativa**
C1_Térreo = C2_Térreo	Grandes chances de igualdade.
C1_Térreo < C2_Intermediário	Diferença estimada em 3%
C1_Térreo < C2_Cobertura	Diferença estimada em 4%
C1_Térreo > C3_Térreo	Diferença estimada em 9%
C1_Térreo > C3_ Intermediário	Diferença estimada em 7%
C1_Térreo > C3_ Cobertura	Diferença estimada em 2%
C1_Térreo > C4_Térreo	Diferença estimada em 5%
C1_Térreo > C4_Intermediário	Diferença estimada em 2%
C1_Térreo < C4_Cobertura	Diferença estimada em 3,5%
Para hipótese de igualdade rejeitada, a estimativa da diferença teve margem de erro de 5%.	

Fonte: Os autores

Já os localizados em cenário sem entorno (C2) apresentaram semelhanças de estimativas com o cenário máximo com reflexão 90%, sobretudo na cobertura (C4_C). Tais modelos alcançaram valores aproximados, em virtude das características do entorno e da influência sobre os ambientes internos. O elevado grau de obstrução somado a alta refletância das superfícies se equipararam aos cenários com baixo impacto do entorno e forte incidência da luz direta.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudada a influência do entorno em edifícios residenciais multipavimentos localizados em região de clima quente e úmido. Nesta análise, comparou-se o desempenho lumínico de ambientes internos orientados à sudeste sob características distintas de entorno quanto à ocupação, ao coeficiente de reflexão das fachadas e à altura do pavimento.

Para o recorte investigado, a implantação das taxas máximas de ocupação, em concordância com legislação vigente, resultou em uma maior variabilidade da autonomia espacial (AeLN entre 50% e 90%) ao comparar com a situação atual (AeLN entre 75 e 90%). Consequentemente, ocorreu uma variação de AeLN de 80 a 90% para condições de edifício isolado, sem influência do entorno. Nenhum modelo registrou baixo desempenho quanto aos percentuais de autonomia para iluminância acima de 300lux.

Em relação aos resultados de Iluminância Natural Excessiva (INE), percebeu-se que, mesmo com valores de iluminâncias dentro da faixa autônoma, grande parte dos ambientes apresentou frequências de iluminância acima de 3000lux em mais de 50% do ano. Apenas os modelos inseridos em cenário máximo com menor refletância de entorno (58%) atingiram percentuais de INE inferiores a 10% ao ano. Para os mesmos ambientes, registraram-se as

menores ocorrências de ofuscamento intolerável, confirmados pelos resultados de maior estimativa da diferença.

Para este estudo, a refletividade do entorno foi considerada uma variável de grande impacto, mesmo adotando-se como referência 58%, um valor relativamente elevado para os padrões empregados em estudos similares. A adoção de um valor ainda maior, de 90%, resultou em semelhanças nos resultados, sobretudo nos ambientes que não sofreram interferência da componente refletiva externa, como o caso do cenário sem entorno.

Desta forma, percebeu-se uma certa coerência no cruzamento dos dados registrados para a métrica de iluminância excessiva (acima de 3000lux) e a probabilidade de ofuscamento, confirmando, assim, uma forte associação entre os dois indicadores de desempenho da luz natural para as condições de entorno adotadas. Merece destacar ainda a importância da inserção das particularidades do entorno nos estudos desta magnitude, principalmente quanto aos aspectos da geometria e da adoção de diferentes coeficientes de reflexão.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRAISLEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho - parte 1: Interior [Lighting of work places Part 1: Indoor]: ABNT 2013.

CANTIN, F.; DUBOIS, M-C. **Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare Nand directivity.** Lighting Research Technology. 43: 291-307, 2011.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural:** A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais. Dissertação de mestrado, FAU-UNB, 2011.

CÓRICA, I; PATTINI, A. **Evaluación del acceso a la iluminación natural em edificios de alta densidad edilicia según los indicadores urbanos del código urbano y edificación de la ciudad de Mendoza.** Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Búzios-RJ, 2011.

LI, D. H. W.; CHEUNG, G. H. W., CHEUNG, K. L.; LAM, T. N. T. **Determination of vertical daylight illuminance under non-overcast sky conditions.** Building and Environment. V.45, p. 498-508, 2010.

MARDALJEVIC,J; ANDERSEN, M.; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J. **Daylighting metrics for residential buildings.** 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 11-15, 2011.

MESA, N. A.; PATTINI, A.; CÓRICA, I.; DE ROSA, C. **Metodologia de evaluacion de la potencialidad de la luz natural para iluminar edifícios, en entornos de alta densidad,**

en zonas áridas andinas. Estúdios de arquitectura bioclimática, México, vol. VI, p. 279-297, 2004.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulation for Sustainable Design.** Havard Design School, Cambridge. 2010.

TSANGRASSOULIS, A.; SANTAMOURIS, M. G. V; WILSON, M.; ASIMAKOPOULOS, D. A. **Method to investigate the potencial of South-oriented vertical surfaces for under sunny conditions.** Solar Energy, v. 66, n. 6, p. 439-446, 1999.

WIENOLD, J. **Daylight Glare in Offices.** Tese de doutorado. Fraunhofer Verlag, Alemanha, 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO TÉRMICO POR MEIO DE MEDIÇÕES *IN LOCO* DE EDIFICAÇÕES CONSTRUÍDAS EM PAREDES DE CONCRETO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6 E 8[1]

DIDONÉ, Katia Rosa (1); MILANI, Ana Paula da Silva (2); BERTOCINI, Sandra Regina (3)

(1) UCDB, e-mail: katiadidone@hotmail.com; (2) UFMS, e-mail: ana.milani@ufms.br; (3) UFMS, e-mail: sandra.bertocini@ufms.br

RESUMO

Há a carência de estudos relacionados ao comportamento térmico de edificações em paredes de concreto, dentro desta premissa, o trabalho teve por objetivo estudar o comportamento térmico de edificações construídas no sistema construtivo de paredes monolíticas de concreto para analisar a influência das variáveis construtivas tipo de janela, de pintura e de cobertura no ambiente construído frente às variáveis do zoneamento bioclimático 6 e 8. Para tal, foram selecionadas residências unifamiliares não ocupadas, construídas em paredes de concreto de 10 cm de espessura, em diferentes cidades no estado do Mato Grosso do Sul. Foram realizadas medições *in loco* no interior destas edificações, obtendo-se as variáveis de temperatura do ar interno e externo e temperatura da superfície interna das paredes. Por meio das características construtivas destas edificações e as aferições de temperaturas foram verificados os níveis de desempenho térmico, segundo critérios de normas brasileiras, e percebido a significativa influência nas soluções construtivas utilizadas no forro e cobertura das edificações com o sistema construtivo em paredes de concreto.

Palavras-chave: Comportamento térmico. Paredes de concreto. Atraso térmico.

ABSTRACT

There is a lack of studies related to the thermal behavior of buildings in concrete walls, within this premise, the study aimed to study the thermal behavior of buildings built in the building system of monolithic concrete walls, to analyze the influence of constructive type variables window, paint and cover the built environment facing the bioclimatic zoning variables 6 and 8. for such households were selected not occupied single family, built on concrete walls 10 cm thick, in different cities in the state of Mato Grosso South. In situ measurements were performed inside these buildings, obtaining the variables of temperature of the internal and external air and temperature of the inner surface of the walls. Through the constructive characteristics of these buildings and the measurements of temperature were checked levels of thermal performance of the same, according to criteria in the standard Brazilian, and noticed a significant influence on the solutions used in the lining of the buildings with the building system concrete walls.

***Keywords**: Thermal performance. Concrete walls. Thermal delay.*

[1]DIDONÉ, Katia Rosa; MILANI, Ana Paula da Silva; BERTOCINI, Sandra Regina. Desempenho térmico por meio de medições *in loco* de edificações construídas em paredes de concreto na zona bioclimática 6 e 8. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de desempenho térmico e comportamento térmico apresentam distinções entre eles, segundo Lamberts et al. (2010), a resposta física que a edificação apresenta, quando submetida às solicitações do clima externo, variáveis climáticas, e às condições de uso dos ambientes, é denominada comportamento térmico e pode ser identificada observando-se fatores como a variação da temperatura e umidade do ambiente interno ou dos fluxos de calor transmitidos através dos fechamentos. Quando estes fatores são analisados com o enfoque ao atendimento das exigências de conforto dos usuários tem-se a avaliação do desempenho térmico. Este parâmetro é um dos requisitos a serem atendidos pelas edificações para estarem de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Segundo Givoni (1998), o efeito quantitativo da massa no desempenho térmico das edificações depende da interação entre a massa e a condutividade térmica do material que formam os elementos, assim como da posição relativa das diferentes camadas, com diferentes massas e resistências térmicas. E durante o processo de transmissão de calor, a amplitude de variação da temperatura interna e externa define o amortecimento térmico que ocorre na edificação (DORNELLES, 2004).

Devido a carência de informações relacionadas ao comportamento térmico de edificações, neste estudo serão analisadas edificações construídas em paredes monolíticas de concreto, localizadas na zona bioclimática 6 e 8, a fim de verificar o seu comportamento térmico e avaliar o desempenho térmico segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

2 OBJETIVOS

Estudar o comportamento térmico de edificações construídas no sistema construtivo de paredes monolíticas de concreto a fim de analisar a influência das variáveis construtivas no ambiente construído, bem como verificar o desempenho térmico das edificações, segundo critérios da norma NBR 15575, frente às variáveis do zoneamento bioclimático 6 e 8.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais e Métodos

Os estudos iniciaram com a análise da norma NBR 15575 e os parâmetros indicativos de desempenho térmico para edificações localizadas na zona bioclimática 6 e 8. Para atender aos objetivos estabelecidos, dos métodos disponíveis pela normativa foi definido a aplicação do método de medições *in loco* para verificar o comportamento térmico das edificações, e foram selecionadas unidades habitacionais inseridas na zona bioclimática 6 e 8, com envelope vertical construído em paredes de concreto maciço de 10 cm de espessura.

Conforme apresentado pela norma, a avaliação do desempenho térmico deve utilizar os dados climáticos da cidade onde está localizada a edificação em estudo. Segundo classificação do Zoneamento Blioclimático Brasileiro disponibilizado pela NBR 15220 (ABNT 2005): o município de Campo Grande está inserido na zona bioclimática 6; Corumbá está inserida na zona bioclimática 8; e a cidade de Sidrolândia não dispõem de dados climáticos específicos, mas devido a proximidade ao munícipio de Campo Grande e a altitute compatível, a cidade foi avaliada conforme o clima típico da zona bioclimática 6.

3.1.1 Edificações selecionadas

As edificações em análise encontram-se inseridas em conjuntos habitacionais e apresentam programa de necessidades semelhantes: sala e cozinha integradas, dois dormitórios e banheiro. O dormitório de cada edificação, na condição mais extrema ao calor, foi definido para a instalação dos equipamentos de medição *in loco*.

As edificações analisadas são compatíveis no uso da solução paredes monolíticas em de concreto, com espessura de 10 cm, densidade média de 2250 kg/m³; e utilizam de revestimento cerâmico no piso. As edificações distinguem-se quanto o tipo de materiais utilizados na cobertura, forro e as janelas especificadas para os ambientes dos dormitórios.

3.1.1.1 Edificação em Campo Grande

A edificação apresenta 44 m² de área construída e em um pavimento. As paredes receberam no seu interior acabamento em massa corrida PVA, espessura 2 mm, e pintura com tinta latex; acabamento externo com massa texturizada, espessura 0,5 cm, na cor bege, que segundo a tabela disponibilizada por Dornelles (2008), o valor de absortância que mais se aproxima da cor utilizada no local encontra-se no valor 0,4. A laje de piso e forro foram executadas com laje pré-moldada de concreto, espessura de 10 cm. A cobertura possui estrutura de vigas metálicas, cobertura em telha ondulada de fibrocimento, espessura 6 mm e absortância solar média de 0,3. As esquadrias metálicas: janelas em alumínio instaladas em 2 folhas, uma fixa e uma móvel com vidro e com veneziana em chapa metálica; portas externas metálicas e internas de madeira. Na figura 01 pode-se visualizar a planta baixa da edificação, orientação solar e o ambiente onde foram instalados os sensores de medição *in loco*.

3.1.1.2 Edificação em Sidrolândia

A edificação apresenta 60 m² de área construída: a laje de piso em revestimento cerâmico; as paredes receberam no seu interior acabamento em massa corrida PVA, espessura 2 mm, e pintura com tinta latex, o acabamento externo com massa texturizada, espessura 0,5 cm, em cor clara de absortância 0,3; o forro da edificação em PVC, espessura 10 mm, cobertura possui estrutura de vigas metálicas e telhas cerâmicas, tipo

romana, e absortância solar média de 0,75; as esquadrias: janelas em alumínio instaladas em 2 folhas, uma fixa e uma móvel com vidro e sem veneziana; portas externas metálicas e internas de madeira. Na figura 02 pode ser visualizado a planta baixa, a orientação solar e o ambiente onde foram instalados os sensores de medição *in loco*.

Figura 01- Planta baixa esquemática da edificação em Campo Grande.

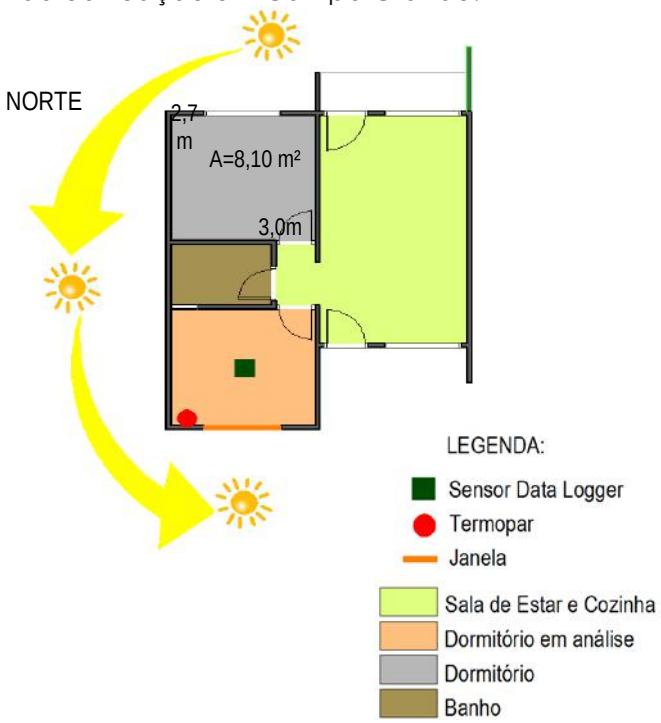
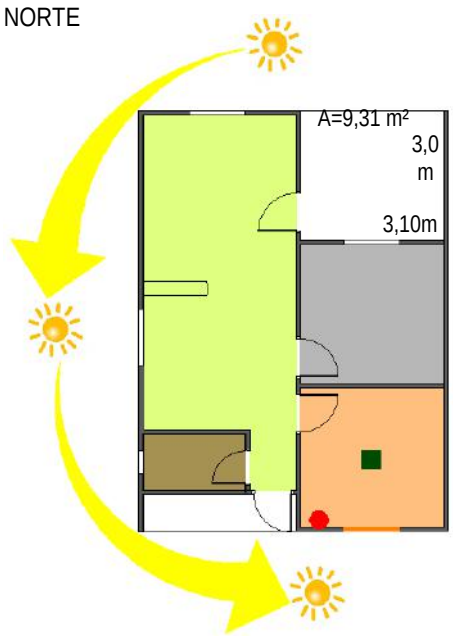


Figura 02 - Planta baixa esquemática da edificação em Sidrolândia.



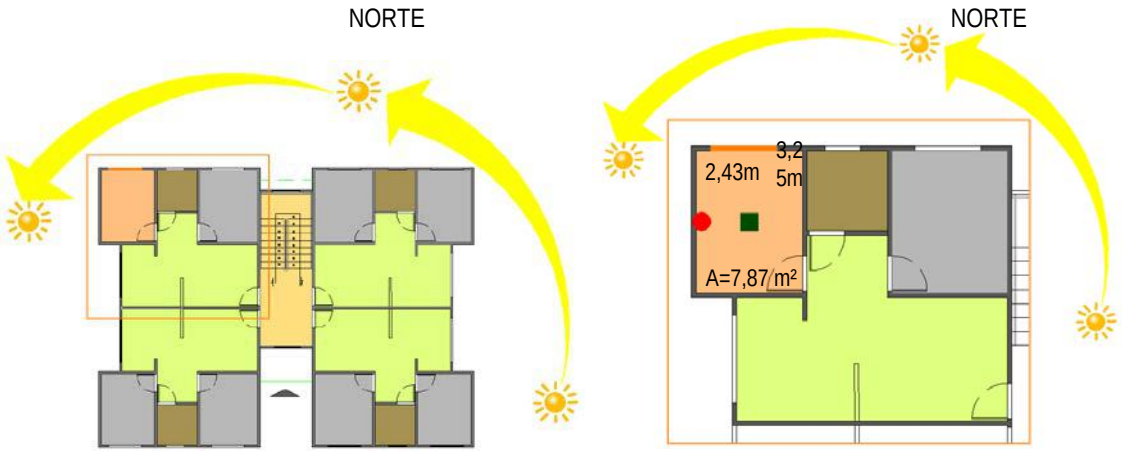
3.1.1.3 Edificação em Corumbá

A edificação possui dois pavimentos e quatro unidades habitacionais por andar configurando oito apartamentos por edificação (Figura 3). As paredes receberam no seu interior acabamento em massa corrida PVA, espessura 2 mm, e pintura com tinta latex; acabamento externo com massa texturizada, espessura 1 cm, na cor clara de absortância solar 0,3.

A laje de piso e de teto do 1º pavimento tipo dos apartamentos foram executadas com lajes pré-moldada para piso, com trilhos de concreto e placas de poliestireno (EPS) tipo 2F, densidade média do EPS de 25 kg/m³, espessura total da laje de 10 cm. A cobertura possui estrutura de vigas em madeira de pinnus, cobertura em telha ondulada de fibrocimento, espessura 6 mm e absortância solar média de 0,3, e manta metalizada dupla face, espessura 2mm, instalada em toda a cobertura. Os oitões das coberturas, tanto internos como externos, foram executados em alvenaria tradicional em blocos cerâmicos (dimensões 9x19x19cm). As esquadrias: janelas em alumínio instaladas em 2 folhas, uma fixa e uma móvel com vidro, com veneziana em chapa metálica e portas internas de madeira. Na figura 03

pode ser visualizada a planta baixa do pavimento tipo, a unidade selecionada de 43,55 m², a localização dos equipamentos de medição e a orientação solar da edificação.

Figura 03 - Planta baixa esquemática da edificação em Corumbá, a unidade habitacional monitorada e orientação solar.



3.1.2 Coleta e tratamento de dados

As medições *in loco* foram realizadas com os ambientes desocupados e o processo construtivo concluído. Devido a quantidade de equipamentos disponíveis no período de monitoramento e as condições das variáveis climáticas externas, as medições nas edificações ocorreram em datas distintas e promoveram quantidade diferente de dados. O monitoramento ocorreu com todos os ambientes fechados, no entanto, nas edificações em Sidrolândia e em Corumbá, em determinado período, foi possível também realizar medições promovendo a ventilação a partir da abertura das portas e janelas da edificação por determinado período.

O método foi realizado a partir da coleta de dados das variáveis ambientais temperatura do ar no entorno da edificação e do ambiente interno da edificação, bem como a temperatura na superfície interna da parede de concreto. Dentre todo o período de medições *in loco* foram selecionados uma sequência de três dias com características semelhantes e analisado os dados do terceiro dia, configurando assim o dia típico do período monitorado, conforme recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Para obter os dados de temperatura do ar no ambiente e as trocas térmicas pela superfície da parede foi utilizado o equipamento tipo Data Logger, modelo 175T2 da marca Testo. Este sensor de Data Logger opera na faixa de temperaturas de - 40° C a +120° C, e armazena valores de – 40° C a + 75° C.

O sensor Data Logger ficou posicionado no centro do ambiente registrando os dados de temperatura, e o termopar, tipo T conectado ao sensor, ficou

fixo na parede armazenando a temperatura superficial interna da fachada selecionada, a fim de armazenar a passagem de calor pela superfície. Ambos os equipamentos ficaram posicionados na altura aproximada de 1,10 m do piso.

As variáveis ambientais de temperatura do ar externo foram fornecidas pelo Centro de Meteorologia de Mato Grosso do Sul (Cemtec-MS/Agraer), que por sua vez detem de estações meteorologicas nas cidades de Campo Grande, Sidrolândia e Corumbá.

4 RESULTADOS

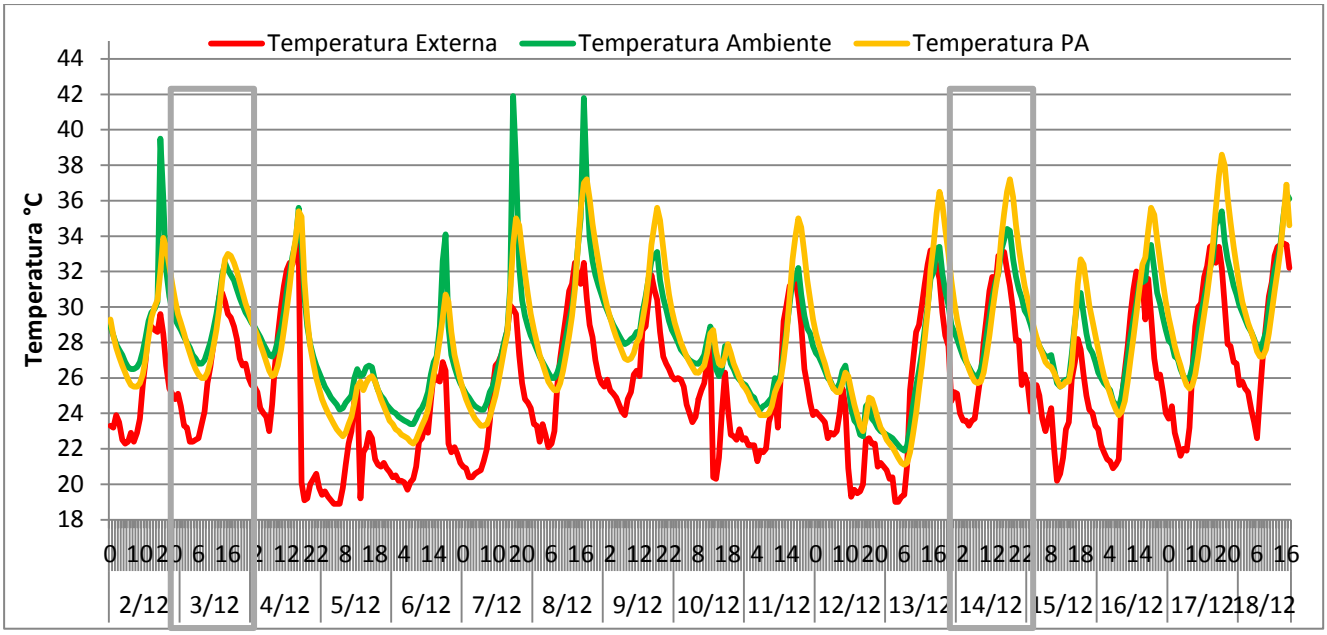
4.1 Medições *in loco* - Edificação em Sidrolândia

As medições *in loco* iniciaram no dia 1° de dezembro de 2015 com todas as aberturas da edificação fechadas. No dia 9 de dezembro as aberturas, portas e janelas, foram abertas promovendo a ventilação, e as medições foram finalizadas no dia 18 de dezembro de 2015 (figura 4).

Conforme demonstrado pela Figura 4 em todo o período de monitoramento: a temperatura externa demonstrou-se mais elevada no dia 18 de dezembro de 2015, onde atingiu aproximadamente 33,6°C, e a temperatura mínima no dia 5 de dezembro, que por sua vez, atingiu 18,9°C aproximadamente.

A temperatura do ar no ambiente interno apresentou a máxima temperatura no dia 7 de dezembro, onde alcançou 41,9°C, e a temperatura mínima de 21,9°C no dia 13 de dezembro; a temperatura na superfície da parede atingiu temperatura máxima de 38,6°C no dia 17 de dezembro e a temperatura mínima de 21,10°C também ocorreu no dia 13 de dezembro.

Figura 4 - Representação do comportamento térmico da edificação em Sidrolândia durante todo o período de monitoramento.



Dias monitoramento do mês de dezembro de 2015

Com os dados disponíveis na Figura 5 pode-se perceber que a temperatura externa máxima atingiu 30,8ºC às 14 horas do dia, e a temperatura máxima no interior do ambiente ocorreu, aproximadamente, as 15 horas atingindo 32,5ºC, revelando um atraso térmico próximo à 1 hora apenas. A temperatura máxima na superfície da parede chegou à 33,0 ºC, alcançada às 16 horas aproximadamente, com isso um atraso térmico de 2 horas. Apesar do atraso térmico no ambiente, a tempeartura interna atingiu 1,7ºC mais elevada que o exterior, com isso houve um amortecimento térmico negativo. Quanto às amplitudes térmicas, externamente houve 8,4 ºC, no ambiente interno 5,7 ºC e na temperatura superficial na parede obteve-se 7,0 ºC.

Na figura 6, a temperatura externa máxima atingiu 33,1ºC, aproximadamente às 16 horas do dia, e a temperatura máxima no interior do ambiente ocorreu em torno das 17 horas atingindo 34,4ºC, revelando um atraso térmico próximo à 1 hora; e a temperatura máxima na superfície da parede chegou à 37,2 ºC, alcançada às 18 horas aproximadamente, com isso um atraso térmico de 2 horas. Apesar do atraso térmico no ambiente interno ter sido de uma hora, a temperatura interna atingiu 1,3ºC mais elevada que o exterior, com isso houve um amortecimento térmico negativo. Sobre as amplitudes térmicas, externamente houve 9,8 ºC, no ambiente interno 8,3 ºC e na temperatura superficial na parede obteve-se 11,5 ºC de diferença.

Figura 5 - Comportamento térmico da edificação em Sidrolândia com todas as aberturas fechadas.

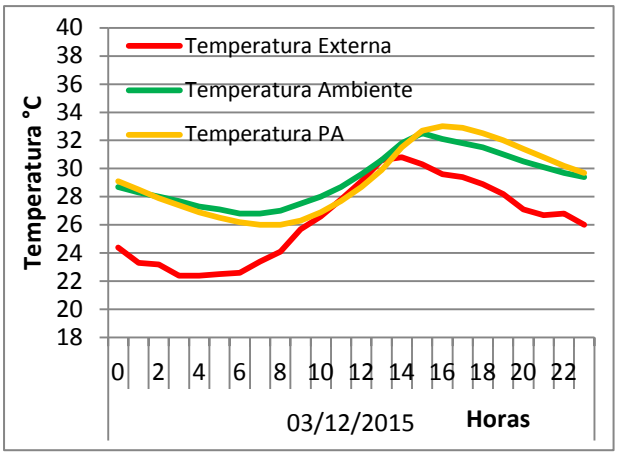
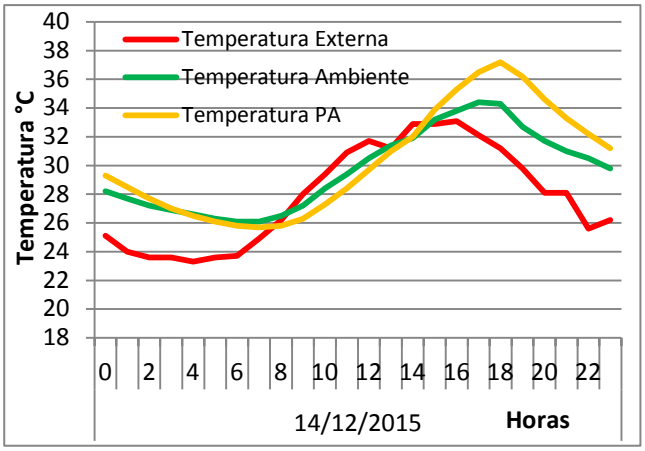


Figura 6 - Comportamento térmico da edificação em Sidrolândia com portas e janelas abertas.

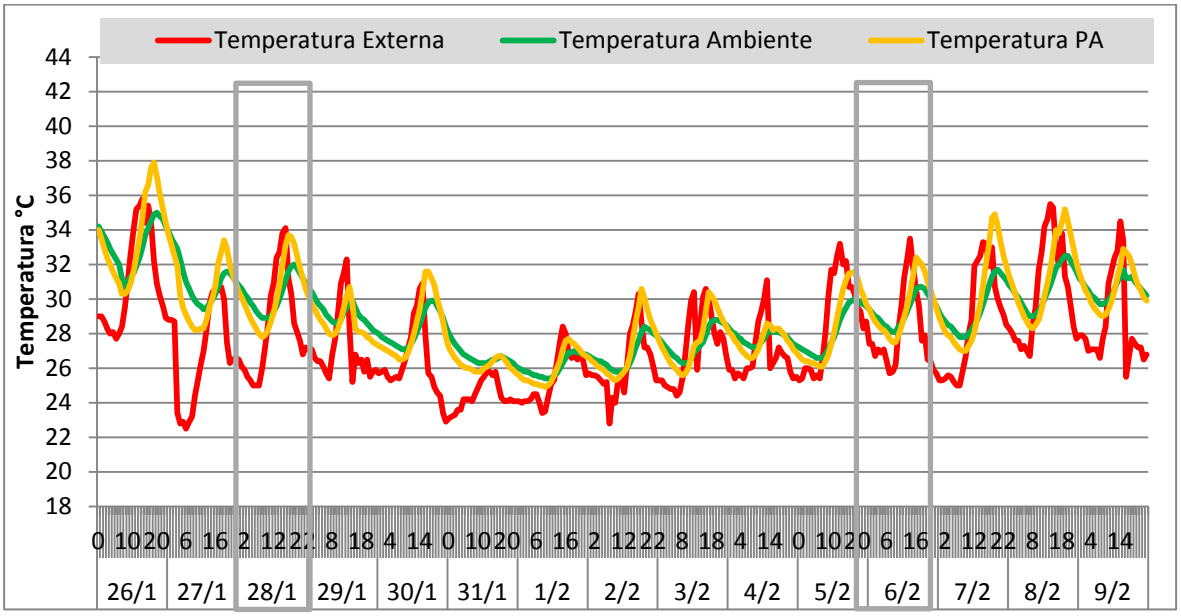


4.2 Medições *in loco* - Edificação em Corumbá

As medições *in loco* iniciaram no dia 26 de janeiro de 2016 com todas as aberturas da edificação fechadas e no dia 4 de janeiro as aberturas de portas e janelas foram abertas promovendo a ventilação, e as medições finalizaram no dia 9 de fevereiro de 2016 (Figura 7).

Conforme demonstrado pelo figura 7, em todo o período de monitoramento a temperatura externa demonstrou-se mais elevada no dia 26 de janeiro de 2016, onde atingiu aproximadamente 35,8ºC. Também neste dia foi registrado a temperatura mais elevada no ambiente interno e na temperatura da superfície da parede, sendo 35,0ºC e 37,9ºC, respectivamente. A temperatura mínima no ambiente externo foi registrada no dia 27 de janeiro, que por sua vez, atingiu 22,8ºC; a temperatura mínima no ambiente interno e na superfície da parede foram registradas no dia 1º de fevereiro, onde atingiram 25,4ºC e 24,9 ºC, respectivamente.

Figura 7 - Representação do comportamento térmico da edificação em Corumbá durante todo o período de medições *in loco*.



Dias monitoramento do mês de janeiro e fevereiro de 2016

Com os dados disponíveis na Figura 8 pode-se perceber que a temperatura externa máxima atingiu 34,1°C aproximadamente às 16 horas do dia, e a temperatura máxima no interior do ambiente ocorreu em torno das 19 horas atingindo 32,0°C, revelando um atraso térmico próximo à 3 horas. A temperatura máxima na superfície da parede chegou à 33,7 °C aproximadamente às 17 horas, ou seja, atraso térmico de 1 hora. O amortecimento térmico no ambiente interno foi de 2,1°C. Neste dia, a amplitude térmica externa apresentou diferença de 9,1°C, e para o ambiente interno e a temperatura superficial na parede obteve-se diferança de 3,1 °C e 5,9°C, respectivamente.

Na figura 9 são disponibilizados os dados do comportamento térmico da edificação em Corumbá com a portas e janelas abertas. A temperatura externa máxima atingiu 33,5°C aproximadamente às 14 horas do dia, e a temperatura máxima no interior do ambiente ocorreu em torno das 17 horas atingindo 30,7°C, revelando um atraso térmico próximo à 3 horas. A temperatura máxima na superfície da parede chegou à 32,4 °C alcançada às 16 horas aproximadamente, com isso um atraso térmico de 2 horas. O amortecimento térmico no ambiente interno foi de 2,8°C. A amplitude térmica no ambiente externo foi de 7,8°C, no ambiente interno de 2,6 °C e na temperatura superficial na parede obteve-se 4,9°C de diferença.

Figura 8 - Representação do comportamento térmico da edificação em Corumbá com todas as aberturas

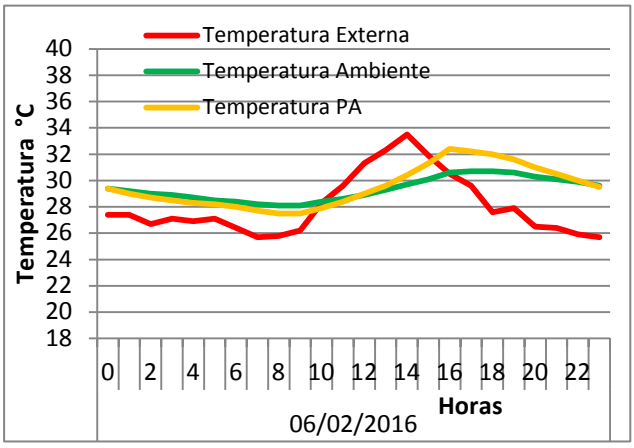
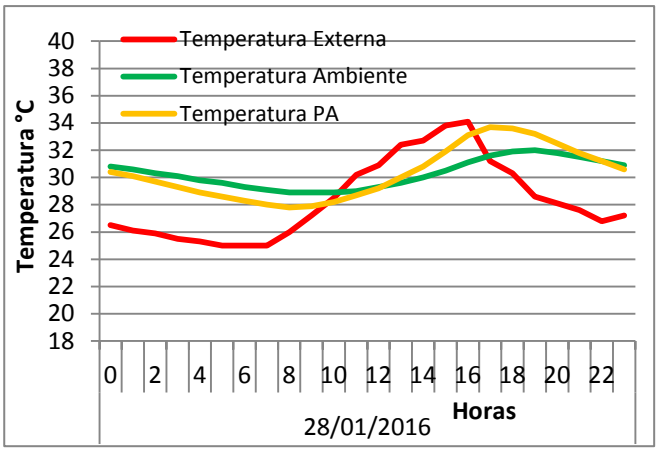


Figura 9 - Representação do comportamento térmico da edificação em Corumbá com ventilação.



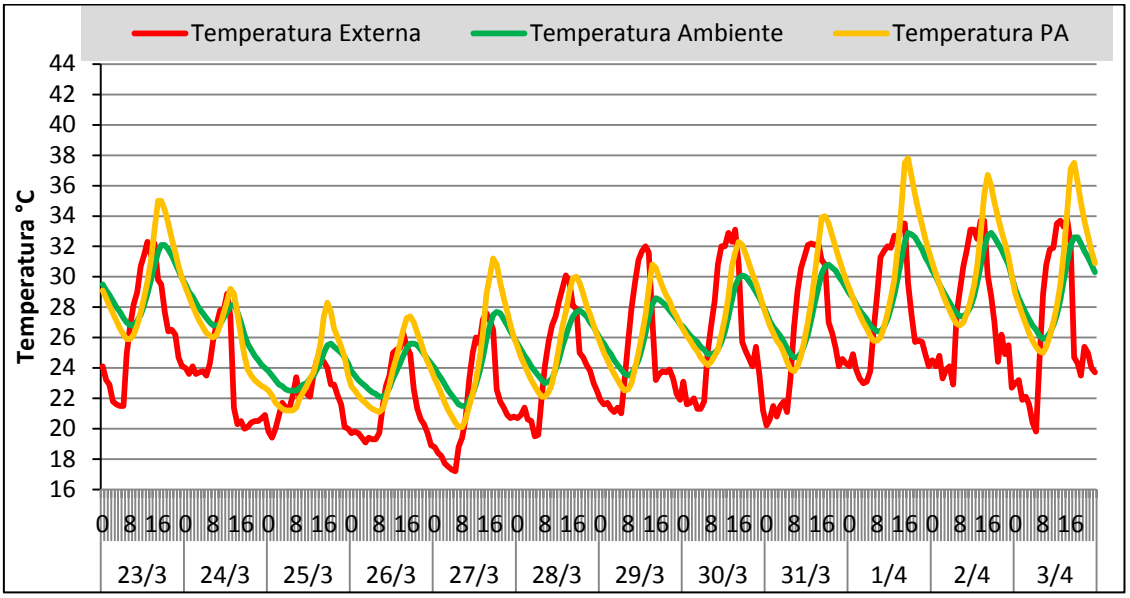
4.3 Medições *in loco* - Edificação em Campo Grande

As medições *in loco* iniciaram no dia 23 de março de 2016 e finalizaram no dia 3 de abril de 2016. Foram registrados dados apenas com as aberturas da edificação fechadas, por motivos já mencionados (Figura 10).

Conforme demonstrado pela Figura 10, em todo o período de monitoramento a temperatura externa demonstrou-se mais elevada no dia 3 de abril de 2016, onde atingiu aproximadamente 33,8°C. No dia 1° de abril foram registradas as temperaturas mais altas no ambiente interno e na superfície da parede, sendo elas 32,9°C e 37,8°C, respectivamente; a temperatura mínima no ambiente externo, no ambiente interno e na superfície da parede ocorreram no dia 27 de março, onde foram registradas 17,2°C, 21,5°C e 20,1°C respectivamente.

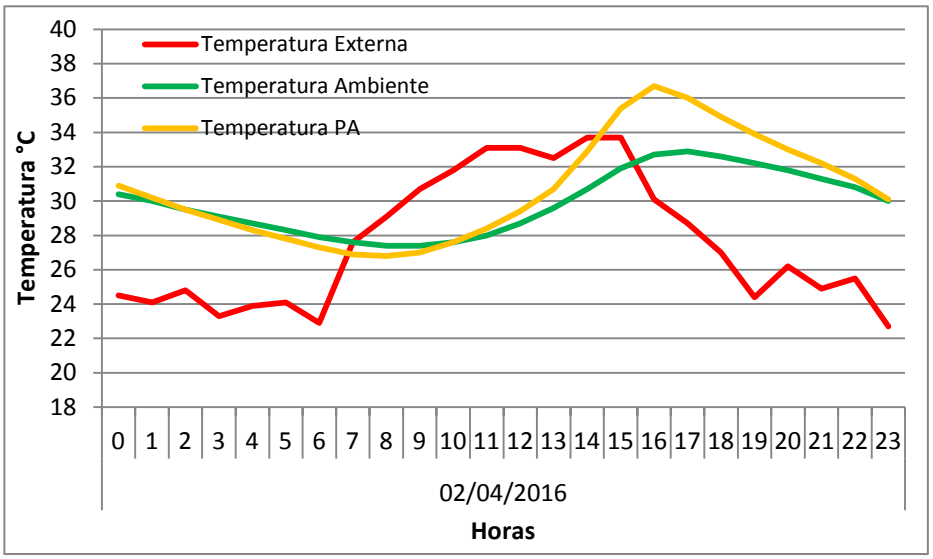
Na figura 11 a temperatura externa máxima atingiu 33,7°C aproximadamente às 14 horas do dia, e a temperatura máxima no interior do ambiente ocorreu em torno das 17 horas, atingindo 32,9°C, revelando um atraso térmico próximo à 3 horas. A temperatura máxima na superfície da parede chegou à 36,7°C, alcançada às 16 horas aproximadamente, e com isso um atraso térmico de 2 horas. O amortecimento térmico no ambiente interno foi de 0,8°C. A amplitude térmica no ambiente externo foi de 10,8°C, no ambiente interno 5,5°C e na temperatura superficial na parede obteve-se 9,9°C de diferença.

Figura 10 - Comportamento térmico da edificação em Campo Grande durante todo o período de medições in loco.



Dias monitoramento do mês de março e abril de 2016

Figura 11 - Representação do comportamento térmico da edificação em Campo Grande.



5 DISCUSSÕES

Por meio dos resultados de representação do dia típico do período monitorado foi possível perceber que, em todas as edificações em estudo, a temperatura máxima do ar no ambiente externo ocorreu em determinado horário do dia e após 2 horas, aproximadamente, a superfície da parede atingiu a sua temperatura máxima. Com isso, acredita-se que as paredes de concreto maciço de 10 cm apresentam, na zona bioclimática 6 e 8, um atraso térmico de aproximadamente 2 horas.

A partir dos comportamentos térmicos demonstrados foi possível verificar que as paredes de concreto maciço de 10 cm nas edificações em Campo Grande e em Corumbá apresentaram considerável capacidade térmica, pois foi evidenciado um atraso térmico de aproximadamente 3 horas no interior dos ambientes monitorados e amortecimento térmico no ambiente de 2 a 3ºC. No entanto, a edificação em Sidrolândia, que apresenta forro de PVC em sua cobertura, resultou em um atraso térmico no ambiente de apenas uma hora e amortecimento térmico negativo (aquecimento), ou seja, a temperatura interna do ambiente monitorado atingiu até 1,7ºC mais elevada que a temperatura do ar no exterior. Portanto, acredita-se que os resultados superiores, demonstrados nas edificações em Campo Grande e em Corumbá, foram obtidos devido ao uso de forro de laje de concreto como constituinte da cobertura.

A utilização do forro de laje de concreto nas edificações construídas com paredes de concreto maciço de 10 cm demonstraram um desempenho térmico significativo e mais eficiente para o uso na zona bioclimática 6 e 8, e os resultados obtidos corroboram com o mencionado na NBR 16055 (ABNT, 2012), que por sua vez, orienta a construção de edificações em paredes de concreto e recomenda o uso de forro de laje de concreto como solução construtiva para a composição das edificações.

Considerando os critérios de desempenho térmico disponibilizados pela NBR 15575 (ABNT, 2013): o ambiente monitorado na edificação em Corumbá apresentou temperaturas de até 2,8ºC abaixo da temperatura máxima no exterior, com isso a edificação pode ser classificada com um desempenho térmico intermediário segundo a normativa; na edificação em Campo Grande, o ambiente monitorado apresentou uma temperatura interna máxima de 0,8ºC abaixo da temperatura externa máxima do dia, o que segundo os critérios da norma a edificação apresenta um desempenho térmico mínimo; no ambiente da edificação em Sidrolândia, todas as temperaturas internas máximas foram superiores às temperaturas do ambiente externo durante todo o período monitorado, ou seja, todos os dias ocorreram aquecimento térmico, consequentemente, a edificação não enquadrá-se nos critérios estabelecidos pela normativa.

Conforme mencionado anteriormente, a edificação em Sidrolândia não apresenta laje de concreto na sua cobertura e por meio dos resultados obtidos foi verificado que este é um fator preponderante no sistema construtivo paredes de concreto maciço. A edificação também se distingue

das demais pelas suas janelas não apresentarem venezianas e apenas estrutura de alumínio e vidro. Desta forma a incidência de radiação solar para o interior do ambiente torna-se um fator significativo para o aumento da temperatura interna na edificação. Visto isso, percebe-se que a edificação em Sidrolândia não atende à recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 6, pois não há a possibilidade de sombreamento das aberturas e ventilação seletiva por meio de venezianas. Contudo, acredita-se que as especificações para projeto precisam ser elaboradas considerando o sistema construtivo, a forma e as normativas vigentes.

As zonas bioclimáticas 6 e 8 são caracterizadas por clima quente e esta característica pôde ser verificada nas medições *in loco* realizadas por meio dos registros de elevadas temperaturas do ar no ambiente externo. A edificação em Campo Grande e em Corumbá atendem aos critérios da norma de desempenho térmico. No entanto, foi possível aferir que as temperaturas no ambiente interno também apresentaram-se elevadas, sendo que em diversos registros de temperaturas nas edificações em estudo encontram-se superiores aos indicados à zona de conforto sugeridos pela carta bioclimática adaptada de Givoni.

Portanto, percebe-se a necessidade de aperfeiçoar os parâmetros estipulados pela norma de desempenho térmico para a zona bioclimática 6 e 8, pois permitir que a temperatura nos ambientes internos de edificações sujeitos a elevadas temperaturas alcancem temperaturas iguais ao do ambiente externo podem promover ambientes condicionados a elevadas temperaturas em quase todos os períodos do dia, caso semelhante ao verificado nas edificações analisadas. Com isso, acredita-se que estimando parâmetros compatíveis com as zonas bioclimáticas 6 e 8 pode-se promover a construção de edificações mais eficientes e de qualidade construtiva, a fim de atender a função de abrigo com conforto a qualquer parcela da população.

6 CONTRIBUIÇÕES

As edificações construídas com o sistema construtivo de paredes monolíticas de concreto possuem potencialidade de bom desempenho térmico nas zonas bioclimáticas 6 e 8, sendo necessária a atenção a adoção de soluções construtivas adequadas como janelas compostas de materiais opacos e essencial aplicação de forro na cobertura com boas caracteristicas térmicas de isolamento e de capacidade térmica.

No entanto, deve-se ressaltar que mesmo as edificações de concreto que apresentaram nivel mínimo e intermediário nas zonas bioclimaticas 6 e 8 pelas normativas de desempenho brasileira, essas ainda devem se atentar a busca de soluções projetuais, construtivas e/ou uso de equipamentos para o alcance de maiores quantidades de horas–conforto ao usuário e temperaturas dentro da zona de conforto.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. C172d. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013./Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

_____. **NBR 16055**. Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

DORNELLES, K. A. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP**. 2004. 150 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

LAMBERTS, R. et al. (Ed.). **Casa eficiente**: Bioclimatologia e desempenho térmico. v. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE MORADIAS DO PMCMV EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS QUANTO AOS ASPECTOS DE IMPLANTAÇÃO, MATERIALIDADE E SOMBREAMENTO DE ABERTURAS[1]

DÖRFLER, Marianna (1); KRÜGER, Eduardo (2)

(1) TU Kaiserslautern, e-mail: mariannadoerfler@gmx.net; (2) UTFPR, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

RESUMO

O artigo analisa por meio de simulações termoenergéticas potenciais de melhoria no desempenho térmico de um projeto-base (tipologia habitacional térrea, construída conforme a planta padrão divulgada pela Caixa Econômica Federal) do PMCMV. São simuladas no programa EnergyPlus variações de implantação/orientação solar, materialidade e sombreamento de aberturas do projeto-base supondo quatro das oito zonas bioclimáticas brasileiras (ZB1, ZB3, ZB7, ZB8), analisando-se os resultados em termos de demanda energética estimada em climatização artificial (resfriamento e/ou aquecimento). Excluíram-se deliberadamente simulações de ventilação natural da pesquisa, uma vez que uma inadequada implantação do conjunto habitacional poderia gerar impacto significativo na disponibilidade de movimentos de ar para a ventilação interna. No total, testaram-se: oito variações de orientação solar da moradia, com ou sem o reposicionamento do telhado de duas águas; reposicionamento das janelas de três ambientes internos; duas variações de espessura de paredes e piso, com e sem aumento da espessura do emboço externo; e três variações da extensão dos elementos de sombreamento das janelas. Os resultados mostraram as alterações mais promissoras nas variáveis estudadas para cada ZB.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitação popular. Simulação termo-energética.

ABSTRACT

The article evaluates by means of thermal-energy simulations potential improvements of the thermal performance of a base-project (single-storey housing typology, built according to the standard plan from Caixa Econômica Federal) of the Brazilian PMCMV. Simulations in EnergyPlus encompassed variations in solar orientation, building materials and shading design in four of the eight Brazilian bioclimatic zones (ZB1, ZB3, ZB7, ZB8). Results are assessed in terms of estimated energy demand for artificial air conditioning (annual cooling and / or heating loads). We have deliberately excluded natural ventilation simulations in this study, since inadequate site planning would potentially generate significant impacts on the availability of air flow within buildings for cross ventilation to be made possible. In total, eight configurations of solar orientation were tested, with or without the roof (overhang) repositioning; repositioning of three windows; two configurations of wall and floor thicknesses, thickness of the external plaster; and three different configurations of the window shading elements. Results showed the most promising strategies for each ZB evaluated.

[1] DÖRFLER, Marianna; KRÜGER, Eduardo. Simulações de desempenho térmico de moradias do PMCMV em diferentes zonas bioclimáticas quanto aos aspectos de implantação, materialidade e sombreamento de aberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Thermal performance. Social housing. Thermal-energy simulations.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo a concepção de desenvolvimento através da liberdade elaborada por Amartya Sen (SEN, 2011), o acesso à moradia é visto como condição para a promoção das liberdades dos indivíduos e, consequentemente, para o desenvolvimento do país.

Em julho de 2009 com a Lei nº 11.977 (Brasil, 2009), implantou-se o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), cujo objetivo principal é facilitar a aquisição da casa própria pelas famílias com renda mensal entre zero e dez salários mínimos, sobretudo por aquelas localizadas nas periferias das grandes cidades. Para isso, o governo federal delegou à Caixa Econômica Federal (CEF) a gestão operacional do programa e dos seus recursos (D´AMICO, 2011).

A formulação de metodologias de avaliação de sistemas construtivos para a habitação social tem como objetivo a busca de soluções eficientes para esse tipo de habitação. O PMCMV, como em diversas experiências anteriores com programas extensivos de habitação de interesse social, vem sendo implementado em todo o território nacional de forma padronizada, sem haver uma preocupação com especificidades regionais. Assim, uma mesma tipologia de projeto e o mesmo sistema construtivo são adotados em cidades com características climáticas muito distintas, sendo desconsiderada a grande diversidade sócio-econômica, cultural, climática e tecnológica entre as diferentes regiões do Brasil, o que resulta em construções de baixa qualidade construtiva que não atendem às necessidades de seus usuários. Neste quadro, a avaliação do desempenho térmico das construções assume grande importância. Embora normas brasileiras como a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013) proponham, por exemplo, a consideração de valores limite para propriedades termofísicas da envoltória, a avaliação pormenorizada de fatores de projeto e de estratégias de condicionamento passivo da edificação por meio de otimização da envoltória não é, em geral, aplicada no projeto e construção de moradias populares.

Moradias do PMCMV avaliadas por diversos autores mostram inadequação térmica e padronização de soluções, com atendimento sofrível às normas existentes (BORGES, 2013; MORENO, 2013; DANTAS; BARBIRATO, 2015), independentemente da localidade onde se procederam às avaliações. Aponta-se recorrentemente para a necessidade de se avaliar a propor soluções de melhoria para a habitação social, especificamente aquelas advindas do PMCMV. Pesquisa anterior dos autores teve como enfoque o papel da implantação de uma moradia no lote nos níveis de conforto, expressos como demanda de energia por aquecimento para a Zona Bioclimática 1, caso Curitiba (DÖRFLER; KRÜGER, 2014).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar potenciais de melhoria no desempenho térmico de um projeto-base (tipologia habitacional térrea de um pavimento, construída conforme a planta padrão divulgada pela Caixa Econômica Federal) do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

3 MÉTODO

O estudo trata de uma análise sobre as estratégias passivas e energéticas para a otimização do conforto ambiental e gasto energético da arquitetura residencial do Brasil. Foram realizadas simulações termo-energéticas com o software EnergyPlus a partir de arquivos formato EPW - EnergyPlus Weather File (U.S., 2011). Como resultados, o obtiveram-se dados de saída relativos a temperatura interna em cada zona térmica pré-definida pelo usuário, assim como as necessidades de energia para aquecimento e resfriamento em função de setpoints pré-definidos, e as trocas de calor relevantes pelos elementos da envoltória. Os dados de temperatura do solo, necessários para as simulações, foram obtidos do programa TRNSYS no formato climático EPW.

Por meio do EnergyPlus, analisaram-se variações de implantação/orientação solar, materialidade e sombreamento de aberturas do projeto-base do PMCMV supondo quatro das oito zonas bioclimáticas brasileiras (ZB1, ZB3, ZB7, ZB8). O projeto-base considerado baseia-se no catálogo descritivo da CEF, com 21 variações construtivas possíveis e aprovadas pelo SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores) para a moradia popular, tendo-se adotado a variante 'construção cerâmica'. A edificação consiste de paredes com tijolos cerâmicos de seis furos, assentados na menor dimensão, com reboco interno e externo, cobertura de telhas cerâmicas sem forro; as janelas são de alumínio com vidro simples de 3mm e as portas externas são metálicas. O caso-base possui baixa absortância solar para cobertura e paredes: 0,3 e 0,2, respectivamente.

Os resultados foram analisados em termos de demanda energética estimada de climatização artificial (resfriamento e/ou aquecimento). Excluíram-se deliberadamente simulações de ventilação natural da pesquisa, uma vez que uma inadequada implantação do conjunto habitacional poderia gerar impacto significativo na disponibilidade de movimentos de ar para a ventilação interna.

O sistema utilizado foi o "*Purchased Air*", um sistema virtual simplificado (sendo 100% eficiente, sem consumo de energia), o qual proporciona a carga térmica necessária para se atingir a temperatura de controle/setpoint a cada hora, adicionando (aquecimento) ou retirando (resfriamento) carga térmica do ambiente. Assumiu-se uma ocupação de uma família de quatro pessoas, com utilização de equipamentos, informados como carga térmica (valores em Watts) (BARBOSA, 1997).

As cidades analisadas pertencem a quatro zonas bioclimáticas, conforme definidas no Zoneamento Bioclimático brasileiro. A escolha das cidades foi

baseada em critérios envolvendo o déficit habitacional existente (www.fjp.mg.gov.br/), a densidade construtiva característica e a representatividade de cada Zona Bioclimática (ZB) no território segundo a norma NBR 15220 (ABNT 2005). As 4 ZBs representam de uma forma geral as distinções existentes no Brasil de climas quente-seco, quente-úmido, temperado e temperado com inverno frio. As cidades analisadas são apresentadas na Tabela 1.

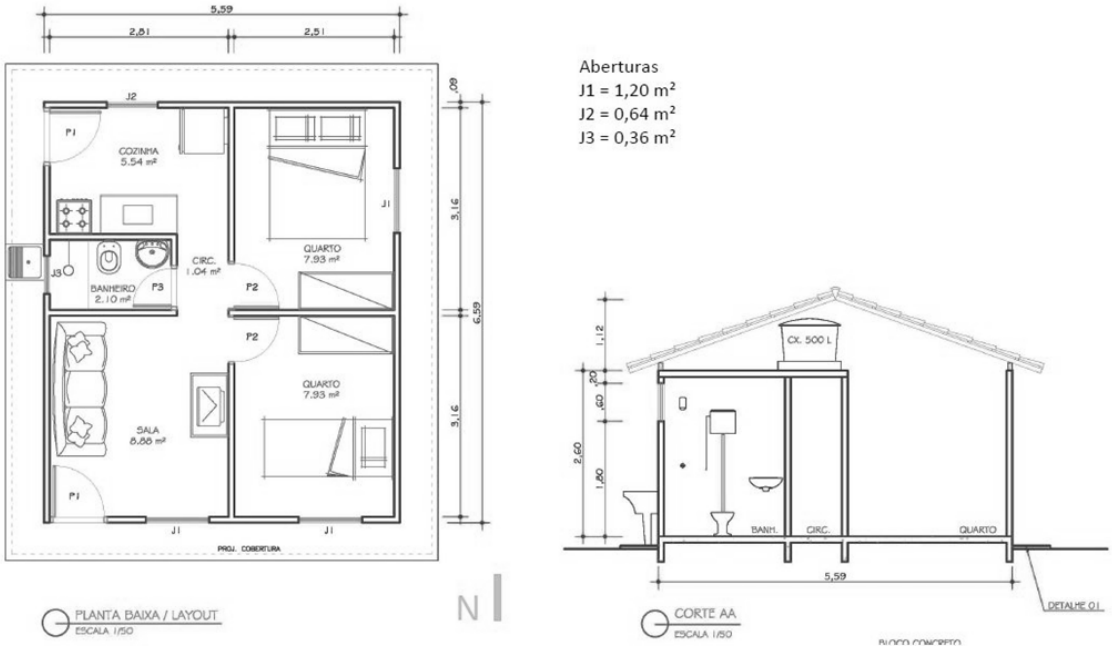
Tabela 1: Cidades e ZBs analisadas

Cidade/ZB	**Localização geográfica**	**Condições climáticas**	**Tipo climático (Koeppen)**
Curitiba PR/ZB1	Latitude: 25° 25' 40" S Longitude: 49° 16' 23" W Altitude: 934m	temperado com inverno frio	Cfb
São Paulo SP/ZB3	Latitude: 23° 32' 51" S Longitude: 46° 38' 10" W Altitude: 760m	temperado	Cfb
Picos PI/ZB7	Latitude: 07° 04' 37" S Longitude: 41° 28' 01" W Altitude: 206m	quente seco	Aw
Recife PE/ZB8	Latitude: 08° 03' 14" S Longitude: 34° 52' 52" W Altitude: 4m	quente úmido	As

Para as 4 ZBs definidas para análise, segundo a NBR15220 (ABNT 2005), e em termos de transmitância térmica, a parede empregada só não se adequa à zona 7 e a cobertura não adequa à nenhuma zona bioclimática. O atraso térmico obtido é adequado, tanto das paredes quanto da cobertura, às zonas ZB1, ZB3 e ZB8 e o fator solar para elementos opacos é adequado a todas as ZBs para ambos os elementos da edificação.

A edificação analisada tem como planta padrão de acordo com as diretrizes dadas pela CAIXA (CEF, 2006). Possui área total construída de 38,4 m² contendo sala de estar, dormitório para casal e dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço (externa), área de circulação e banheiro, como se observa na Figura 1.

Figura 1: Planta Padrão Casa Popular da CAIXA



Fonte: CEF (2006)

O enfoque metodológico adotado neste trabalho compreendeu simulações termo-energéticas da edificação para as seguintes configurações:

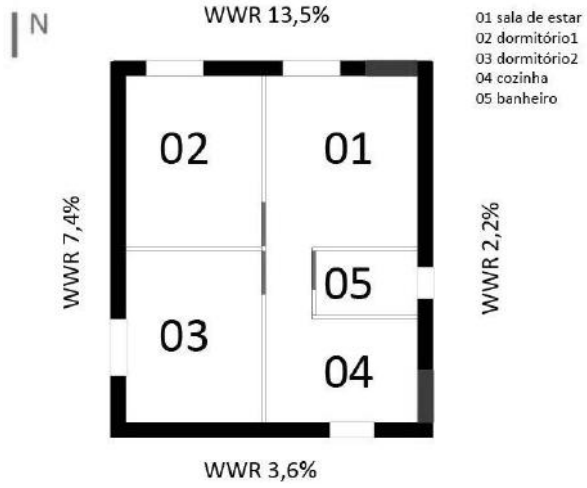
1) Rotações consecutivas da edificação para cada variação de 45°, analisando-se a influência da implantação da edificação;
2) Reposicionamento do telhado em 90°, para as 8 orientações possíveis da edificação, conforme o item 1;
3) Reposicionamento/realocação das aberturas em 3 ambientes da planta-base, para as 8 orientações possíveis da edificação;
4) Variações da espessura das paredes externas e da laje de piso (15cm e 20cm), para as 8 orientações possíveis da edificação;
5) Variações do elemento de sombreamento (beiral) das aberturas (25cm, 50cm, 100cm), para as 8 orientações possíveis da edificação;
6) Variações da espessura do revestimento externo (2cm e 4cm), para as 8 orientações possíveis da edificação.

Os resultados são interpretados em termos de valores obtidos de demanda anual para aquecimento e/ou resfriamento, considerando temperaturas-base de 19°C e de 25°C, respectivamente. O limite inferior é um meio termo do valor inicial da zona de conforto para verão e inverno, sob condições não-ventiladas, segundo Givoni (1992), adotado em razão de se testarem localidades com situações climáticas diferenciadas. O limite inferior representa também a condição mínima de temperatura para climas de baixa umidade (Zona D da NBR 15220). O limite superior representa o início de desconforto por calor para condições de alta umidade (Zona E da NBR 15220).

4 RESULTADOS

A orientação básica da residência (fachada referência) foi adotada pelo critério de maior valor da relação WWR (*window-to-wall-ratio*) de cada fachada, segundo o projeto original (Figura 1), para a orientação Norte. Em linhas gerais, têm-se 5 zonas térmicas na edificação. Os resultados agrupados são apresentados por ZB analisada.

Figura 2: Planta Padrão Casa Popular da CEF



Fonte: Autores (2014)

4.1 Zona Bioclimática 1 (ZB1)

Para a ZB1, a carga de climatização para as temperaturas de setpoint adotadas refere-se apenas à necessidade de aquecimento. A Tabela 2 apresenta os dados de demanda por aquecimento (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, considerando-se as possibilidades distintas de orientação da fachada referência para Curitiba PR.

As últimas duas colunas à direita mostram o percentual de redução na demanda anual para aquecimento tanto em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia, com uma demanda de 352,38 kWh/(m².a)) como para o caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte. Nota-se que, no rol de estratégias adotadas, as maiores reduções de consumo se verificam para o aumento da inércia térmica da edificação, mais especificamente da inércia interna, com a espessura da laje de piso sendo aumentada em 15cm e 20cm. As demais estratégias não alcançam mudanças significativas no consumo da edificação. A variação anual na demanda por aquecimento foi de 268,83 a 353,76 kWh/(m².a).

Tabela 2: Demanda de aquecimento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 19°C para aquecimento, valores em kWh/(m².a) – ZB1 (Curitiba PR)

Estratégia	Orientação da fachada referência								Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°		
Variações na implantação	345,11	343,24	344,03	347,17	350,32	352,38	351,69	348,94	3%	1%
Reposicionamento do telhado em 90°	345,11	343,14	343,63	346,98	350,32	352,28	351,40	348,75	3%	1%
Realocação das aberturas na zona térmica 1	345,90	344,72	345,11	347,37	349,63	351,20	350,42	348,35	2%	0%
Realocação das aberturas na zona térmica 2	346,68	344,03	343,34	345,50	348,94	352,09	352,38	350,32	3%	1%
Realocação das aberturas na zona térmica 3	345,80	344,62	345,50	347,86	349,63	350,91	350,42	348,65	2%	0%
Espessura das paredes externas = 15cm	344,52	342,75	343,83	347,07	350,42	352,38	351,50	348,35	3%	1%
Espessura das paredes externas = 20cm	345,70	343,93	345,31	348,65	351,99	353,76	352,78	349,43	2%	0%
Espessura da laje de piso = 15cm	300,58	299,01	299,80	303,04	305,99	307,95	307,17	304,42	15%	13%
Espessura da laje de piso = 20cm	270,21	268,83	269,62	272,86	275,62	277,58	276,60	273,94	24%	22%
Beiral de 25cm	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	3%	1%
Beiral de 50cm	344,52	342,85	343,44	346,58	349,63	351,69	350,91	348,16	3%	1%
Beiral de 100cm	344,52	342,85	347,17	347,17	350,32	352,38	351,30	348,16	3%	1%
Espessura do revestimento externo = 2cm	343,83	341,96	342,85	346,19	349,43	351,50	350,71	347,76	3%	1%
Espessura do revestimento externo = 4cm	343,34	341,47	342,55	345,90	349,24	351,20	350,42	347,27	3%	1%

4.2 Zona Bioclimática 3 (ZB3)

Para São Paulo SP, localizada na ZB3, há uma necessidade anual de aquecimento e de resfriamento para que se alcancem níveis de conforto adequados no ambiente interno. Ressalte-se, entretanto, que para essa localidade há uma necessidade anual de aquecimento cerca de 10 vezes maior que a de resfriamento dos ambientes internos. A Tabela 3 apresenta os dados resumidos da demanda por aquecimento e de resfriamento anual (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, para São Paulo SP. Apresentam-se os percentuais de redução na demanda anual em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia), e em relação ao caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte, mostrando-se também a faixa de variação em termos de demanda por climatização artificial.

Tabela 3: Demanda de aquecimento/resfriamento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 19°C/25°C para aquecimento/resfriamento, valores em kWh/(m².a) – ZB3 (São Paulo SP)

Estratégia	Aquecimento anual				Resfriamento anual			
	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima
Variações na implantação	4%	0%	78,54	81,68	14%	11%	6,29	7,27
Reposicionamento do telhado em 90°	4%	1%	78,44	81,58	14%	11%	6,29	7,27
Realocação das aberturas na zona térmica 1	3%	0%	79,03	81,29	12%	10%	6,39	7,18
Realocação das aberturas na zona térmica 2	4%	0%	78,54	81,58	14%	11%	6,29	7,27
Realocação das aberturas na zona térmica 3	3%	0%	78,93	81,09	12%	10%	6,39	7,18
Espessura das paredes externas = 15cm	9%	6%	74,21	77,85	38%	36%	4,52	5,21
Espessura das paredes externas = 20cm	12%	9%	71,75	75,49	53%	51%	3,44	3,93
Espessura da laje de piso = 15cm	9%	6%	74,51	77,65	3%	0%	7,08	8,16
Espessura da laje de piso = 20cm	12%	9%	71,56	74,70	-7%	-10%	7,77	8,94
Beiral de 25cm	4%	1%	78,44	81,49	14%	11%	6,29	7,27
Beiral de 50cm	4%	1%	78,44	81,49	14%	11%	6,29	7,27
Beiral de 100cm	4%	1%	78,44	81,68	14%	11%	6,29	7,27
Espessura do revestimento externo = 2cm	7%	4%	76,08	79,42	27%	25%	5,31	6,09
Espessura do revestimento externo = 4cm	9%	6%	74,21	77,75	36%	35%	4,62	5,21
Variação máxima na demanda anual			*71,56*	*81,88*			*3,44*	*8,94*

Para a ZB3, as reduções percentuais na demanda por aquecimento (cerca de 80 kWh/(m².a), em média) por meio das estratégias testadas não foram tão significativas como aquelas encontradas na redução da demanda por resfriamento (média situada em torno de 7 kWh/(m².a)). Na comparação de benefícios em termos de demanda energética, porém, nota-se que um aumento na massa térmica do piso é vantajoso no quesito redução da demanda por aquecimento, com queda correspondente de 10 kWh/(m².a), mesmo que em contrapartida haja um aumento de 7% na demanda por resfriamento (o que corresponderia a um acréscimo de apenas 0,5 kWh/(m².a) na carga anual).

4.3 Zona Bioclimática 7 (ZB7)

Para Picos PI (ZB7), não há necessidade de aquecimento. A Tabela 4 apresenta os dados resumidos da demanda por resfriamento anual (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, para essa localidade. Apresentam-se os percentuais de redução na demanda anual em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia), e em relação ao caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte, mostrando-se também a faixa de variação em termos de demanda por climatização artificial.

Tabela 4: Demanda de resfriamento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 25°C para resfriamento, valores em kWh/(m².a) – ZB7 (Picos PI)

Estratégia	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima
Variações na implantação	2%	1%	159,92	162,48
Reposicionamento do telhado em 90°	1%	1%	160,12	162,68
Realocação das aberturas na zona térmica 1	1%	1%	160,22	162,58
Realocação das aberturas na zona térmica 2	1%	1%	160,22	162,77
Realocação das aberturas na zona térmica 3	1%	1%	160,12	162,97
Espessura das paredes externas = 15cm	7%	7%	151,18	154,42
Espessura das paredes externas = 20cm	11%	10%	145,38	149,41
Espessura da laje de piso = 15cm	0%	-1%	163,17	165,62
Espessura da laje de piso = 20cm	-2%	-2%	165,72	167,89
Beiral de 25cm	1%	1%	160,22	161,99
Beiral de 50cm	1%	1%	160,22	161,99
Beiral de 100cm	1%	1%	160,51	162,09
Espessura do revestimento externo = 2cm	4%	4%	155,30	159,33
Espessura do revestimento externo = 4cm	6%	5%	153,34	155,50
Variação máxima na demanda anual			*145,38*	*167,89*

Para ZB7 (Picos PI), alcançou-se uma redução máxima na demanda por resfriamento (em torno de 160 kWh/(m².a)) de 10% com o aumento da espessura das paredes externas. O acréscimo na espessura do revestimento externo também apontou resultados positivos; possivelmente a união das duas estratégias (aumento da espessura de parede+revestimento externo) seja indicada para Picos. As demais estratégias apresentaram baixo desempenho ou até mesmo levaram a um aumento na demanda energética anual para climatização artificial, como foi o caso do aumento da inércia térmica do piso.

4.4 Zona Bioclimática 8 (ZB8)

Como em Picos PI (ZB7) não há necessidade de aquecimento em Recife PE (ZB8). A Tabela 5 apresenta os dados resumidos da demanda por resfriamento anual (em kWh/(m².a)), obtidos por estratégia estudada, para essa localidade. Apresentam-se os percentuais de redução na demanda anual em relação ao máximo consumo observado (situação inicial, sem emprego de qualquer estratégia), e em relação ao caso-base, com fachada referência voltada para uma orientação cardeal norte, mostrando-se também a faixa de variação em termos de demanda por climatização artificial.

Para Recife, observa-se o benefício termo-energético do aumento das espessuras das paredes e do revestimento externo, tal como em Picos PI, porém com resultados mais significativos em termos percentuais. Considerando-se, porém, diferenças na variação da demanda anual entre as duas localidades, o benefício em termos de demanda por energia elétrica é equivalente: em Picos PI, a opção pelo aumento da espessura das

paredes para 20cm, embora corresponda a uma queda na demanda anual de 10% em relação ao caso-base, trouxe o equivalente de 16,71 kWh/(m².a)) de redução na demanda energética; em Recife PE, a redução percentual para a mesma estratégia foi de 15%, porém a queda equivalente na demanda foi de 14,84 kWh/(m².a))

Tabela 5: Demanda de resfriamento anual conforme obtida pelo programa EnergyPlus considerando uma temperatura de set-point de 25°C para resfriamento, valores em kWh/(m².a) – ZB8 (Recife PE)

Estratégia	Variação percentual máxima	Variação percentual em relação ao caso-base	Demanda mínima	Demanda máxima
Variações na implantação	3%	2%	99,47	102,13
Reposicionamento do telhado em 90°	3%	2%	99,47	102,13
Realocação das aberturas na zona térmica 1	3%	2%	99,37	101,83
Realocação das aberturas na zona térmica 2	3%	2%	98,88	101,83
Realocação das aberturas na zona térmica 3	3%	2%	99,18	102,13
Espessura das paredes externas = 15cm	10%	9%	91,71	94,46
Espessura das paredes externas = 20cm	15%	15%	86,30	89,35
Espessura da laje de piso = 15cm	-4%	-5%	106,35	109,50
Espessura da laje de piso = 20cm	-9%	-10%	111,37	115,10
Beiral de 25cm	3%	2%	99,28	101,83
Beiral de 50cm	3%	2%	99,28	101,83
Beiral de 100cm	3%	2%	99,47	101,83
Espessura do revestimento externo = 2cm	6%	5%	95,74	98,39
Espessura do revestimento externo = 4cm	9%	8%	92,69	95,44
Variação máxima na demanda anual			*86,30*	*115,10*

4.5 Síntese dos resultados

Os quadros a seguir apresentam de forma geral e indicativa, os potenciais de melhoria (M) ou piora (P) dos níveis de conforto interno face às estratégias aplicadas, considerando-se também a implantação da edificação, para aquecimento (Quadro 1) e para resfriamento (Quadro 2).

Quadro 1: Potenciais de melhoria ou piora na demanda por aquecimento anual para as 4 ZBs, considerando diferentes orientações solares da edificação

Estratégia	ZB1 (aquecimento)								ZB3 (aquecimento)							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Reposicionamento do telhado em 90°	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	P	M	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 1	P	P	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 2	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M	P	P
Realocação das aberturas na zona térmica 3	P	P	P	P	M	M	M	M	P	P	P	P	M	M	M	M
Espessura das paredes externas = 15cm	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura das paredes externas = 20cm	P	P	P	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura da laje de piso = 15cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura da laje de piso = 20cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 25cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 50cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 100cm	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 2cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 4cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Quadro 2: Potenciais de melhoria ou piora na demanda por resfriamento anual para as 4 ZBs, considerando diferentes orientações solares da edificação

Estratégia	ZB3 (resfriamento)								ZB7 (resfriamento)								ZB8 (resfriamento)							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Reposicionamento do telhado em 90°	P	M	M	M	P	M	M	M	P	P	P	M	P	M	M	M	P	M	M	M	P	M	M	P
Realocação das aberturas na zona térmica 1	P	M	M	M	P	P	M	M	P	M	P	P	P	P	M	M	P	M	M	P	P	P	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 2	P	M	M	M	P	M	M	M	P	M	P	P	P	M	M	M	P	M	M	P	P	M	M	M
Realocação das aberturas na zona térmica 3	M	M	M	M	M	P	P	P	M	M	P	M	M	P	P	P	M	M	P	M	M	P	P	M
Espessura das paredes externas = 15cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura das paredes externas = 20cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura da laje de piso = 15cm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Espessura da laje de piso = 20cm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Beiral de 25cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 50cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Beiral de 100cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 2cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Espessura do revestimento externo = 4cm	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apontou reduções na demanda energética em função da aplicação de algumas estratégias aplicadas ao projeto original, tal como veiculado pela CEF (projeto padrão PMCMV), para 4 zonas bioclimáticas brasileiras. A partir dos resultados, pode-se ter uma ideia inicial de quais estratégias poderiam alcançar maior eficiência energética, caso se utilizasse climatização artificial. Entretanto, em termos de saturação, a quantidade de residências populares que dispõem de equipamentos de climatização ainda é baixa no Brasil. Desta forma, os resultados apresentados podem ser interpretados como indicadores de potenciais de melhoria térmica quanto aos níveis de conforto interno das diversas estratégias analisadas.

Os quadros apresentados poderão nortear tanto a implantação da edificação como também a opção conjunta de alguma estratégia de projeto. Porém, há que se considerar ainda a efetividade do benefício termo-energético de uma dada estratégia, conforme apresentado na discussão de cada ZB. Os quadros indicativos e as tabelas detalhadas podem também auxiliar na definição de estratégias a serem adotadas e de seu potencial quando da implantação de uma moradia no lote (DÖRFLER; KRÜGER, 2014). Desta forma, pode-se fazer uma crítica à padronização de moradias a serem implantadas em um mesmo loteamento, as quais poderiam variar segundo a orientação das vias/fachadas.

Das 4 cidades analisadas, nota-se uma maior demanda anual para climatização artificial para Curitiba PR, seguida pelas duas cidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8, e, por fim, São Paulo SP. Levando-se em conta as temperaturas de set-point adotadas, 19°C e 25°C, para aquecimento e resfriamento, respectivamente, nota-se uma semelhança nesse ordenamento quando se compara o rigor climático dessas cidades em termos do somatório de graus-hora anuais para climatização artificial. Goulart et al. (1998) apontam, para os respectivos anos climáticos, uma demanda anual de aquecimento de 25999,6 graus-hora para Curitiba PR (para Tb=18°C), de 12413,9 para Recife PE (resfriamento, com Tb=25°C), e de

12889,1 (aquecimento) e 747,9 (resfriamento) para São Paulo SP. Embora a Tb de aquecimento seja inferior ao patamar adotado nas simulações para cálculo da demanda anual por aquecimento, é evidente que a cidade de Curitiba PR apresenta maiores desafios para o projetista no uso de estratégias de melhoria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro: ABNT 2013.

BARBOSA, M.J. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. Tese (Doutorado em Engenharia), UFSC, 1997.

BORGES, R.M. Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no conjunto habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFV, 2013.

BRASIL. Lei n.o 11.977, de 7 de Julho 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm>

CEF GIDUR/VT. Cadernos CAIXA Projeto padrão casas populares, 2006. Disponível em: http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/banco_projetos/projetos_his/casa_42m2.pdf

D´AMICO, Fabiano. O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal. Centro Celso Furtado, 2011. Disponível em: http://centrocelsofurtado.com.br/arquivos/image/201109261251530.LivroCAIXA_T_0_033.pdf

DANTAS, C.; BARBIRATO, G. Avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários em empreendimentos residenciais horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió AL. In: Anais do 15º Ergodesign & Usihc [=Blucher Design Proceedings, vol. 2, num. 1]. São Paulo: Blucher, 2015.

DÖRFLER, M.; KRÜGER, E. Avaliação dos impactos termo-energéticos da orientação solar em Habitação de Interesse Social na zona bioclimática 01. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. p. 489.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings, v. 18, p.11-23, 1992.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. Universidade Federal de

Santa Catarina, Núcleo de Pesquisa em Construção, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 1998.

MORENO, A.C.R. Minha Casa Minha Vida: análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), UFMG, 2013.

MORI, F.; KRÜGER, E.L. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Ambiente Construído (Online), v. 12, p. 89-106, 2012.

SEN, A. A ideia de justiça. Editora Companhia das Letras, 2011.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software: Weather Data. 2011. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO ENERGOLUMINOSO DE SALAS DE AULA EM LATITUDE 15ºS[1]

DURANTE, Luciane Cleonice (1); CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio (2); ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho (3); NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque (4); NOGUEIRA, Jocely Rosanna da Silva (5)

(1) UFMT, e-mail: luciane.durante@hotmail.com; (2) UFMT, e-mail: ivancallejas1973@gmail.com; (3) UFMT, e-mail: karyna.rosseti@gmail.com; (4) UFMT, e-mail: mcjan@gmail.com; (5) UFMT, e-mail: tokdarte@gmail.com

RESUMO

A qualidade do espaço físico das salas de aula contribui para o processo de ensino-aprendizagem e o conforto visual é um fator relevante para realização das tarefas de leitura e escrita. Este estudo tem por objetivo apresentar proposta de abordagem integrada da luz natural e artificial, com vistas à melhoria do desempenho energoluminoso de uma sala de aula, localizada em latitude 15ºS. Por meio de realização de medições da iluminância natural, constatou-se que os níveis normativos só são atingidos nas proximidades das janelas baixas, ficando as demais regiões abaixo do nível recomendado. Foram elaboradas duas propostas para a iluminação artificial: a primeira, denominada convencional e, a segunda, que considerou a contribuição da luz natural e contemplou a independência dos circuitos de acionamento das luminárias. A partir de simulações computacionais, foi mapeada a distribuição das iluminâncias, sendo que na segunda proposta foi obtida economia de energia mensal de 50% em relação ao sistema existente, com maior qualidade e quantidade de luz na sala.

Palavras-chave: Eficiência energética. Conforto visual. Iluminância.

ABSTRACT

The physical space quality of the classroom contributes to the teaching-learning process and the visual comfort is an important factor to do tasks that involve reading and writing. This study aims to present a proposal for an integrative approach for natural and artificial light, in order to improve the energetic and luminous classroom performance, located at latitude 15ºS. By measurements of natural illuminance, it was found that the normative levels are only achieved near of low windows, leaving the remaining regions below the recommended level. Two proposals for artificial lighting system were prepared: the first, called conventional and the second, which considered the natural light contribution in the room and included the independence of the drive circuits of luminaires. Using computer simulations, the distribuition of illuminance was mapped. The second proposal was obtained monthly energy savings of 50% compared to the existing system, with higher quality and quantity of light.

Keywords: Energy efficiency, visual comfort, illuminance.

1 DURANTE, Luciane Cleonice, CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio, ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho, NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque, NOGUEIRA, Jocely Rosanna da Silva. Desempenho energoluminoso de salas de aula em latitude 15ºS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anai**s... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

No que diz respeito à luz, um ambiente pode sofrer interferências de fatores externos ao edifício, que determinam a quantidade e qualidade da luz disponível para a edificação, e de fatores internos, que influenciam na distribuição da luz no interior do edifício. "A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento" (LAMBERTS, 1997, p.44).

O conforto luminoso é um fator determinante para a saúde e a produtividade das pessoas e de particular importância para os edifícios educativos, visto o seu uso diurno e o tipo de funções realizadas nestes ambientes (MAIRINC e OCHOA, 2003; ALMEIDA, RUIZ e GRAÇA, 2012; MONTEOLIVA e PATTINI, 2013). Assim confirma Frandoloso (2001, p.156):

> "O conforto visual nas edificações escolares revela-se de grande importância visto que as tarefas visuais a serem desenvolvidas são frequentemente no processo de aprendizagem: a leitura e a escrita, por exemplo. O conjunto de métodos de sociabilização e construção do conhecimento da criança exige que o desempenho visual em escolas seja eficiente: para atingir esse objetivo, vários aspectos contribuem, tanto em termos quantitativos, como qualitativos, interferindo no ambiente visual da sala de aula e demais compartimentos nos quais acuidade e precisão visual se fazem necessários."

Kowaltowski (2011) afirma que em uma sala de aula deve ser proporcionada luz em quantidade suficiente e destaca a superioridade da qualidade da luz natural em relação à artificial, por conter luz em todas as faixas do espectro. Destaca que são comuns problemas de ofuscamento, ausência de uniformidade, níveis de iluminamento abaixo dos requeridos para a atividade, além da falta de manutenção das luminárias.

Segundo Jaramillo e Pereira (2014), a própria disposição dos agrupamentos de alunos em relação à fonte de luz interferem na distribuição da iluminação, ocorrendo sempre decréscimo da luz de forma continua à medida que se afasta da janela.

Oliveira, Maciel e Carlo (2014) concluíram que o usuário tem preferencia pela proximidade da abertura, mesmo que ela se localize em uma área com maior temperatura e possibilidade de ofuscamento, evidenciando que os mesmos reconhecem a sua importância para proporcionar conforto.

Ventorim et al. (2014), com o o objetivo de verificar as condições de conforto a que os usuários estão submetidos, analisaram comparativamente resultados das medições *in loco* de iluminância, segundo a NBR 15215-4 (ABNT, 2011) e as percepções dos alunos, coletadas por meio de questionário. Os resultados indicaram que o sistema de iluminação natural das salas era insuficiente para promover o conforto lumínico dos usuários, tendo em vista que os níveis de iluminância medidos não atingiam os níveis determinados pela NBR 8995-1 (ABNT, 2013). Constataram que, nas áreas mais próximas às janelas, a iluminância era mais próxima à adequada, e de

acordo com as percepções dos alunos, os níveis de iluminação natural destas áreas eram suficientes.

Do ponto de vista energético, para assegurar uma iluminação de qualidade e sem desperdícios é necessário explorar o potencial da iluminação natural, que traz benefícios econômicos e proporciona a aplicação dos índices de conforto (OCHOA, ARAÚJO e SATTLER, 2012). Nesse sentido, Dias (2011) sugere que a luminação natural seja analisada de forma conjunta com os fatores térmicos e acústicos.

Assim sendo, o objetivo geral deste trabalho é verificar o desempenho energoluminoso de um sistema de iluminação de sala de aula, considerando a contribuição da luz natural.

Utiliza-se, neste artigo, o termo "energoluminoso" para diferenciar seu caráter de abordagem integrada entre a iluminação do ambiente, considerando a natural e a artificial, e o consumo de energia elétrica pelo sistema de iluminação artificial, de maneira análoga à expressão "termoenergético", utilizada quando se pretende fazer referência às condições térmicas e o consumo de energia que se destina aos sistemas de condicionamento artificial para adequá-las aos limites requeridos. Também, se pretende diferenciar a abordagem da avaliação de desempenho lumínico, tal como estabelecido na ABNT (2013), uma vez que nesta expressão, cabe apenas a avaliação e comparação dos níveis de iluminância de um ambiente com os níveis normativos estabelecidos.

2 MATERIAIS E MÉTODO

O objeto deste estudo é uma sala de aula de escola da rede pública estadual, localizada na zona urbana de Cuiabá/MT. A sala mede 6,0 x 8,0m, possui forro em laje com pé-direito de 2,9m. A cor das paredes internas é amarelo claro, o teto é branco, o piso é cinza claro e os caixilhos são vermelhos. O vidro das janelas é do tipo comum, transparente (Figura 1).

A sala de aula possui orientação de implantação da parede que contém as janelas altas (peitoris de 2,10m) a 138º (fachada SE) e da parede que contém as janelas baixas (peitoril de 0,90m), a 318º (fachada NO). A cobertura em telhas de fibrocimento ultrapassa as paredes da sala, formando beirais de 2,50m (Figura 2).

As obstruções externas à edificação não proporcionam sombreamento na fachada 138°. Já os beirais, proporcionam sombreamento nessa fachada desde as 8h até às 12h (Figura 3).

Na fachada 318º, os beirais proporcionam sombreamento desde as 12h até às 14h30min no solstício de inverno e, até às 17h30min, no solstício de verão. As obstruções proporcionadas pelos blocos adjacentes à sala (obstruções externas) complementam a máscara após as 16h15min no solstício de inverno e após as 18h15min no solstício de verão. Desta forma, observa-se que ocorre incidência solar direta na sala no meio da tarde (Figura 3).

Figura 1 – Interior da sala de aula somente com iluminação natural



Fonte: Os autores

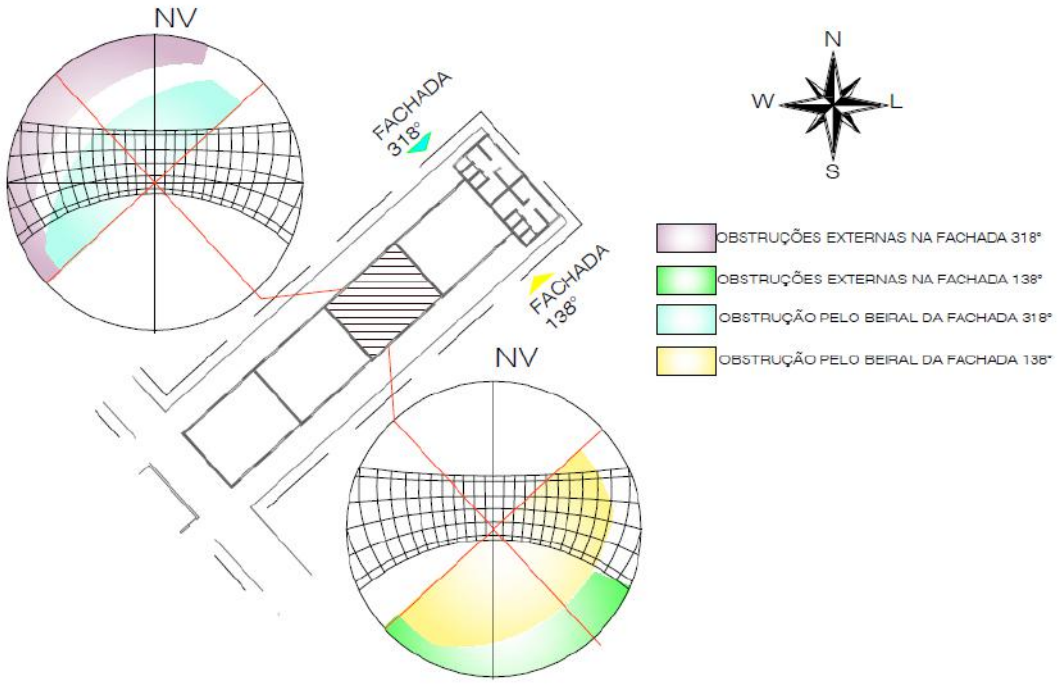
Figura 2 – (a) Beiral na fachada 318º e (b) Beiral na fachada 138º

(a) (b)



Fonte: Os autores

Figura 3 – Máscara solar nas fachadas da sala de aula



Fonte: Os autores

A proposta de revitalização do sistema de iluminação encontra pressupostos teóricos no conceito de zonas luminosas (*lighting zones*), definidas por Robbins (1986) como áreas do ambiente que usam a luz natural conjuntamente para prover os níveis de iluminância requeridos. Segundo este autor, o primeiro passo para um projeto integrado de iluminação natural e artificial é o conhecimento das características do desempenho da luz natural em cada ambiente a ser trabalhado e o reconhecimento das zonas luminosas.

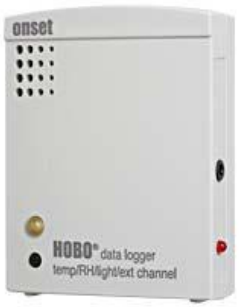
A pesquisa percorreu as seguintes etapas metodológicas de PROCEL (2002, 2011): diagnóstico da iluminação natural, diagnóstico da iluminação artificial, elaboração de proposta de revitalização do sistema de iluminação artificial e avaliação da eficiência energética da proposta.

2.1 Diagnóstico da iluminação natural

O diagnóstico da iluminação natural foi feito por meio de medições da iluminância ao longo da largura da sala, seguindo adaptação do método estabelecido na NBR 15215-4 (ABNT, 2011), devido à restrição na disponibilidade de equipamentos. Por isso, além dos resultados da avaliação quantitativa, optou-se por realizar avaliação qualitativa, a partir da observação do uso da sala de aula, o que permite que sejam consideradas as opiniões subjetivas, além das técnicas.

A instrumentação teve por finalidade reconhecer a distribuição da iluminância na largura da sala. Foi feita com as salas desocupadas e somente com a iluminação natural. Para tanto, utilizaram-se três sensores HOBO U12-013 (Figura 4), que registram a iluminância de 10 a 32.280lux.

Figura 4 – Sensor de iluminância interna modelo HOBO U12-013



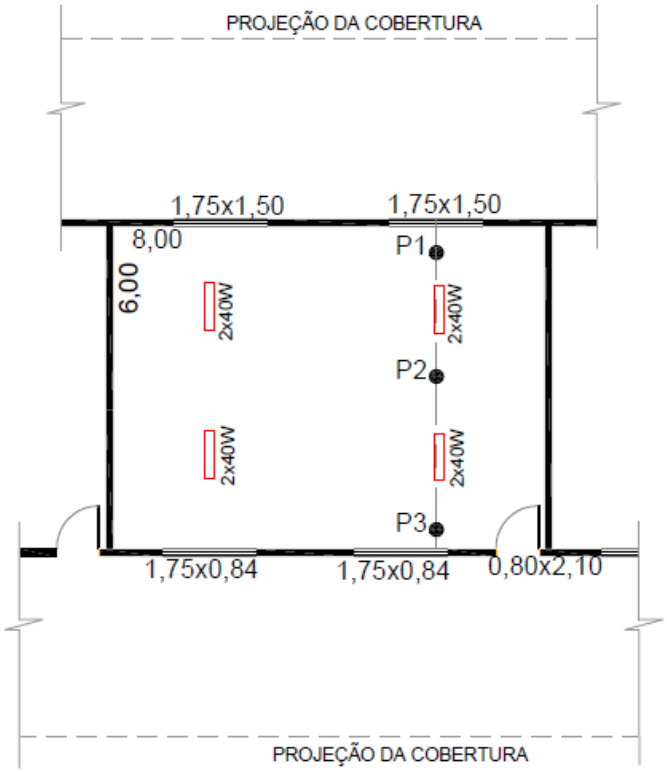
Fonte: http://www.onsetcomp.com/

Os sensores foram distribuídos no ponto P1, a 0,6m da janela baixa, no ponto P2, no centro da sala e no ponto P3, a 0,6m da janela alta, conforme a Figura 5, que também apresenta a locação das luminárias, que se encontravam desligadas no momento das medições de luz natural. Todos os sensores estavam devidamente calibrados e foram sincronizados para realizar medições no intervalo de 10 minutos, no período de 28/12/2010 a 23/01/2011.

Para a análise da contribuição da luz natural foram calculadas as médias

horárias de todo o período de medição, em cada um dos três pontos, das 7 às 17h. A iluminância foi comparada aos requisitos mínimos para sala de aula, conforme NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), que estabelece iluminância mantida (E_m) de 300lux.

Figura 5 - Pontos de medição da iluminação natural e locação das luminárias



Fonte: Os autores

2.2 Diagnóstico da iluminação artificial

A sala de aula conta com sistema de iluminação artificial com quatro luminárias contendo duas lâmpadas fluorescentes de 40 watts cada. Cada luminária produz uma intensidade luminosa total de 4700 lúmens.

Para verificar as condições de iluminação artificial utilizou-se o software Lumisoft (versão 2010) da Lumicenter (LUMICENTER, 2010), que utiliza o método dos Lúmens para realizar o cálculo luminotécnico. Os parâmetros de entrada foram:

- Largura do ambiente: 6,00 m
- Comprimento do ambiente: 8,00 m
- Altura do ambiente: 2,94 m
- Altura de instalação das luminárias: 2,94 m
- Plano de trabalho considerado: 0,75 m
- Índice de reflexão:

  Teto (cor branca): 70,0%;

Parede (cor média): 30,0%;

Chão (cor escura): 10,0%

- Fator de perda: 0,85
- Fluxo utilizado no cálculo: 4.700 lúmens/luminária.
- Luminárias: quatro luminárias de sobrepor, modelo Itaim, para duas lâmpadas fluorescentes de 40W com reator eletromagnético 2x40 de 4W (Figura 6).

Figura 6 - Luminária fluorescente com 02 lâmpada de 40W



Fonte: Lumicenter (2010)

2.3 Elaboração de proposta de sistema de iluminação

Após constatação prévia do número insuficiente de luminárias no local, foram elaboradas duas propostas de iluminação, sem e com a consideração da contribuição da luz natural, a saber:

a) Sistema de iluminação artificial convencional: seis luminárias, dispostas em duas fileiras e três linhas;

b) Sistema de iluminação artificial complementar à iluminação natural: esta proposta foi elaborada tomando-se por base os resultados das medições da distribuição da luz natural na sala, e complementa a iluminância natural onde os níveis não atingem o nível recomendado pela norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

2.4 Avaliação da eficiência energética da proposta

Para verificação da eficiência energética da proposta de iluminação foi elaborada análise comparativa do consumo diário de energia (kWh) do sistema atual e do sistema proposto.

O consumo de uma lâmpada é o produto de sua potência (W) pelo tempo de funcionamento (h) e o consumo diário considerou o tempo de funcionamento de 8h, em que as lâmpadas ficam ligadas no período diurno, uma vez que somente a iluminação natural não é suficiente para proporcionar os níveis recomendados para a sala de aula em estudo.

3 RESULTADOS

3.1 Diagnóstico da iluminação natural da sala de aula

3.1.1. Resultados da avaliação quantitativa

A iluminância média obtida por meio das medições foi de 531, 154 e 190lux, respectivamente nos pontos de medição P1, P2 e P3. O centro da sala apresentou menor iluminância que o ponto a 60cm da janela alta, provavelmente devido à contribuição de parcelas de luz refletida nas paredes e tetos.

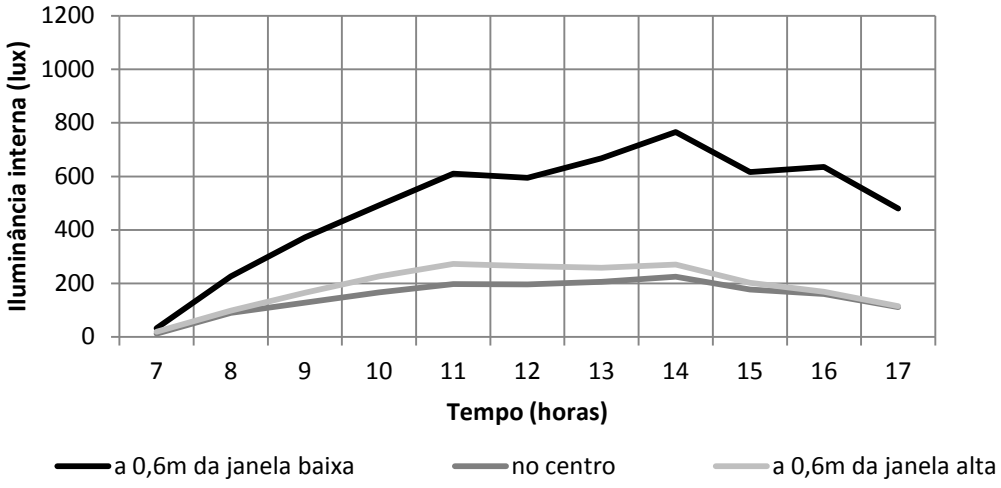
Comparados os níveis medidos com a recomendação normativa de 300lux, verifica-se que, somente no ponto P1, a 60cm da janela baixa, o mesmo é atingido. Portanto, se faz necessária a complementação de luz artificial nos demais pontos (Tabela 1, Figura 7).

Tabela 1 – Iluminância média nos pontos de medição

Ponto	Iluminância (lux)	Recomendação NBR 8993 (lux)	Necessita de complemento de luz artificial?
P1 – a 0,6m da janela baixa	531	300	não
P2 – no centro da sala	154	300	sim
P3 – a 0,6 m da janela alta	190	300	sim

Fonte: Os autores

Figura 7 – Médias horárias da iluminância nos pontos de medição da sala



Fonte: Os autores

3.1.2. Resultados da avaliação qualitativa

Verificou-se que, o uso da sala se dá com a iluminação artificial, mesmo no período diurno, independentemente das condições de céu, e que devido à distância entre as janelas baixas e distribuição das luminárias, tem-se uma região central com pouca luz, que necessita de complemento (Figura 8a). A disposição das carteiras é de livre escolha por parte dos alunos, que se

agrupam em diversas regiões. Não se verifica contraste excessivo ao longo da largura da sala (Figura 8b).

Figura 8 – (a) Região mal iluminada entre janelas baixas e (b) iluminação no centro da sala e próximo às janelas altas



(a) (b)

Fonte: Os autores

3.2 Diagnóstico da iluminação artificial

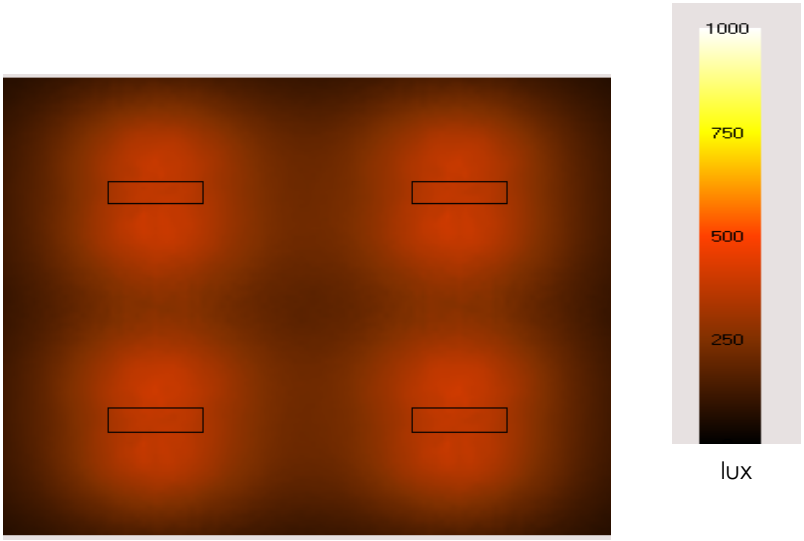
O software Lumisoft gera a distribuição das iluminâncias no ambiente, cujo valor médio foi de 242,78 lux (Figura 9). Nas regiões central, lateral, da frente e do fundo da sala, a iluminância é de cerca de 200lux, sendo alcançados cerca de 350 lux sob as luminárias (Figura 10), com distribuição não uniforme.

Figura 9 – Malha de iluminância do sistema de iluminação artificial existente

Malha de ilumanância		Largura										
		0,0m	0,6m	1,2m	1,8m	2,4m	3,0m	3,6m	4,2m	4,8m	5,4m	6,0m
Comprimento	0,0m	74	108	123	127	120	110	123	127	124	106	75
	0,8m	110	185	224	235	213	181	210	231	228	187	110
	1,6m	151	285	352	358	320	258	321	362	347	282	145
	2,4m	150	289	365	374	332	267	329	376	364	292	156
	3,2m	126	217	262	272	248	211	251	272	265	215	124
	4,0m	110	177	211	217	204	179	206	218	210	176	109
	4,8m	125	215	260	275	249	211	247	268	265	216	126
	5,6m	157	292	363	369	330	268	330	374	357	290	150
	6,4m	145	280	355	362	322	258	318	365	352	285	151
	7,2m	110	189	225	234	211	181	215	233	229	185	110
	8,0m	74	107	125	128	122	108	121	129	124	107	72

Fonte: Os autores a partir de simulação no programa Lumisoft.

Figura 10 – Iluminância do sistema de iluminação artificial existente



Fonte: Os autores a partir de simulação no programa Lumisoft.

A simulação computacional da iluminação artificial existente a partir dos parâmetros de entrada no software Lumisoft, demonstrou que as quatro luminárias não proporcionam o nível recomendado de 300lux pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) nos pontos de medição (Tabela 2).

Tabela 2 – Iluminância dos pontos de medição conforme sistema existente

Ponto	Iluminância (lux)	Recomendação NBR 8993 (lux)	Necessita de adequação de luz artificial?
P1 – a 0,6m da janela baixa	185	300	sim
P2 – no centro da sala	181	300	sim
P3 – a 0,6 m da janela alta	187	300	sim

Fonte: Os autores

3.3 Elaboração da proposta de iluminação artificial

3.3.1. Sistema de iluminação artificial convencional

Foi elaborada proposta convencional de iluminação artificial, solicitando-se que o software Lumisoft (LUMICENTER, 2010) calculasse a quantidade de luminárias para obtenção da iluminância de 300 lux, mantendo-se o mesmo modelo de luminária.

O cálculo luminotécnico resultou em seis luminárias, com iluminância média de 330,52 lux (Figuras 11 e 12).

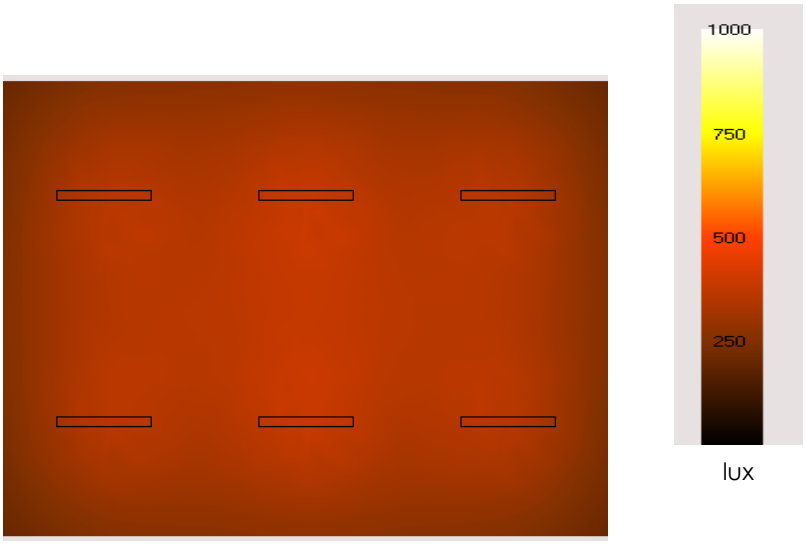
Figura 11 – Malha de iluminância do sistema de iluminação artificial convencional proposto

Malha de iluminância		Largura										
		0,0m	0,6m	1,2m	1,8m	2,4m	3,0m	3,6m	4,2m	4,8m	5,4m	6,0m
Comprimento	0,0m	204	223	237	249	252	254	252	247	240	224	203
	0,8m	240	278	308	323	320	319	322	323	309	277	239
	1,6m	261	310	352	364	361	357	362	369	347	308	260
	2,4m	266	305	336	352	359	362	359	354	335	305	264
	3,2m	271	314	350	372	370	370	371	368	353	315	271
	4,0m	278	333	382	391	390	384	392	400	372	330	278
	4,8m	271	314	354	365	372	371	370	372	347	316	270
	5,6m	264	304	337	353	358	360	359	355	336	305	265
	6,4m	260	307	347	366	360	355	360	364	348	307	260
	7,2m	240	279	308	324	321	320	323	322	309	277	239
	8,0m	203	224	239	248	253	253	252	248	239	224	203

Fonte: Os autores a partir de simulação no programa Lumisoft.

A iluminação resultante das seis luminárias é mais uniforme que a existente, a qual possui apenas quatro luminárias. Nos pontos de medição, a iluminância se mantém pouco acima de 300lux, nível recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) (Tabela 3).

Figura 12 – Iluminância em planta do sistema de iluminação artificial convencional proposto



Fonte: Os autores a partir de simulação no programa Lumisoft.

Tabela 3 – Iluminância dos pontos de medição conforme sistema de iluminação artificial convencional proposto

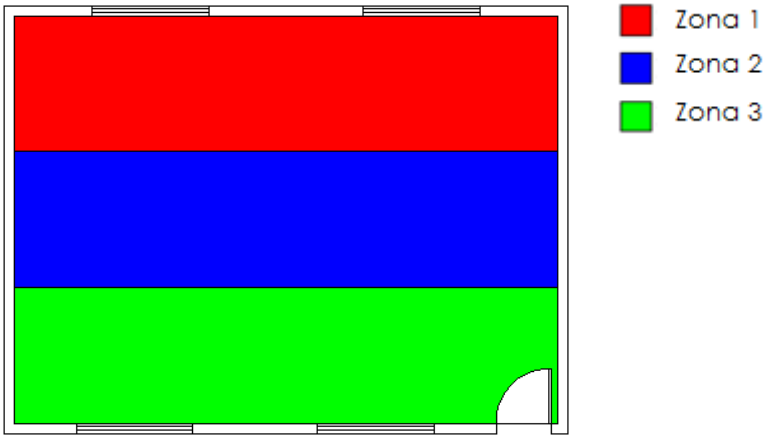
Ponto	Iluminância (lux)	Recomendação NBR 8993 (lux)	Necessita de adequação de luz artificial?
P1 – a 0,6m da janela baixa	310	300	não
P2 – no centro da sala	357	300	não
P3 – a 0,6 m da janela alta	308	300	não

Fonte: Os autores

3.3.2. Sistema de iluminação artificial complementar à iluminação natural

Com base nos resultados das medições dos pontos P2 e P3 que necessitam de complemento de iluminação artificial, a sala foi dividida em três zonas, conforme a Figura 13, sendo a Zona 1, mais próxima à janela baixa, a Zona 2, na região central da sala e a Zona 3, próxima à janela alta.

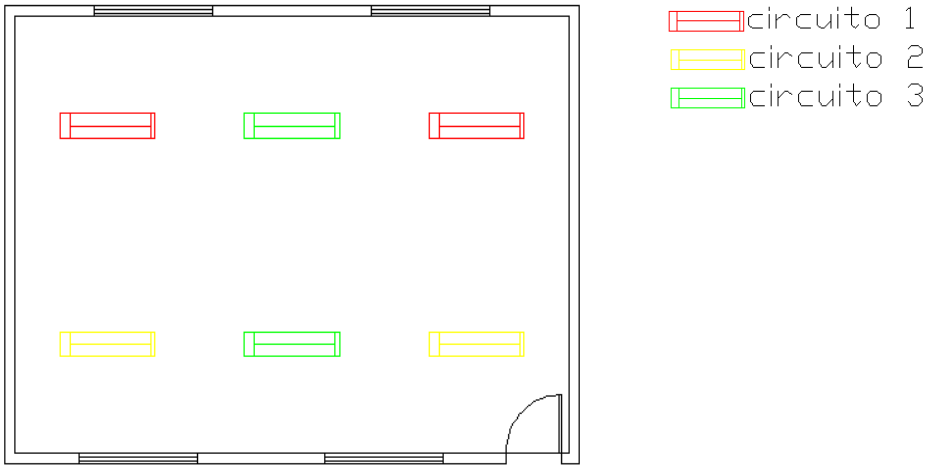
Figura13 – Zonas da sala



Fonte: Os autores

Considerando a existência de uma zona menos iluminada entre as janelas baixas da sala, propôs-se um sistema de iluminação artificial complementar à iluminação natural. Para tanto, as luminárias foram divididas em três circuitos, com interruptores independentes, conforme a Figura14.

Figura 14 – Divisão dos circuitos do sistema de iluminação artificial complementar à iluminação natural



Fonte: Os autores

O aproveitamento da iluminação natural se dá na proposição de acionamento dos circuitos de acordo com a necessidade de iluminamento. Calculou-se a contribuição da iluminação artificial do circuito 2 nas Zonas 2 e 3 e os resultados da simulação constam da Figura 15.

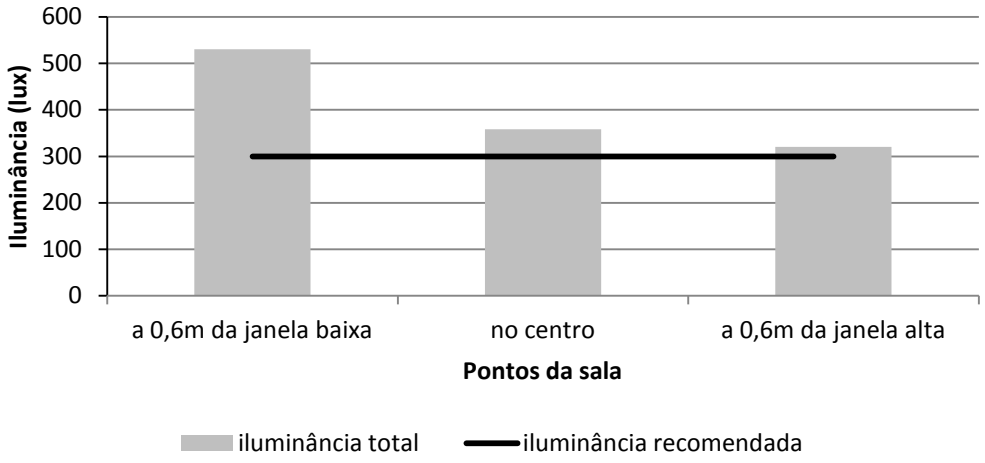
Figura 15 – Malha de iluminância devido ao acionamento do circuito 2

Malha de iluminância		Largura										
		0,0m	0,4m	0,8m	1,2m	1,6m	2,0m	2,4m	2,8m	3,2m	3,6m	4,0m
comprimento	0,0m	47	59	80	100	111	112	110	100	81	58	47
	0,8m	59	87	140	189	211	209	215	190	139	83	58
	1,6m	71	114	204	294	340	331	334	296	203	121	73
	2,4m	76	124	212	305	352	349	350	305	211	119	74
	3,2m	66	97	163	220	246	247	248	220	162	101	68
	4,0m	66	88	133	172	195	196	193	170	131	88	66
	4,8m	67	101	162	220	245	245	251	219	162	97	66
	5,6m	73	120	210	303	350	342	345	306	209	125	76
	6,4m	73	120	205	296	342	338	341	296	204	114	72
	7,2m	58	83	140	191	211	211	214	189	139	87	61
	8,0m	47	58	81	100	112	112	112	99	78	58	47

Fonte: Os autores a partir de simulação no programa Lumisoft.

Com acionamento do circuito 2, a iluminância artificial média resultante nas zonas 2 e 3 é de 204 e 121lux, que complementa a iluminação natural existente nos Pontos 1 e 2, de 154 e 190lux, obtendo-se 358 e 311lux, respectivamente (Figura 16). No Ponto 1, o sistema não deve ser acionado, mantendo os níveis de iluminação em 530lux. Desta forma, os níveis de iluminamento atingem o valor normatizado de 300lux, garantindo um conforto visual e com uma maior eficiência da iluminação artificial.

Figura 16 – Iluminância natural e artificial, resultante do acionamento do circuito 2



Fonte: Os autores

Para verificação da redução do consumo de energia devido à implantação do sistema de iluminação que considera o aproveitamento e distribuição da luz natural, foi elaborada uma comparação entre o consumo de energia elétrica demandado pelos sistemas atual e proposto, evidenciando a economia energética que seria proporcionada, caso este último fosse implantado.

Segundo Gugel e Westphal (2006), a potência total de uma luminária com duas lâmpadas fluorescentes tubulares com um reator é de 95W, resultando em um consumo de 0,095 kWh por luminária. Com o sistema de iluminação artificial atual composto por quatro lâmpadas que ficam ligadas por 8 horas diárias (4 horas no turno da manhã e 4 horas no turno da tarde), cinco dias por semana, estima-se um consumo mensal de 60,80kWh.

Com a utilização da configuração proposta somente é necessário o acionamento durante o dia do circuito 2, que é composto por duas lâmpadas que ficarão ligadas pelo mesmo tempo do sistema anterior, estimando-se um consumo mensal de 30,40kWh.

Logo, com a instalação do sistema de iluminação proposto, para as condições atuais de uso da sala de aula, o consumo com iluminação sofreria uma redução de 50% durante o dia.

4 CONCLUSÕES

Os resultados das medições na sala de aula pesquisada demonstraram que os níveis de iluminação natural não são suficientes para que seu funcionamento se dê sem a necessidade de acionamento da iluminação artificial.

Muito embora a disponibilidade de luz natural na latitude 15°S, onde a sala de aula se localiza, seja abundante, a presença de beirais, a forma da sala e a disposição das janelas proporcionam uma região próxima às janelas baixas suficientemente iluminada (531lux), ficando a parte central e oposta às janelas baixas, com iluminação deficiente (154 e 190lux, respectivamente).

Um sistema de iluminação artificial que considere a contribuição da iluminação natural existente foi elaborado a partir dos níveis medidos e da observação da distribuição da luz natural na sala. Este sistema contemplou a redistribuição dos circuitos em seis luminárias, de acionamento independente, sendo que, durante o dia, apenas duas precisam ser ligadas.

Com a implantação desse sistema, é possível obter economia de energia com iluminação mensal de 50% em relação ao sistema atual, nas condições atuais de uso e ocupação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.; RUIZ, E. O.; GRAÇA, V. A. C. Iluminação natural e saúde em salas de aula: a melhoria do desempenho ambiental através do controle da radiação solar. **Sinergia**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 42-53, jan./abr. 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho Interior. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15215-4:** Iluminação natural - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

DIAS, A. F. A. **Análise do uso da luz natural em salas de aula: estudo de caso em Aracaju-SE.** 140 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2011.

FRANDOLOSO, M. A. L. **Critérios de projeto para escolas fundamentais bioclimáticas.** Dissertação (mestardo). 233p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

Gugel, E. C.; Westphal, F. S. **Estudo comparativo entre sistemas de iluminação**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2006. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br. Acesso em: jun. 2016.

JARAMILLO ,C. B.; PEREIRA, F. R. Alterações na distribuição da luz natural causados pelos agrupamentos de alunos em salas de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. **Anais**... Maceió: ENTAC, 2014. p. 243-252.

KOWALTOWSKI, D. K. **Arquitetura escolar**. O projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª ed., 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, FERNANDO, O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LUMICENTER Engenharia de Iluminação. Lumisoft: Software de Cálculo Luminotécnico. Disponível em:

http://www.lumicenteriluminacao.com.br/pt/tecnologia/lumisoft.html. Acesso em: dez 2010.

MAIRINC, I.; OCHOA, J. M. Metodologia de análisis de iluminación natural para edifícios educativos em clima cálido seco. In: ENCAC – ENCONTRO NACIONAL, 6., e ENCONTRO LATINOAMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2003, São Pedro. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-ROM.

MONTEOLIVA, J. M.; PATTINI, A. Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 235-248, jul./set. 2013.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de Iluminação Eficiente**. Rio de Janeiro. 2002.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de Iluminação**. Rio de Janeiro. 2011.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: Design and Analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: Comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 91-114, jan./mar. 2012.

OLIVEIRA, M.; MACIEL, L.; CARLO, J. Percepção ambiental e avaliação de desempenho de dispositivos de proteção solar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. **Anais**... Maceió: ENTAC, 2014. p. 303-312.

VENTORIM, F. C.; BRAGATTO, L. R.; RODRIGUES, M. L. de B.; DIAS, I. P.; MARQUES, A. C. R.; DINIZ, A. C.; ACHIAMÉ, G. G.; SAUER, A. S.; REMBISKI, F. D. Análise do desempenho da iluminação natural de Salas de aula de desenho em Vitória (ES). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. **Anais**... Maceió: ENTAC, 2014. p. 897-906.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DIRETRIZES PARA INTERVENÇÕES NA ENVOLTÓRIA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 3 PARA OBTENÇÃO DO "NÍVEL A" PELO MÉTODO PRESCRITIVO DA CERTIFICAÇÃO PROCEL EDIFICA[1]

ELOY, Danielle (1); AKUTSU, Maria (2)

(1) IPT, e-mail: dany.eloya@gmail.com; (2) IPT, e-mail: akutsuma@ipt.br

RESUMO

Projetistas da construção civil lidam com um grande número de variáveis na realização de um projeto, dentre elas as relacionadas ao desempenho térmico e, por consequência, à eficiência energética da edificação. A etiqueta nacional de conservação de energia do PBE Edifica apresenta-se como uma opção para certificação de edifícios comerciais, em relação à sua eficiência energética. Este trabalho foi realizado com o objetivo de estabelecer diretrizes para que o profissional da construção civil possa intervir de forma eficiente sobre a envoltória da edificação e, dessa forma, atingir o "nível A" de classificação da etiqueta PBE Edifica, pelo método prescritivo. Os resultados obtidos foram organizados de forma a evidenciar os impactos das variáveis que influenciam o indicador de consumo de energia devido à envoltória da edificação. Dentre as conclusões, destacam-se: o "percentual de abertura na fachada" é a variável que mais impacta o resultado final do indicador de consumo da envoltória, seguida da variável "ângulo vertical de sombreamento"; variáveis como "fator de forma", "fator de altura" e "ângulo horizontal de sombreamento" não interferem diretamente no resultado final do indicador de consumo; a combinação das variáveis, de forma adequada, possibilita a obtenção do "nível A" da certificação, conforme as características da edificação.

Palavras-chave: Procel Edifica. Método prescritivo. Envoltória da edificação. Eficiência energética.

ABSTRACT

Construction designers deal with a large number of variables in the realization of a project, among them those related to thermal performance and, consequently, the energy efficiency of the building. The national label energy conservation of PBE Edifica presents itself as an option for certification of commercial buildings in relation to their energy efficiency. This study was conducted in order to establish guidelines for the construction professional to intervene effectively on the building envelope and thus achieve the "Level A" rating PBE Edifica label, through the prescriptive method. The results were organized in order to highlight the impact of variables that influence the indicator of energy consumption due to the building envelope. Among the findings are: the "opening percentage on the facade" is the variable that most impacts the end result of the consumption indicator of envelopment, then the variable "vertical angle shading"; variables such as "form factor", "high factor" and "horizontal angle shading" not directly interfere with the outcome of the consumption indicator; the

[1] AKUTSU. M; ELOY, D. Diretrizes para intervenções na envoltória de edifícios comerciais na zona bioclimática 3 para obtenção do "nível A" segundo o método prescritivo da certificação Procel Edifica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2015, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

combination of variables, accordingly, allows to obtain the "level A" accreditation, depending on the characteristics of the building.

***Keywords**: Procel Edifica. Prescriptive method. Building envelop. Energy efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo, tem-se observado um aumento na procura de certificações ambientais para edificações nos últimos anos. A etiqueta nacional Procel Edifica (RTQ-C, 2010) apresenta-se como uma opção para certificação de edifícios comerciais, em relação à eficiência energética.

A certificação Procel Edifica pode ser obtida por meio de duas formas: pelo método prescritivo ou pelo método de simulação. Em função da dificuldade em encontrar profissionais capacitados em elaborar tais simulações, o método prescritivo apresenta-se como uma alternativa mais acessível aos profissionais que hoje atuam no setor. Esta afirmação é baseada nas informações fornecidas pela própria etiqueta, onde a maior parte das certificações foi obtida pelo método prescritivo.

Diversos artigos foram publicados sobre o tema em questão, porém nenhum deles fornece os parâmetros específicos de utilização para cada uma das variáveis da equação do Indicador de Consumo da envoltória, visando obter o nível máximo de certificação em edifícios comerciais. (ENCAC 2011, Maciel e Carlo; ENTAC 2012, Pedrini et al; ENTAC 2012, Pacheco et al)

Diante desse contexto e também com a intenção de auxiliar os profissionais da construção civil a projetar adequadamente edificações mais eficientes energeticamente, foi desenvolvido este trabalho com base na análise de cada variável existente na equação do método prescritivo para classificação da envoltória, resultando nas diretrizes para se obter os melhores resultados do nível de eficiência energética da certificação Procel Edifica.

2 MÉTODO DE TRABALHO

O método empregado para o desenvolvimento deste trabalho consistiu em realizar uma análise estrutural na composição das variáveis da equação do Indicador de Consumo da envoltória do método prescritivo da certificação Procel Edifica. Como forma de atestar os resultados, foram elaboradas mais de 1.250 simulações por meio da aplicação do conjunto de possibilidades de combinações das variáveis na equação do Indicador de consumo da envoltória em projetos típicos de trinta edifícios comerciais situados na Zona Bioclimática 3, onde se insere a cidade de São Paulo. Para cada variável foram adotados três cenários, um pessimista, outro otimista e um intermediáriodo. Os resultados obtidos foram organizados de forma a evidenciar os impactos das variáveis que compõem a equação do indicador de consumo de energia devido à envoltória da edificação, na classificação quanto à sua eficiência energética.

2.1 O método prescritivo – envoltória

O Procel Edifica exige o atendimento a alguns pré-requisitos específicos para a avaliação da envoltória, os quais não serão descritos por se tratar de exigências mínimas para obtenção da etiqueta, não impactando no resultado da equação do indicador de consumo da envoltória, descrita a seguir.

O método de classificação de eficiência da envoltória é determinado por um indicador de consumo (IC).

Para o método prescritivo, calcula-se o Indicador de Consumo referente à envoltória (IC_{env}). Para se obter esse resultado, é necessária aplicação de equações empíricas, que variam conforme a Zona Bioclimática onde o edifício está inserido e sua respectiva área de projeção (A_{pe}).

O método prescritivo Procel Edifica apresenta dez equações empíricas que são distribuídas sobre a metragem da área de projeção de cada edificação e também entre as oito Zonas Bioclimáticas do Brasil.

As duas equações a serem consideradas para a Zona Bioclimática 3, estão transcritas a seguir, sendo: uma para edifícios com área de projeção (A_{pe}) menor que 500 m² (equação 1), e outra para edifícios com área de projeção maior que 500 m² (equação 2).

$$IC_{env} = -175{,}30.FA - 212{,}79.FF + 21{,}86.PAF_T + 5.59.FS - 0{,}19.AVS + 0{,}15.AHS + \\ - 275{,}19.\frac{FA}{FF} + 213{,}35.FA.FF - 0{,}04.PAF_T.FS.AVS - 0{,}45.PAF_T.AHS + 190{,}42$$

(equação1)

$$IC_{env} = -14{,}14.FA - 113{,}94.FF + 50{,}82.PAF_T + 4{,}86.FS - 0{,}32.AVS + 0{,}26.AHS - \\ - \frac{35{,}75}{FF} - 0{,}54.PAF_T.AHS + 277{,}98$$

(equação 2)

Onde:

- IC_{env} = Indicador de Consumo da envoltória (adimensional)
- AHS = Ângulo Horizontal de Sombreamento
- AVS = Ângulo Vertical de Sombreamento
- FF = Fator de Forma, (A_{env}/V_{tot})
- FA = Fator Altura, (A_{pcob}/ A_{tot})
- FS = Fator Solar
- PAF_T = Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação)
- V_{tot} = Volume Total da Edificação (m³)
- A_{tot} = Área total construída (m²)
- A_{env} = Área da envoltória (m²)
- Apcob = Área de projeção da cobertura (m²)

O indicador de consumo resultante deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação.

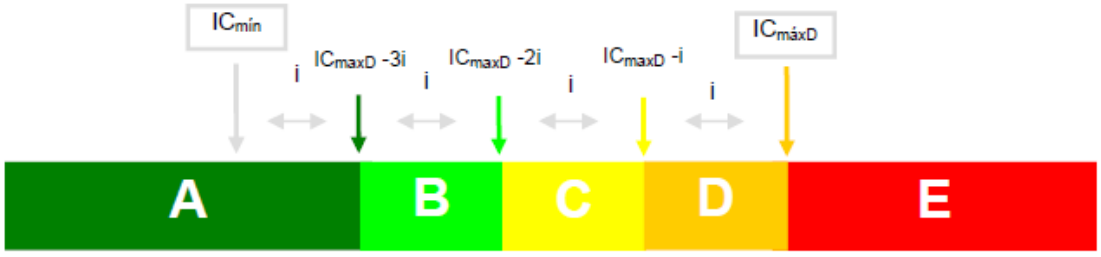
Primeiro calcula-se o indicador de consumo por meio da equação IC_{env} com os dados do projeto do edifício. Em seguida calcula-se o limite máximo do Indicador de Consumo (IC_{maxD}) através da mesma equação; porém com a mudança de alguns parâmetros, conforme orientação do Procel Edifica (RTQC, 2010). Esse índice representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D. Acima desse valor, a envoltória é classificada como E, o que representa a pior eficiência energética.

Após o cálculo do $IC_{máxD}$, calcula-se o limite mínimo do Indicador de Consumo ($IC_{mín}$), também pela mesma equação, conforme parâmetros indicados pelo Procel Edifica (RTQ-C, 2010). Esse índice representa o indicador de consumo mínimo para a classificação A de um edifício. Abaixo desse valor, a envoltória é classificada como A, o que representa a melhor eficiência energética.

Os limites $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta será inserida. O intervalo é dividido em quatro partes, cada uma delas referindo-se a um nível de classificação que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada conforme a equação fornecida pelo Procel Edifica. (RTQ-C, 2010, p. 35).

O valor de i e de seus múltiplos é subtraído de $IC_{máxD}$ formando assim os quatro intervalos. A figura 1 mostra a abrangência do intervalo (i) na escala de Indicadores de Consumo.

Figura 1 - Ilustração do cálculo de IC



Fonte: Manual RTQ-C, BRASIL/2013

De acordo com o Manual do RTQ-C (2013), o cálculo do indicador de consumo visa prever como a envoltória de um edifício vai impactar o seu consumo de energia. A envoltória protege o interior da edificação, portanto quanto mais exposto o interior da edificação, maior a troca térmica permitida entre o interior e o exterior.

3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DA ENVOLTÓRIA APLICADA À ZONA BIOCLIMÁTICA 3

São seis as variáveis que compõem as equações relativas ao cálculo do Indicador de consumo da envoltória pelo método prescritivo da certificação Procel Edifica: "Fator de Forma (FF)", "Fator de Altura (FA)", "Percentual de Abertura da Fachada (PAF)", "Fator Solar (FS)", "Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)" e "Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)".

Na equação do IC_{env}, para cada variável é atribuído um peso e a cada um deles um fator que pode influenciar positiva ou negativamente o resultado final da equação.

3.1 Fator de forma - FF

FF é a relação entre a área de toda fachada da edificação dividida pelo volume total da mesma (A_{env}/V_{tot}).

Para a Zona Bioclimática 3, quando a edificação possuir esse resultado com valor menor que o fator de forma mínimo (0,15), em edificações com área de projeção maior que 500 m^2, deverá ser adotado FF mínimo de 0,15.

3.2 Fator de altura - FA

FA é a relação entre a área da projeção da cobertura da edificação dividida pela área total do empreendimento (Ap_{cob}/A_{tot}).

Para a avaliação da eficiência energética das edificações, o método prescritivo do RTQ-C propõe o cálculo do Índice de Consumo Mínimo (IC_{min}) e Máximo ($IC_{máx}$) de energia para determinadas características dimensionais da edificação, definidas pelo seu Fator de Altura (FA) e Fator de Forma (FF).

Ao serem alteradas as dimensões do edifício, são modificados os valores de FA e FF do edifício, acarretando na definição de novos valores de Índice de Consumo mínimo e máximo. Proporcionalmente a eles, são gerados novos intervalos de consumo para cada um dos selos. No entanto, fixando-se estes valores e alterados os parâmetros relativos ao tratamento das aberturas do edifício (PAF_T, FS, AVS e AHS), modifica-se o desempenho energético da edificação, o que pode desencadear na mudança da classificação do edifício quanto à sua eficiência energética.

Com isso, conclui-se que, para o RTQ-C, se as variáveis FA e FF são modificadas, um novo edifício é definido. Sendo assim, as variáveis fator de forma e fator de altura não refletem no resultado do Indicador de consumo da envoltória.

3.3 Fator Solar - FS

FS é a parcela da energia solar diretamente transmitida e absorvida que penetra no ambiente através do vidro. Quanto maior o FS, maior o ganho de calor. Esse conceito é conhecido como SHGC (Solar Heat Gain Coefficient), na sigla em inglês. (GlassecViracon/2011)

Nesse sentido, pode-se afirmar, em princípio, que quanto maior o valor do FS do vidro, menos eficiente energeticamente será a edificação, consequentemente esta terá um menor nível de eficiência energética na certificação Procel Edifica.

Observando a equação 2, percebe-se que a variável FS apresenta um multiplicador pequeno (4,86%), mas de impacto positivo, aumentando o valor do resultado do indicador de consumo da envoltória, porém em menor proporção.

Para cada 10% de índice do valor do FS, é obtido 0,486 pontos no cálculo do Indicador de consumo da envoltória. Como essa variável apresenta-se na forma positiva, seu resultado aumenta o valor final do Indicador de consumo da envoltória, porém em menor proporção. A utilização dessa variável para melhorar a classificação do nível de eficiência energética somente é relevante quando o valor do Indicador de consumo da envoltória estiver próximo do valor limite de alteração de nível de classificação.

Através da análise da equação 2 é possível afirmar que quanto maior o valor utilizado no FS, maior será o resultado do Indicador de consumo da envoltória e consequentemente menor será sua classificação no nível de eficiência energética Procel Edifica.

Embora a variável FS aumente o valor do resultado do Indicador de consumo da envoltória, sua influência no resultado ainda é pequena frente à influência da variável PAF, que possui um impacto muito maior no resultado final do Indicador de consumo da envoltória.

A variação do FS somente demonstra eficiência quando o resultado do IC_{env} apresenta-se limítrofe à alteração do nível de eficiência. Nesse caso, a redução do valor do FS possibilita a melhora no nível de eficiência do edifício.

Para que haja alteração no nível de classificação de eficiência energética é preciso reduzir significativamente o valor do FS. Porém, seu uso isolado não é suficiente para se obter o "nível A" em edificações que apresentarem PAF maior que 25%.

3.4 Percentual de abertura na fachada - PAF

O percentual de abertura na fachada representa a porcentagem de aberturas em toda a área de fachada.

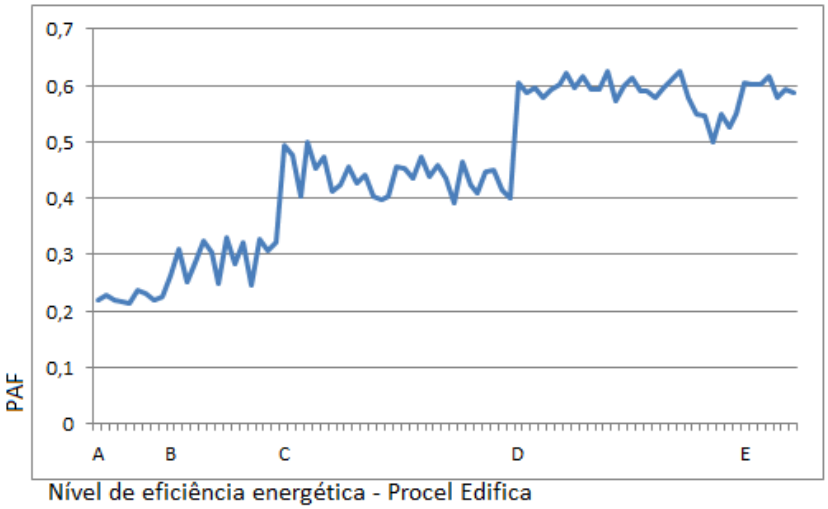
A orientação das fachadas não é considerada diretamente na equação do cálculo do IC, ela é apenas levada em consideração quando se tem um PAF_O (percentual de abertura na fachada oeste) significativamente maior que o percentual de abertura total das fachadas (mais de 20%). Nesses casos, o PAF_O é utilizado nas equações, em vez do PAF_T, aumentando o percentual a ser considerado nos cálculos.

A equação do cálculo do IC_{env}, (equação 2), indica que qualquer valor utilizado como PAF, terá seu peso multiplicado em mais de 50 vezes e seu

resultado será somado ao valor final do IC_{env}. Dessa forma, pode-se observar que essa variável é a que obtém maior impacto no resultado do Indicador de consumo da envoltória.

Utilizando-se como objetos de estudo 30 edifícios comerciais na cidade de São Paulo, foram aplicadas à equação de IC , mais de 1250 hipóteses de combinações das variáveis, alterando os percentuais de abertura da fachada, o índice de Fator solar e os ângulos de sombreamento. Parte dos resultados poderão ser observados nas figuras 2 e 3.

Figura 2 - Relação do PAF com a classificação do nível de eficiência Procel Edifica



Quanto maior for o valor do PAF, maior será o resultado do IC_{env} e consequentemente, menor será sua classificação no nível de eficiência energética da etiqueta PBE Edifica. A progressão dessa curva pode ser observada na figura 2.

3.5 Ângulos de sombreamento

Os ângulos de sombreamento podem ser horizontais ou verticais, sendo utilizados nas variáveis AVS e AHS.

As proteções solares são elementos de projeto que tem como principal função controlar a incidência da radiação solar sobre superfícies transparentes.

O método prescritivo não considera a orientação solar das fachadas do edifício onde os brises estão inseridos, trabalha com a média dos ângulos AHS e AVS dos dispositivos e limita esta média em até 45º, com exceção das zonas bioclimáticas 6 e 8, onde ele é ainda mais restritivo e limita-se em 25º o ângulo médio admissível. Este fato indica algumas distorções na avaliação do desempenho energético de edifícios com brises pelo método prescritivo, segundo Santos e Souza (2012,p. 227), que estudaram edifícios com área de projeção maior que 500 m², localizados na ZB 3, onde puderam evidenciar a

necessidade de se considerar a geometria e a orientação solar dos brises na avaliação do IC.

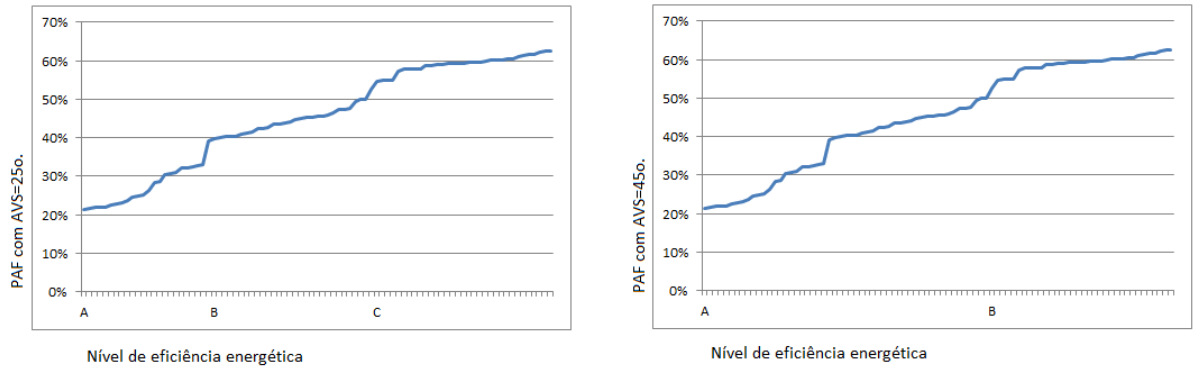
Na equação do IC_{env}, representada pela equação 2, a variável AVS aparece com simbologia negativa, isto indica que qualquer que seja o valor utilizado nesta variável, seu efeito irá reduzir o valor do resultado do IC_{env} e consequentemente melhorar o nível de classificação de eficiência energética. Mesmo tendo um multiplicador pequeno (0,32%), essa variável possui um indicador negativo, que impacta na redução do resultado final da equação.

Considerando que o valor máximo admitido para AVS é de 45º, observa-se que é possível reduzir no máximo 14,4 pontos o resultado do valor do IC_{env}, através de sua equação (0,32 x 45 = 14,4). Esse valor é bastante significativo na expectativa de melhorar o nível de classificação final.

Quanto maior o valor utilizado de AVS, menor será o resultado do IC_{env}. A utilização de proteção solar horizontal para a certificação Procel Edifica certamente melhora a classificação no nível de eficiência energética, através da equação do IC_{env}, porém seus recursos são limitados.

A evolução da classificação do nível de eficiência energética, através da utilização de AVS, pode ser observada na figura 3. Quanto maior o AVS melhor é o nível de classificação energética.

Figura 3 - Relação de AVS, com a classificação de nível de eficiência energética



Embora a variável AVS possibilite um valor significativo para a redução do IC_{env}, a mesma não é suficiente para atingir a categoria de nível A de forma isolada para todas as edificações. As edificações cujos PAF forem maiores que 29% anularão o ganho obtido pela utilização máxima de brises horizontais, tendo em vista o resultado da respectiva variável (50,82 x 0,29 = 14,74).

A variável AHS aparece de forma dúbia na equação: em um primeiro momento aparece com simbologia positiva, impactando o IC_{env} de maneira a aumentar seu resultado. Esse uso isolado reduziria a classificação de eficiência energética, piorando o resultado; em um segundo momento, a variável AHS aparece com indicador negativo e atrelado à variável PAF. O

sinal de subtração, indicado na fórmula, reduz o resultado final do IC_{env}, melhorando sua classificação no nível de eficiência energética. Embora tenha um multiplicador baixo (0,54%), o valor desse conjunto pode aumentar em função do valor atribuído à variável PAF. Quanto maior essa variável, maior será o impacto negativo no resultado final do IC_{env}.

É possível definir o valor limite de PAF onde o AHS passa a melhorar a classificação do nível de eficiência energética, conforme demonstrado na figura 4.

Quando o PAF for maior que 48,1%, a utilização de AHS passa a surtir o efeito desejado no resultado do IC_{env}, visando aumentar a classificação do nível de eficiência energética. Quando o valor da variável PAF for inferior a 48,1%, a utilização do AHS passa a aumentar o IC_{env}, reduzindo seu resultado no nível de eficiência energética. Esse efeito dúbio contradiz os efeitos práticos da utilização de proteções solares verticais.

Essa constatação indica uma necessidade de revisão da equação para cálculo do IC_{env} em relação à variável AHS, com o objetivo de dimensionar minimamente o efeito dessa variável em relação à sua real função prática.

Comparando as variáveis AVS e AHS isoladamente, pode-se observar na equação, que a utilização da variável AVS apresenta um melhor resultado no IC_{env} em relação à variável AHS, visto que a variável AVS possui um multiplicador maior que AHS, além de ter seu valor apropriado de forma negativa.

Figura 4 - Definição do limite de PAF visando benefício de AHS

$$IC_{env} = -14{,}14.FA - 113{,}94.FF + 50{,}82.PAF_T + 4{,}86.FS - 0{,}32.AVS + 0{,}26.AHS - \frac{35{,}75}{FF} - 0{,}54.PAF_T.AHS + 277{,}98$$

$$-0{,}54.PAF_T.AHS + 0{,}26.AHS$$

$$0{,}54.PAF_T.AHS = 0{,}26.AHS$$

PAFT= 0,26/0,54 = **0,481**

Quando AVS e AHS forem utilizadas de forma conjunta, a variável AHS anulará o benefício obtido pelo uso de AVS, sempre que o percentual de abertura na fachada for inferior à 48,1%.

4 DIRETRIZES PARA INTERVENÇÕES NA ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES NA ZONA BIOCLIMÁTICA 3 VISANDO OBTENÇÃO DO "NIVEL A" CONFORME MÉTODO PRESCRITIVO

De acordo com as normas do Procel Edifica, quanto menor o valor do IC_{env} maior é sua classificação de eficiência energética. Dessa forma, é possível estabelecer as seguintes orientações para a utilização adequada das variáveis que compõem a envoltória, com o objetivo de obter o "nível A" de classificação da certificação Procel Edifica:

- Edificações que apresentarem PAF de até 21,5%, conseguem obter o "nível A", apenas com a utilização de vidros com FS no valor de 0,49.
- Edificações que apresentarem PAF entre 21,6% a 24%, podem obter o "nível A" sem realizar outras intervenções, além da utilização de FS de 0,25.
- Edificações com PAF entre 25% e 33%, obtém o "nível B" com a utilização de vidros laminados com FS de 0,25. Edificações com esse PAF necessitam de soluções alternativas para melhorar seu IC_{env}. Nesses casos, para as edificações com IC_{env} próximo ao limite de alteração de nível, a utilização de FS mais eficiente (0,17) é o suficiente para reduzir o IC_{env} e melhorar a sua classificação. Já para as edificações com PAF entre 25% e 31% que não apresentam o resultado de IC_{env} limítrofe, torna-se necessária a utilização de pequenos brises horizontais (AVS=10º.), além do FS de 0,17. Edificações com esse perfil também poderão obter o mesmo resultado utilizando AVS de 25º e FS de 0,25.
- Edificações com PAF entre 31,5% e 40,5% poderão obter o "nível A", com a utilização de brises médios de até 25º de AVS, além da utilização de vidros com FS de 17%.
- Edificações com PAF entre 41% e 50%, utilizando FS de 0,17, podem obter o "nível A", com a utilização de brises horizontais, que gerem AVS de até 45º.
- Quanto maior o PAF, maior é a necessidade de adicionar outros elementos ao projeto, como a utilização de vidros mais eficientes energeticamente e principalmente considerando o uso de proteções solares.
- Não é possível obter nível máximo de certificação em edificações com PAF maior que 50%. Nem mesmo a utilização de brises com AVS de 45º e a utilização de vidros com FS baixo, possibilita a melhoria de eficiência energética da edificação.
- Para edificações com PAF de até 31%, a utilização de um pequeno brise horizontal com AVS de 10º é capaz de proporcionar o "nível A". Para as edificações com PAF entre 31,5% e 40,5% é necessário aumentar o AVS para até 25º a fim de se obter o mesmo resultado.
- Para edificações com PAF entre 47% e 50%, a utilização de brises horizontais em seu potencial máximo (AVS de 45º) faz com que seja

possível atingir a classificação de "nível A".

- Edificações com PAF entre 51% e 55%, conseguem obter o "nível A" com a utilização de AVS máximo (45º) e AHS no valor de 25º, utilizados de forma conjunta. Já as edificações com PAF entre 56% e 57,7%, só conseguem atingir o "nível A", caso utilizem ambas variáveis (AVS e AHS) no seu valor máximo de 45º, além de vidros com FS de 0,17.
- Para as edificações que apresentarem PAF acima de 58%, não é possível atingir o "nível A", nem mesmo utilizando ambos ângulos de sombreamento e vidros com FS baixo.

5 CONCLUSÃO

O PAF é a variável que mais impacta no resultado final da classificação, seguida pela variável AVS. A variável FS possui uma pequena influência sobre o resultado. Sua utilização é relevante quando o valor do IC_{env} está próximo à alteração do nível de classificação. Somente torna-se viável a utilização da variável AHS em edificações cujos PAF estiverem entre 51% e 58% e ainda assim, de forma conjunta com a variável AVS em seu valor máximo de 45º.

Porém, a inconsistência da variável AHS nos resultados dos IC_{env} dos objetos estudados, não reflete seus reais benefícios na eficiência energética da edificação. A utilização da mesma na equação do IC_{env} pode induzir o profissional ao erro no desenvolvimento de um projeto.

Sugere-se a avaliação das demais equações de cálculo do IC_{env} para as outras zonas bioclimáticas brasileiras, verificando se há similaridades ou não entre as variáveis em função do zoneamento.

Considerando a dualidade apresentada pela variável AHS, apresentada na equação 2 do IC_{env}, sugere-se também, que sejam realizadas novas pesquisas sobre a equação do cálculo do IC_{env}, a fim de que o impacto da variável AHS seja de fato condizente com os benefícios reais que sua utilização causa no desempenho térmico das edificações. Desse modo, será possível realizar uma revisão no método prescritivo, adequando-o aos reais benefícios de cada variável da equação, melhorando assim, a certificação Procel Edifica.

REFERÊNCIAS

ALVES, A; PEDRINI, A; LIMA, G. **Eficiência energética de edificações na zona bioclimática 08: Diretrizes de projeto a partir do método prescritivo do RTQ-R**. In ENTAC, 2012.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/decreto4059.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial

(Inmetro). **Requisito técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. I. E. C. E. Ministério Do Desenvolvimento: INMETRO. Portaria n. 372: 87 p. 2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). **Manual para Aplicação dos Regulamentos do RTQ-C**. I. E. C. E. Ministério Do Desenvolvimento: INMETRO 203 p. 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). **Retificações nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C**), aprovados pela Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010. I. E. C. E. Portaria n. 17: 3 p. 2012.

MACIEL, L; CARLO, J. **Análise de sensibilidade do indicador de consumo frente às variáveis das equações do RTQ-C**. In ENCAC 2011

PACHECO, G; OLIVEIRA, P; DIAS, A; HAZBOUN,V; MARTINS, M; PEDRINI, A. **Influência dos ângulos de sombreamento no resultado do indicador de consumo da envoltória através do método prescritivo do RTQ-C**. In ENTAC 2012.

PBE Edifica. **Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações.** Disponível em: < http://pbeedifica.com.br/>. Acessado em: abril de 2014.

SANTOS, I.V ; SOUZA;R. V. G. **Proteções solares no Regulamento brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** In Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 227-241, jan./mar. 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ELEMENTOS DE FACHADA E O DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA: O CASO DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - CAMPUS COLATINA[1]

FASSINA, Sirana Palassi (1); LARANJA, Andréa Coelho (2)

(1) UFES, e-mail: sirana.fassina@ifes.edu.br (2) UFES, e-mail: andrea.laranja@ufes.br

RESUMO

A iluminação natural em salas de aula tem o potencial de influenciar o desempenho dos alunos, além de reduzir gastos com iluminação artificial. O objetivo desta pesquisa é demonstrar a influência de elementos externos de fachada, aqui intitulados balcões refletores, na disponibilidade de iluminação natural em uma sala de aula do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) campus Colatina. Considerou-se como objeto de estudo as jardineiras existentes próximas às janelas da sala de aula e que não são utilizadas para este fim. Avaliou-se, por simulações no TropLux, a disponibilidade de iluminação natural nas salas, variando-se a geometria e os índices de refletância dos balcões refletores. Foram usados 06 modelos na primeira fase e 04 modelos na segunda fase de simulação. Verificou-se a potencialidade do Modelo 3 para Céu 12 (Claro), orientação Sul, em reduzir o contraste da iluminação entre os pontos mais próximos da abertura e os pontos mais profundos do ambiente. Porém, os níveis de iluminância próximo à janela apontam para a necessidade do uso de dispositivos que bloqueiem a luz direta para dentro do ambiente. Observou-se também que a variação nos índices de refletância aplicados não contribuiu para alterações no intervalo útil das UDI, entre 500 e 2000lx.

Palavras-chave: Iluminação natural. Balcões refletores. Eficiência energética.

ABSTRACT

Natural light in schools has the potential to influence students' performance, and it also reduces costs on artificial lighting. The aim of this research is to demonstrate the influence of external elements of facade, entitled here as light reflectors, and their contribution to provide natural lighting inside a classroom at the Federal Institute of Espírito Santo (IFES), campus Colatina-ES. The research object of this study are classroom window boxes, which are not currently being used for this purpose. From simulations using TropLux software, an assessment of the windows boxes was carried out considering different geometries and reflectance values of the light reflectors. Phase 1 consisted of six different models whilst Phase 2 had four. It was verified the potentiality of Model 3 for Sky 12 (Clear), South Orientation, in reducing contrast of lighting between lit areas located closer and farther from the light entrance. However, the illuminance levels near the window showed that a direct light blocking device is recommended inside the room. It was also observed that the variation in the indices of reflectance used did not influence the UDI interval, between 500 and 2000lx.

***Keywords**: Natural light. Light reflectors. Energy efficiency*

[1] [1] FASSINA, Sirana Palassi.; LARANJA, Andréa Coelho. Elementos de fachada e o desempenho da iluminação natural em salas de aula: o caso do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Colatina. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A iluminação é um fator de grande importância para a concepção dos espaços e seu uso interfere diretamente na atividade que está sendo desenvolvida, devendo ser estudada antes de ser empregada (ARAÚJO; GONÇALVEZ; CABÚS; 2007).

Por esse motivo, quando se relaciona luz natural e edificações escolares, níveis adequados de iluminação estão diretamente relacionados com o desempenho dos estudantes. Dias et al (2009) cita que a quantidade de luz disponível em salas de aula contribui para o melhor rendimento de professores e alunos. Dorigo (2007) acrescenta que o nível de qualidade do aprendizado é função direta do grau de conforto que o ambiente apresenta, onde os aspectos da iluminação natural se fazem relevantes.

Dentre as possibilidades de intervenção em um projeto arquitetônico que contribuem para melhorias na iluminação natural do ambiente, pode-se citar dois aspectos: o primeiro diz respeito aos tratamentos de fachada, ao se utilizar *brises*, balcões refletores, prateleiras de luz entre outros. O segundo, às características das superfícies refletoras externas. No que diz respeito ao primeiro aspecto, Meresi (2016, p. 203, tradução nossa) afirma em sua pesquisa que "a combinação da prateleira de luz com persianas externas móveis semitransparentes podem aumentar a luz diurna nas salas de aula, além de proporcionar sombra e distribuição uniforme, aumentando os níveis de iluminação na parte de trás do espaço e reduzindo a quantidade de luz próximo às janelas". Os resultados obtidos por Santos et al (2010) mostram também que o uso de dispositivos projetados para maximizar a disponibilidade da luz natural em ambientes escolares favoreceu em mais de 90% o conforto visual nas salas de aula simuladas em suas pesquisas. Entretanto, pesquisas mostraram também a necessidade do uso correto destes elementos, como demonstrado por Deliberador e Kowaltowski (2011). Os autores identificaram aspectos negativos no uso de *brises* em sala de aula, relacionados ao ofuscamento pela radiação direta.

Com relação ao segundo aspecto, a refletância externa também pode colaborar com o aumento dos níveis de iluminação no ambiente interno. Laranja et al (2016), a partir de alterações nas superfícies refletoras, observaram mudanças nas regiões mais próximas às aberturas das janelas, com maior alteração da curva isolux ao longo da profundidade do ambiente. Também, Cabús (2004) analisou a influência da luz natural refletida no solo no desempenho da iluminação natural em regiões tropicais e mostrou que existe uma região de pico onde o solo pode ser mais importante para a iluminação natural do ambiente interno.

Desta forma, considerando os benefícios ao se utilizar a iluminação natural para o ambiente interno, esta pesquisa tem como objetivo demonstrar a influência de balcões refletores externos de fachada, neste caso, balcões refletores, na disponibilidade de iluminação natural em salas de aula padrão do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) campus Colatina.

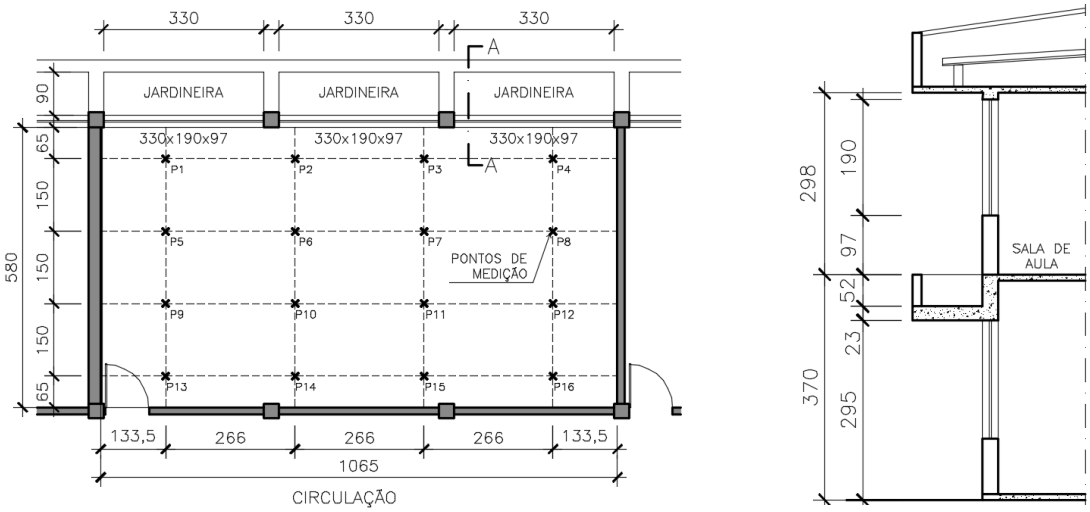
2 MÉTODO DE TRABALHO

2.1 Descrição do modelo

O ambiente consiste em uma sala de aula padrão do IFES campus Colatina, com 10,65m de largura e 5,60m de profundidade, localizada no 2º pavimento. Apresenta três aberturas de 6,27m² cada, com dimensões de 3,30 m de largura e 1,90 m de altura, peitoril com 97cm, sendo o pé direto de 2,98 m.

Em toda a face externa do bloco de salas de aula, existem jardineiras contínuas de 3,30 m de largura e 0,90 m de profundidade (medidas internas), e 0,52 m de altura (Figura 1).

Figura 1: Planta Baixa e Corte da sala de aula utilizada como modelo desta pesquisa . Detalhe da locação dos pontos de medição da iluminação



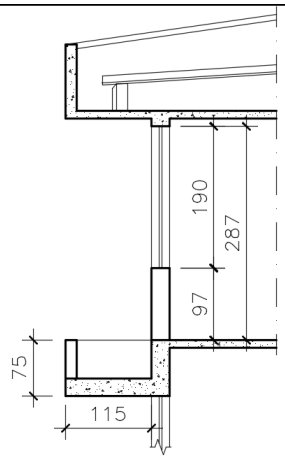
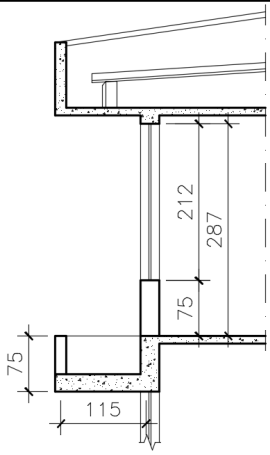
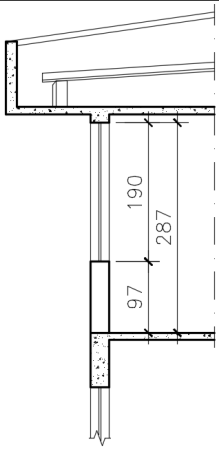
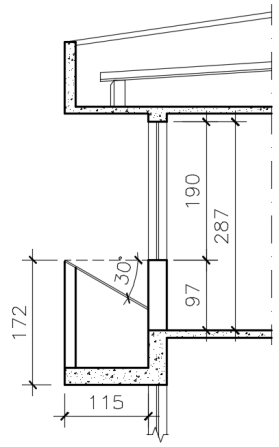
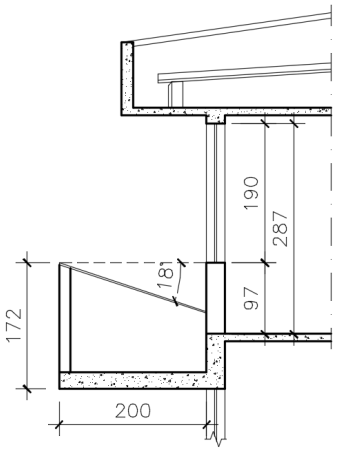
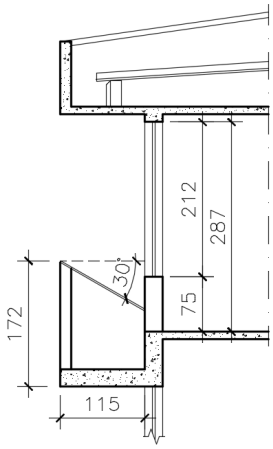
Fonte: arquivo de AutoCAD com modificações feitas pelas autoras

A sala foi escolhida como objeto de estudo por ser um espaço escolar, que possui atividade 10 meses do ano, e por contar com jardineiras paralelas às janelas, que não são utilizadas para este fim. Desta forma, para efeito deste estudo, as jardineiras foram reformuladas e moduladas na sua geometria e refletância, para se tornarem balcões refletores, de modo a verificar a influência destes para a iluminação natural do ambiente interno.

2.2 Primeira etapa: variáveis utilizadas na simulação

Nesta etapa, as variáveis consideradas para os balcões foram a altura, inclinação da superfície superior e altura do peitoril. Foram então modulados 06 modelos de balcões (Quadro 1).

Quadro 1: Demonstração dos primeiros modelos simulados

MODELO 01	**MODELO 02**	**MODELO 03**
Balcão refletor na situação real, peitoril de 97cm	Balcão refletor na situação real e peitoril de 75cm (altura do plano de simulação)	Sem o balcão refletor, peitoril de 97cm
		
MODELO 04	**MODELO 05**	**MODELO 06**
Balcão refletor inclinado a 30° em direção à sala, peitoril de 97cm	Balcão refletor inclinado a 18° em direção à sala e com profundidade de 200cm, peitoril de 97cm	Balcão refletor inclinado a 30° em direção à sala e peitoril de 75cm (altura do plano de simulação)
		

Fonte: arquivo de AutoCAD com modificações feitas pelas autoras

Com relação à utilização das inclinações nos balcões, estas foram determinadas em função dos estudos de Lam (1986) e Cabús (2004), que discorrem sobre a capacidade do piso (solo) em refletir luz para dentro do ambiente. Lam (1986) afirma que a fonte de reflexão da luz natural para o ambiente interno pode ser o solo, um edifício próximo ou partes da própria fachada do edifício, independentemente da localização da janela. Ainda, o autor afirma que a luz refletida no solo, tanto no lado ensolarado como a luz refletida de um edifício ao lado para uma área sombreada, são as refletâncias mais fáceis de serem utilizadas. Cabús (2004) completa afirmando que o uso de protetores solares nas janelas é uma técnica largamente utilizada nos trópicos, mas que reduz a admissão de luz natural

oriunda da abóbada celeste, e que, por esse motivo, a luz natural refletida nas superfícies externas para dentro do ambiente, de forma difusa, pode se tornar uma importante fonte de iluminação.

2.2.1 O programa de simulação

A análise do desempenho luminoso da sala de aula em estudo foi realizada através do programa Troplux 7 (CABÚS, 2005), que simula o desempenho da iluminação natural de um determinado ambiente, sendo possível variar os parâmetros de acordo com as necessidades específicas do local ou da região (DIAS; GOMES; CABÚS, 2009).

O Troplux se baseia nos conceitos do método de Monte Carlo, que é uma abordagem estatística para solucionar integrais múltiplas e é baseado na premissa de que "se a probabilidade de ocorrência de cada evento separado é conhecida, então é possível determinar a probabilidade com que a sequência completa de eventos irá ocorrer" (CABÚS, 2005, p. 241) e no método do Raio Traçado, cujo conceito segue o caminho de um raio entre superfícies e sua principal vantagem é dar soluções teóricas simples pra geometrias complexas (CABÚS, 2005). Com isso, o programa permite geometria complexa, distribuições de iluminância de céu configuráveis pelo usuário, subdivisões de solo, cálculo de iluminância separado para contribuição solar e de céu em até 12 componentes (CABÚS, 2004).

2.2.2 Parâmetros de avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente

Como forma de avaliar a disponibilidade da luz natural nos ambientes internos, foram adotadas as UDI's (*Useful Daylight Illuminance*) proposta por Nabil e Mardaljevic (2006), onde valores abaixo de 100 lx caracterizam-se como insuficientes, valores entre 100 e 500 lx caracterizam-se com suficientes, mas com necessidade de iluminação complementar, valores entre 500 e 2000 lx caracterizam-se como suficientes e valores acima dos 2000 lx são caracterizados como excessivos.

2.2.3 Dias e horários das simulações

Nesta etapa, as simulações foram feitas para todos os dias do ano, 11 horas do dia, de hora em hora, entre 7h e 17h. A coordenadas utilizadas foram da cidade de Vitória – ES, latitude: 20º 19' 10" e longitude: 40º 20' 16" W 9 (à 120 km da cidade de Colatina).

2.2.4 Orientação das aberturas

No que diz respeito às orientações simuladas, foram testadas quatro: Norte, Sul, Leste e Oeste. Norte, Oeste e Leste podem ser consideradas orientações desfavoráveis quanto ao acesso da iluminação natural, visto que há grandes incidências solares. Para Norte há alturas solares maiores e incidência solar inclinada em relação à fachada principalmente nas épocas mais quentes

do ano. Para o Leste há radiação solar direta todos os dias do ano no período da manhã, e para Oeste, há radiação solar direta no período da tarde. Nos dois casos, também há baixos ângulos de incidência com relação à janela em períodos específicos, de manhã e de tarde. Para Sul há alturas solares maiores e incidência solar inclinada em relação à fachada nos períodos mais quentes do ano e ausência de incidência solar nas épocas mais amenas.

2.2.5 Refletâncias

Procurou-se atribuir valores que representem uma realidade próxima das suas características de reflexão. Esses coeficientes foram definidos baseados nos estudos prévios de iluminação natural (CABÚS, 2004; HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; PEREIRA; SOUZA, 2000). Para a sala de aula, adotaram-se índices de 0,2 para o piso, 0,6 para as paredes internas, 0,5 para as paredes externas e 0,8 para o teto e balcões refletores.

2.2.6 Definição dos tipos de céu

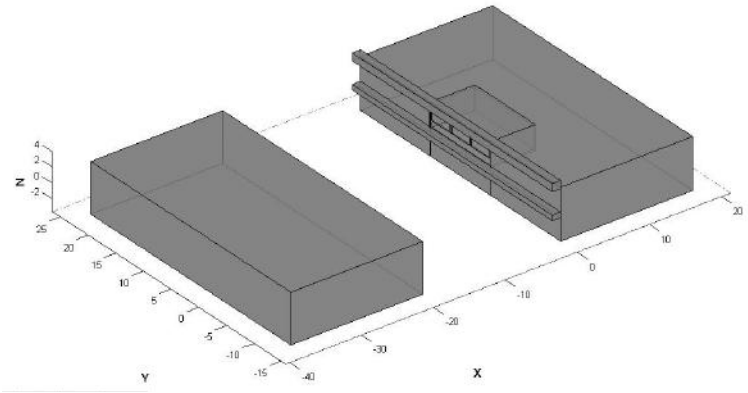
Para a definição dos tipos de céu, foi utilizado o padrão da CIE (1999), que adotou um conjunto de 15 modelos de céu. Esses modelos são divididos em três grupos de cinco onde cada um corresponde à três condições básicas de luminosidade (ARAÚJO; 2006).

Para esta pesquisa, foram utilizados os Céus 3 (Encoberto), Céu 7 (Parcialmente Nublado) e Céu 12 (Claro), baseado nos estudos de Laranja et al (2009), céu estes que apresentaram valores mínimos, intermediários e máximos da média anual dos valores de iluminância interna.

2.3 Segunda etapa: variáveis utilizadas na simulação

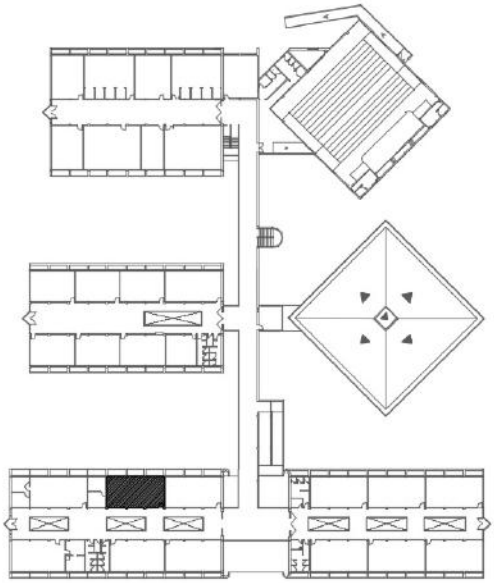
Em função dos resultados obtidos na etapa anterior, foram revistos alguns parâmetros utilizados, como dimensões dos balcões, dimensões da janela e índices de refletância, além da inserção da edificação externa existente, que se localiza ao norte da sala de aula, 19,00 metros distante desta, conforme mostram as Figuras 02 e 03.

Figura 2: Perspectiva com a localização da edificação obstruidora



Fonte: Imagem gerada a partir do software Troplux 7

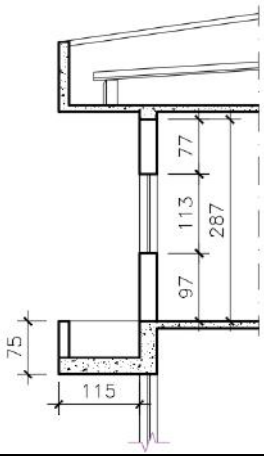
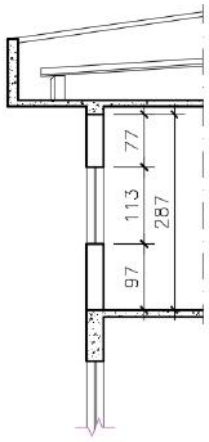
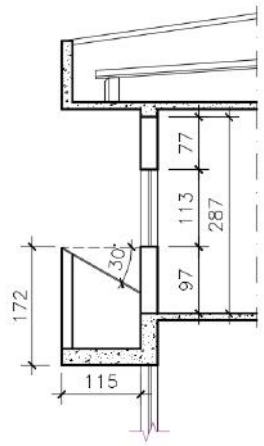
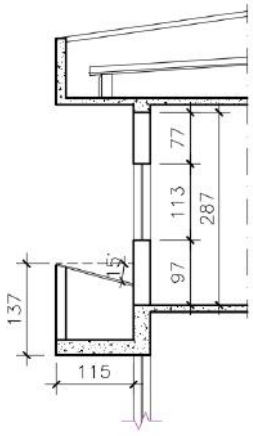
Figura 3: Planta de implantação do Ifes campus Colatina, com a localização da sala utilizada nesta pesquisa



Fonte: arquivo de AutoCAD com modificações feitas pelas autoras

Com relação aos modelos, incluiu-se a inclinação de 15° nos balcões, além dos ângulos de 0° e 30° já utilizados na etapa anterior, de forma a investigar como essa variação influenciaria na distribuição da luz natural dentro do ambiente. Ainda, para esta etapa, redefiniu-se o tamanho da janela, a qual foi reduzida com o intuito de diminuir o ganho solar direto (Quadro 2).

Quadro 2: Modelos de balcão utilizados na segunda etapa da pesquisa

MODELO 01	**MODELO 02**
Balcão refletor na situação real, peitoril de 97cm	Sem o balcão refletor, peitoril de 97cm
	
MODELO 03	**MODELO 04**
Balcão refletor inclinado 30° em direção à sala, peitoril 97cm	Balcão refletor inclinado 15° em direção à sala, peitoril de 97cm
	

Fonte: arquivo de AutoCAD com modificações feitas pelas autoras

2.3.1 Dias e horários das simulações

As simulações foram realizadas com os mesmos parâmetros da 1ª, porém, por se tratar de um ambiente escolar, para os dados referentes à média da iluminação, foram utilizados somente os meses de fevereiro a novembro, período semelhante a um período letivo. Ainda, optou-se em verificar somente 02 orientações – Norte e Sul - e também foram fixados dois dias específicos do ano: dia 24/09, equivalente a um dia próximo ao equinócio de outono, e dia 24/11 que corresponde à uma data próxima do equinócio de verão, porém dentro do calendário letivo, ambos no horário de 10h. Analisaram-se também 02 tipos de céus - 7 e 12 – por apresentarem valores mais significativos para estudo.

Optou-se também em demonstrar o alcance da iluminância com relação à profundidade da sala de aula. Para isso, utilizaram-se como referência

pontos da malha perpendiculares à janela central (P2, P6, P10 e P14)(Figura 1).

2.3.2 Refletâncias

Além do índice 0,8 utilizado na 1ª etapa, adotaram-se as refletâncias 0,6 e 0,2 para os balcões, também baseado nos estudos de Cabús (2004), Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) e Pereira e Souza (2000). O objetivo do acréscimo dos diferentes valores nesta etapa foi verificar a contribuição das diferentes refletâncias para o ambiente interno.

A orientação das aberturas se mantiveram constantes à primeira etapa, assim como o número de pontos para simulação. O Quadro 3 mostra um resumo das variáveis utilizadas nas duas etapas de simulação:

Quadro 3: Resumo das variáveis utilizadas em cada etapa da pesquisa

VARIÁVEIS	1ª ETAPA	2ª ETAPA
MODELOS	06	04
DIMENSÕES ABERTURAS	3,30 x 1,90 m	3,30 x 1,13 m
PROGRAMA DE SIMULAÇÃO	TROPLUX 7	
AMBIENTE EXTERNO	SEM EDIFICAÇÃO OBSTRUIDORA	COM EDIFICAÇÃO OBSTRUIDORA
PARÂMETROS ANÁLISE ILUMINAÇÃO NATURAL	*Useful Daylight Iluminance* – UDI	
DIAS E HORÁRIOS DAS SIMULAÇÕES	365 DIAS / HORA EM HORA / 7h ÀS 17h MÉDIA DE TODOS OS DIAS DO ANO	MÉDIAS DE FEVEREIRO A NOVEMBRO / 7h ÀS 17h E DIAS ESPECÍFICOS: 24/09 E 24/11 ÀS 10H.
ORIENTAÇÃO DAS ABERTURAS	NORTE/SUL/LESTE/OESTE	NORTE/SUL
ÍNDICES DE REFLETÂNCIA	0,2 PISO 0,6 PAREDES INTERNAS 0,5 PAREDES EXTERNAS 0,8 TETO 0,8 BALCÕES	0,2 PISO 0,6 PAREDES INTERNAS 0,5 PAREDES EXTERNAS E EDIFICAÇÃO OBSTRUIDORA 0,8 TETO 0,8 / 0,6 / 0,2 BALCÕES
TIPOS DE CÉU	CÉU 3 (ENCOBERTO), CÉU 7 (PARCIALMENTE ENCOBERTO) E CÉU 12 (CLARO)	CÉU 7 (PARCIALMENTE ENCOBERTO) E CÉU 12 (CLARO)
PONTOS DE MEDIÇÃO	16 PONTOS	

3 AS EXPERIÊNCIAS E RESULTADOS

3.1 Primeira etapa: resultados obtidos

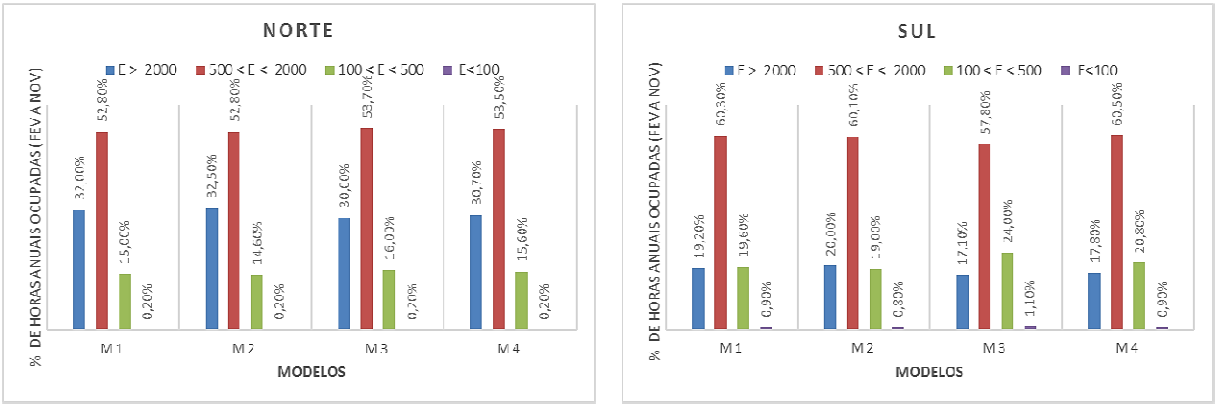
As análises realizadas nesta etapa mostraram que em todos os modelos, os valores de iluminância dentro do ambiente excederam o índice de 2000 lx, considerado excessivo. Algumas simulações apresentaram valores entre 9.000 e 18.000 lx e a faixa alvo – entre 500 e 2000 lx – ficou abaixo dos 30% em

quase todos os modelos, independente da orientação. Notou-se também que a dimensão do vão utilizado nesta etapa contribuiu para a entrada excessiva de luz solar, gerando os valores apresentados anteriormente. Desta forma, em função dos resultados obtidos, optou-se pela reformulação dos modelos e pela redefinição de algumas variáveis.

3.2 Segunda etapa: resultados obtidos

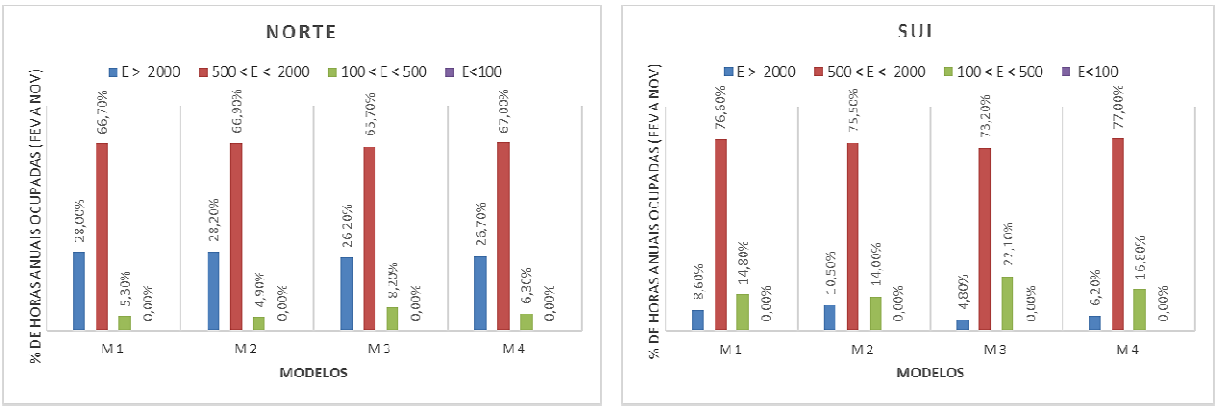
Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados para os Céus 7 (Parcialmente Nublado) e Céu 12 (Claro), de fevereiro a novembro, orientações Norte e Sul. Nota-se que o Céu 12 (Claro), para todos os modelos testados, apresentou os maiores percentuais de horas das UDI's do intervalo de 500 a 2000 lx, com percentuais próximo aos 70% para Norte e 80% para Sul. Com relação ao desempenho de cada dispositivo, notam-se diferenças percentuais insignificantes entre os resultados dos modelos testados.

Gráfico 1: Ocorrência de iluminância para o Céu 7, de fevereiro a novembro (média de 16 pontos)



Fonte: Autoras

Gráfico 2: Ocorrência de iluminância para o Céu 12, de fevereiro a novembro (média de 16 pontos)

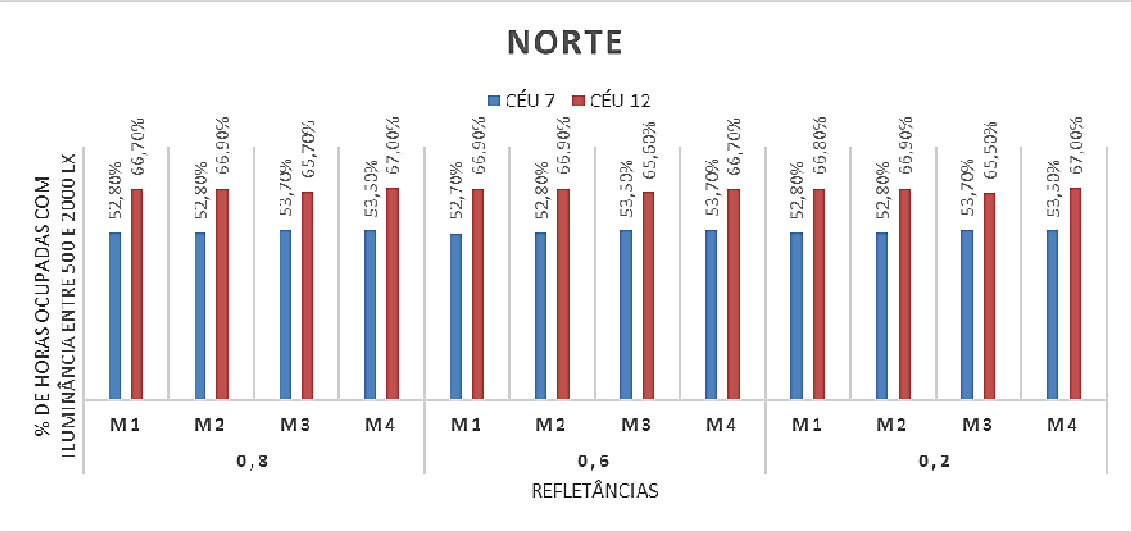


Fonte: Autoras

Com relação às refletâncias adotadas, é possível observar através do Gráfico 3 que a utilização de diferentes índices de refletância não

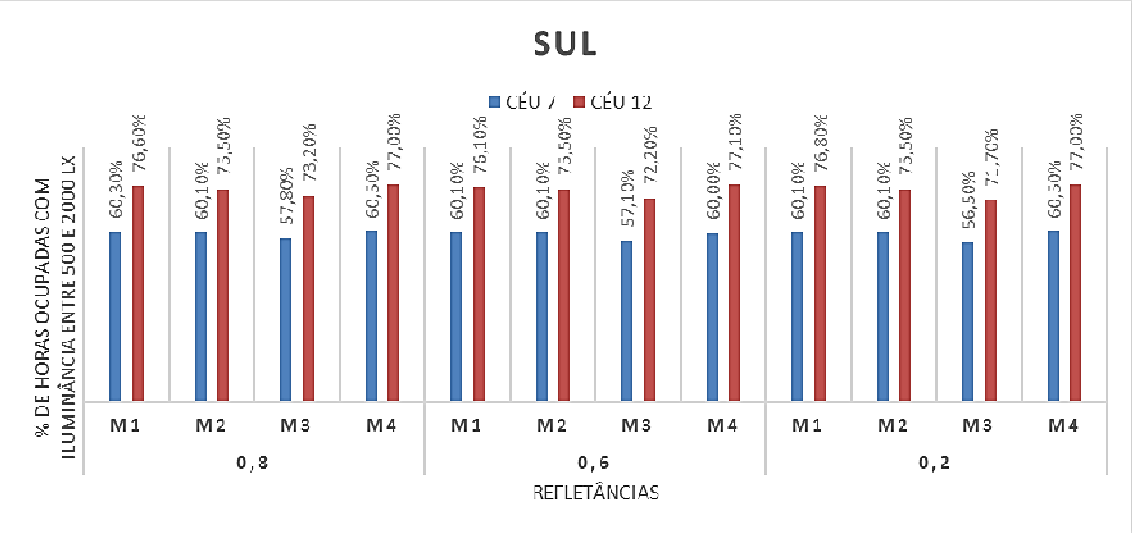
apresentou diferenças significativas entre os modelos, independente da orientação ou tipo de céu.

Gráfico 3: Desempenho das refletâncias para os Céus 7 e 12, de fevereiro a novembro, Norte (média de 16 pontos)



Fonte: Autoras

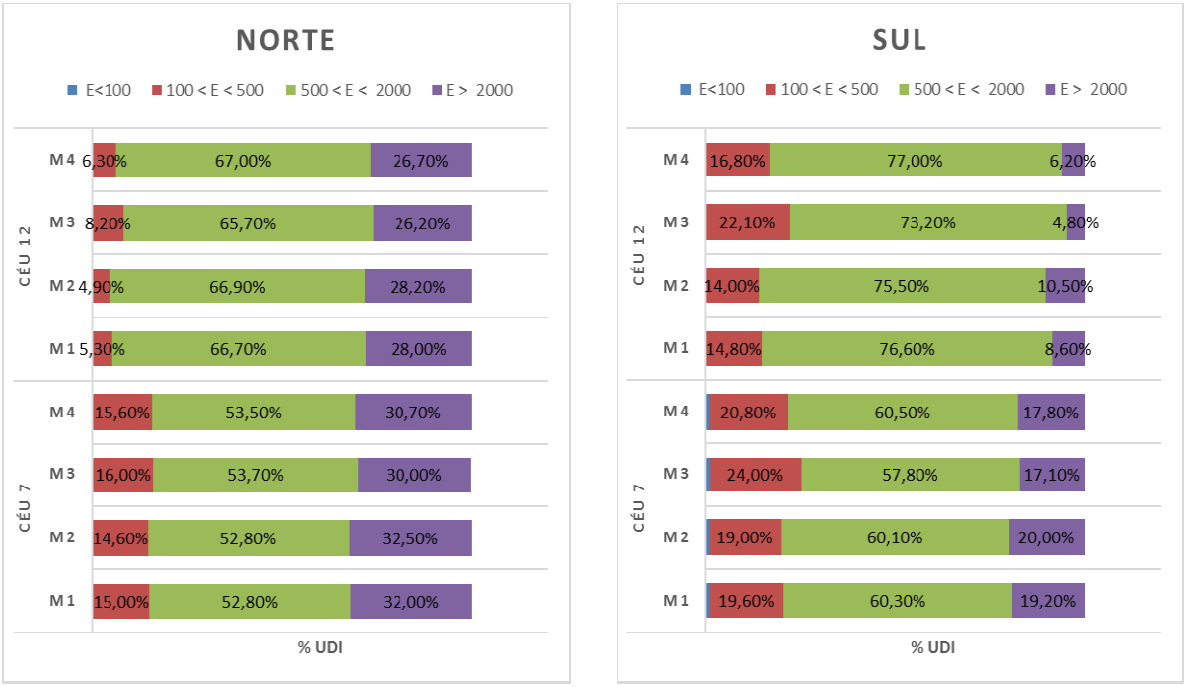
Gráfico 4: Desempenho das refletâncias para os Céus 7 e 12, de fevereiro a novembro, Sul (média de 16 pontos)



Fonte: Autoras

Ao se verificar o desempenho das UDI's, há um maior equilíbrio da iluminação natural aproveitável no Modelo 3, apresentando o menor percentual de luz excessiva dentre todas as variáveis. Desta forma para localidades de Céu 7 (Parcialmente Nublado) e Céu 12 (Claro), com orientação Norte e Sul, o Modelo 3 colabora para a redução da iluminação excessiva.

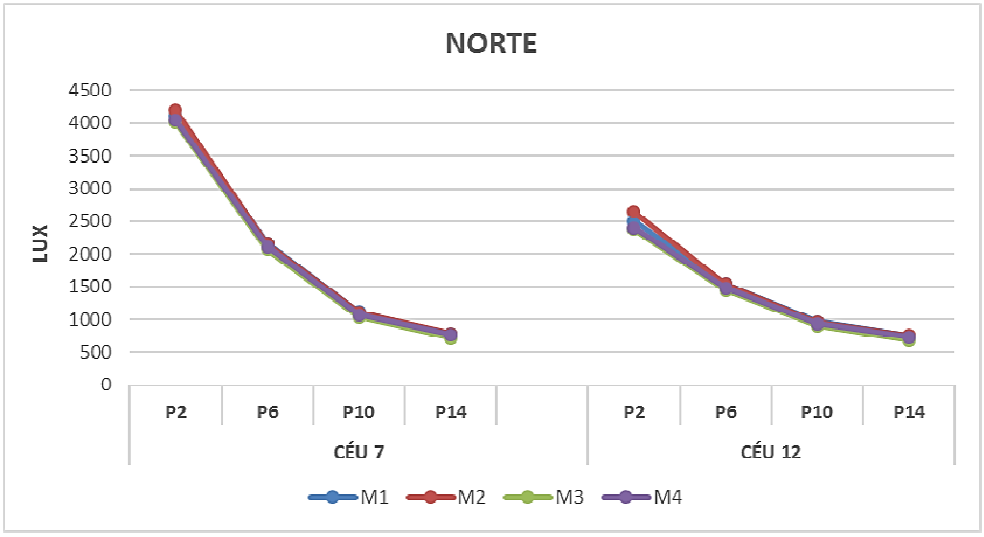
Gráfico 5: UDIs de fevereiro a novembro (média de 16 pontos)



Fonte: Autoras

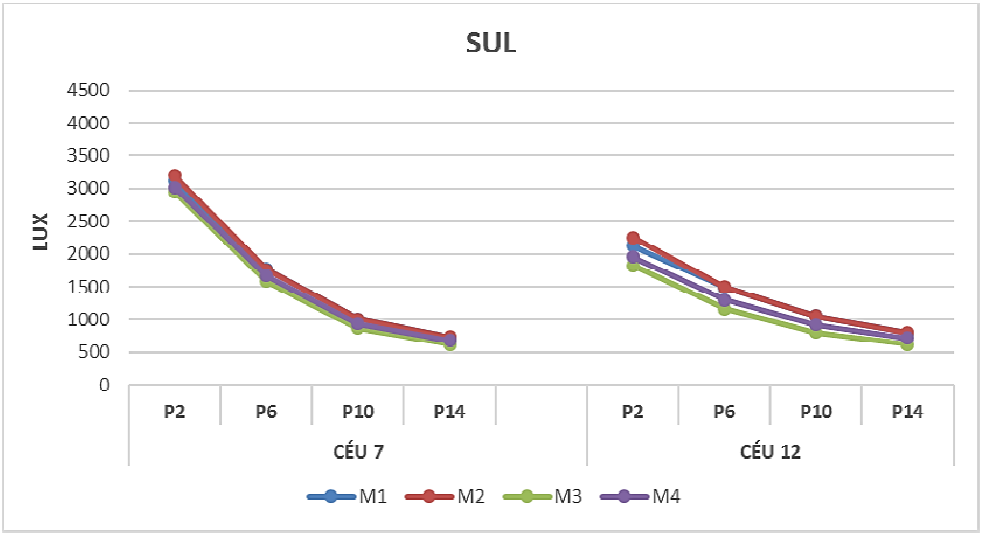
Com relação à distribuição da luz no ambiente interno, os Gráficos 6 e 7, referentes ao dia 24/09, mostram que os balcões não proporcionaram maior uniformidade na distribuição da luz natural. Nota-se, porém, que para o Céu 12 (Claro), Modelo 3, a curva de decaimento da iluminância, à medida que os pontos se afastam da abertura, possui menos declividade comparado à outros modelos.

Gráfico 6: Decaimento da curva de iluminância para o dia 24/09, às 10h, Norte



Fonte: Autoras

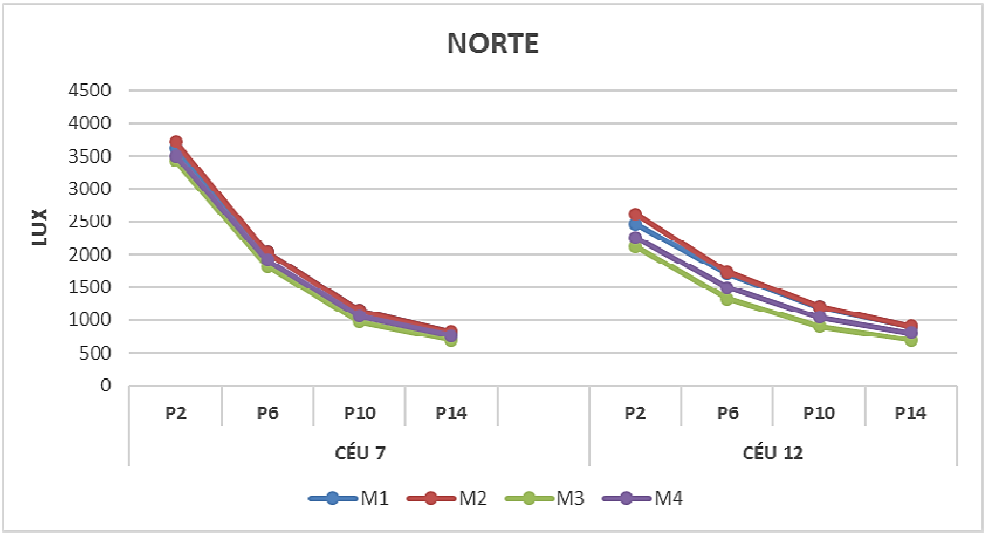
Gráfico 7: Decaimento da curva de iluminância para o dia 24/09, às 10h, Sul



Fonte: Autoras

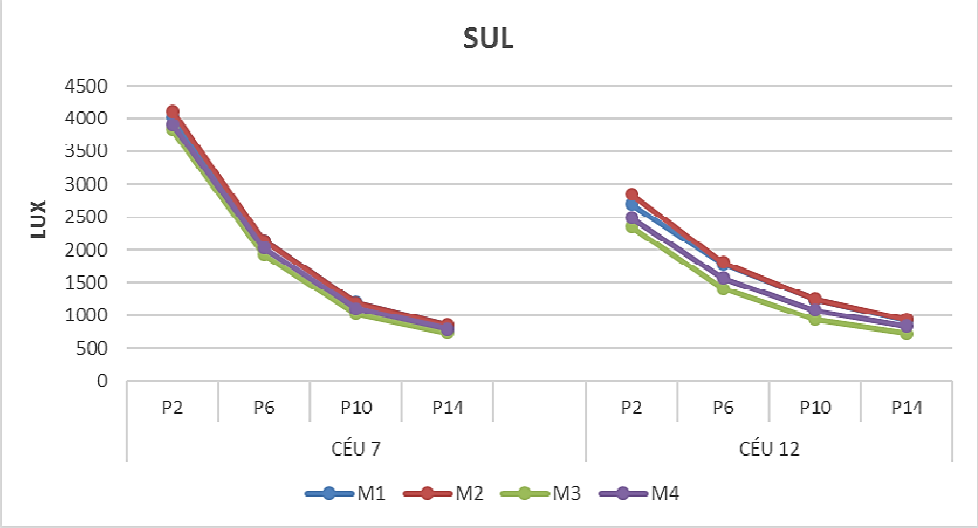
Já nos Gráficos 08 e 09, referentes ao dia 24/11, para o Céu 12 (Claro) e Céu 7 (Parcialmente nublado), nota-se que para o Modelo 3, a curva de decaimento da iluminância, à medida que os pontos se afastam da abertura, possui menos declividade comparado com os outros modelos.

Gráfico 8: Decaimento da curva de iluminância o dia 24/11, às 10h, Norte



Fonte: Autoras

Gráfico 9: Decaimento da curva de iluminância o dia 24/11, às 10h, Sul



Fonte: Autoras

4 CONCLUSÃO

O trabalho permite concluir que a aplicação de diferentes índices de refletância aplicados aos balcões refletores não alterou significativamente o percentual útil das UDI entre 500 e 2000 lx.

Verificou-se a potencialidade do Modelo 3 (balcão refletor inclinado 30º em direção à sala) para Céu 12 (Claro) e orientação Sul, em reduzir o contraste da iluminação entre os pontos mais profundos do ambiente e os pontos mais próximos da abertura. Mesmo havendo pequenas variações entre os resultados obtidos, a inexistência do dispositivo externo agrava a situação no ambiente interno, o qual apresenta elevado nível de iluminação próximo à janela e elevado caimento desta iluminação a medida que os pontos se afastam da abertura.

Estes altos índices de iluminância próximo às janelas apontam para a necessidade do uso de dispositivos que bloqueiem a luz direta para dentro do ambiente, para que seja possível analisar a real eficiência do balcão, sua capacidade de reflexão e distribuição da luz natural.

Houve também variação entre os tipos de céus, onde o Céu 3 apresentou uma contribuição uniforme entre os modelos e o Céu 7 apresentou os maiores níveis de iluminância entre todos.

Com esses resultados, reforça-se a importância de se pensar na qualidade dos elementos externos inseridos na fachada, de forma a obter real aproveitamento do dispositivo e uma correta distribuição da luz natural no ambiente. Além disso, os resultados obtidos nesta pesquisa irão contribuir para a continuação dos estudos, buscando atingir o máximo de aproveitamento deste recurso, além de possibilitar o direcionamento das decisões, de forma a se obter ambientes cada vez mais confortáveis no aspecto lumínico e eficientes energeticamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. A. L. **Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios no trópico úmido.** Maceió, 2006. 117p. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas.

ARAÚJO, M. R.; GONÇALVES, V.; CABÚS, R. Análise da Iluminação Natural a partir de Elementos Vazados. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC ELACAC, 2007.

CABÚS, R. Influência da luz refletida no solo na iluminação natural nos trópicos: comparando o desempenho de protetores solares. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: cla'CS ENTAC, 2004.

CABÚS, R. **Troplux – Manual do usuário**. Maceió: GRILU, 2005.

CIE – Commission Internationale de l'Eclairage. **Spatial distribution of daylight – CIE standart general sky**. CIE. Wien. 1999.

DELIBERADOR, M. S.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Os elementos de conforto no processo de projeto escolar no estado de São Paulo. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Búzios, 2011. **Anais...** Búzios: ENTAC ELACAC, 2011.

DIAS, A. F. A.; GOMES V. A.; CABÚS, R. C.; Componente de Controle de luz natural em salas de aula e seu desempenho conforme a orientação solar do edifício. In: X ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, 2009. **Anais...** ENCAC - ENLACAC 2009.

DORIGO, A. L. **Condições de luz natural em ambientes escolares – Estudo do Projeto Padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná**. Curitiba, 2007. 114p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia – Universidade Federal Tecnológica do Paraná.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Imperial Ltda. Lisboa, 1975.

LAM, William M. C. **Sunlighting as formgiver for architecture**. Van nostrand Reinold company: Nova York, 1986.

LARANJA, A. C.; FERREIRA, N. S.; ALVAREZ, C. E., Análise da influência da variação das superfícies refletoras na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno e na extensão de sua profundidade. **Labor & Engenho**, [s.i.], v. 3, n. 8, p.31-45, jan. 2016.

LARANJA, A. C.; GAZZANEO, L. M. C.; CABÚS, R. C. Interferências da refletância das obstruções na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno. **Seminário Internacional**: Ordem, Desordem e Ordenamento: Arquitetura, Espacialidade, Paisagem 1807 – 2009, Rio de Janeiro, 2009.

MERESI, A.; Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. **Energy and Buildings**, [S.L.], v. 116, p.190-205, 2016.

NABIL, A. e MARDALJAVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors**. Energy and Buldings,** London: Elsevier, v. 38, p. 905-913, 2006.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B.; **Apostila da disciplina: Conforto Ambiental – Iluminação**. UFSC – CT, pág 19 – Florianópolis, 2000.

SANTOS, L. S.; SOUZA, A. D. S.; ALVAREZ, C. E.; AMORM, C. N. D. O Potencial de Uso da Luz Natural em Edifícios Escolares para a situação de Vitória-ES. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2010, Canela. **Anais...**, Canela: ENTAC, 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONTRIBUIÇÃO DO EFEITO DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO PARA UM SISTEMA DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO[1]

FERNANDES, Leandro (1); KRÜGER, Eduardo (2); LANGE, Sérgio (3)

(1) UTFPR, e-mail: cintiatamura@gmail.com; (2) UTFPR, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br; (3) UTFPR, e-mail: sc_lange@hotmail.com

RESUMO

O Resfriamento Evaporativo Indireto (REI) é uma alternativa para condições tropicais e subtropicais por propiciar resfriamento sem aumentar a umidade interna. Duas questões fomentaram este estudo: 1) na maior parte dos trabalhos realizados, a comparação do desempenho de diferentes configurações de REI é feita considerando-se monitoramentos não-simultâneos; 2) nos casos com reservatório na cobertura, não se discrimina o efeito da inércia térmica (acrescentado pela massa d'água) do efeito do resfriamento evaporativo. Este trabalho visa mensurar o efeito do resfriamento evaporativo, em termos de decréscimo de temperaturas internas, distinguindo-o do efeito de inércia térmica propiciado pela massa d'água. Foram monitoradas simultaneamente duas células-teste diferentes apenas quanto à cobertura: uma célula com cobertura-reservatório vedada e sombreada, sem possibilitar evaporação; e outra célula similar, mas possibilitando evaporação. O estudo foi realizado em Curitiba/PR durante dois períodos. As temperaturas internas da célula com evaporação ficaram sempre inferiores às da outra célula. A diferença média foi de 1,25 °C e a máxima absoluta 4,1 °C. As amplitudes térmicas das duas células mantiveram-se próximas, mostrando que o resfriamento evaporativo pouco influiu nesta variável. O efeito do resfriamento contribuiu especialmente na redução do número de horas desconfortáveis devido ao calor.

Palavras-chave: Resfriamento passivo. Resfriamento evaporativo indireto. Massa térmica.

ABSTRACT

Indirect Evaporative Cooling Systems (IECS) consist of an alternative for tropical and subtropical conditions by providing cooling without increasing indoor humidity. Two issues justified this study: 1) most of the work on this subject, comparing the performance of different IECS, is made considering non-simultaneous monitoring; 2) in the case of roof ponds, the effect of thermal mass (by increasing volume of water) is not discriminated from its evaporative cooling function. This study aims to measure the effect of evaporative cooling distinguishing it from the thermal mass effect brought about by the water body. We monitored two test-cells, differing each other only in the roof: a cell with shaded and ventilated roof pond allowing evaporation; and a similar cell, but without evaporation of the water. The study was carried out in Curitiba/PR in two periods. Indoor temperatures of the cell with the evaporative function were always lower than the cell without it. The mean difference was 1.25 °C and the absolute maximum difference was 4.1 °C. The indoor temperature fluctuation of the two cells remained similar, suggesting that the evaporative cooling function had little influence on this variable. The evaporative cooling effect contributed particularly by reducing the amount of hours in heat stress.

[1] FERNANDES, Leandro; KRÜGER, Eduardo; LANGE, Sérgio. Contribuição do efeito de resfriamento evaporativo para um sistema de condicionamento térmico passivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Passive cooling. Indirect evaporative cooling. Thermal mass.*

1 INTRODUÇÃO

O esforço para desenvolvimento de alternativas tecnológicas de baixo consumo energético para condicionamento térmico de edificações tem como uma das linhas de investigação as alternativas passivas. Uma das estratégias passivas para esse fim é o Resfriamento Evaporativo (RE). Os sistemas evaporativos podem ser classificados como: sistemas de Resfriamento Evaporativo Direto (RED) e sistemas de Resfriamento Evaporativo Indireto (REI).

O Resfriamento Evaporativo Direto (RED) baseia-se em dispositivos para aspersão de água sob a forma de gotículas no interior dos ambientes. "O ar cede calor sensível e as gotículas de água passam do estado líquido para o gasoso no ambiente interno e, como consequência, há decréscimo da temperatura e acréscimo da umidade relativa do ar" (VECCHIA; MASIERO, 2006, p.544). Esta alternativa tecnológica vem se popularizando rapidamente e avançam estudos sobre seu potencial (BATISTA e LAMBERTS, 2007; SILVA, 2004).

O Resfriamento Evaporativo Indireto (REI), caracterizado pela umidificação de elementos construtivos também é objeto de investigação com comprovado potencial de resfriamento (CAVALCANTI; PRADO, 2001; LABAKI; TEIXEIRA; TAVARES, 2005; NASCIMENTO, 2005; RORIZ; RORIZ, 2008). Dentre as diferenças em relação ao RED, está o fato do sistema REI produzir resfriamento sem aumentar a razão de umidade do interior da edificação (SHARIFI; YAMAGATA, 2015), com vantagens para condições climáticas quente-úmidas.

Buscando explorar as vantagens do REI convencional e verificar outros arranjos possíveis, González realizou uma bateria de testes com tal sistema (GONZÁLEZ-GARCIA, 2010a), o qual denomina "*Sistema Pasivo de Enfriamiento Evaporativo Indirecto*" (SPEEI). O conceito desse sistema baseia-se na adoção de uma cobertura do tipo teto-reservatório. Essa configuração permite aliar o aumento da inércia térmica da edificação a partir da inclusão de um reservatório com água (de calor específico em geral mais alto que os materiais de construção convencionais) com função de resfriamento evaporativo, podendo-se inclusive utilizar do resfriamento radiante noturno. A proposta resulta de uma série de experimentos passados com sistema teto-reservatório (GIVONI, 1984; SÁNCHES, 1993). O SPEEI testado por González-Garcia apresentou bons resultados até mesmo para o clima quente-úmido de Maracaibo, Venezuela (GONZÁLEZ-GARCIA, 2010a).

Estudo sobre desempenho térmico estimado de uma moradia experimental com sistema REI, construída e monitorada em Maracaibo, mostrou que o sistema adapta-se à maior parte do território brasileiro, possibilitando reduzir o consumo de energia em climatização e melhorar as condições de conforto (GONZÁLEZ; KRÜGER; GIORDANO, 2014). Tal estudo foi realizado por meio de equações preditivas de temperaturas internas mínimas, médias e

máximas, investigando-se a aplicação desta forma particular de REI para diferentes condições climáticas brasileiras (Teresina, Petrolina, Fortaleza e Natal), constatando-se significativa capacidade de redução das temperaturas internas (GONZÁLEZ; KRÜGER, 2013). Experimentos utilizando SPEEI, aqui denominados SPR (Sistemas Passivos de Resfriamento) também mostraram bons resultados para a diminuição da temperatura máxima e da amplitude térmica de células-teste na cidade de Florianópolis, de clima temperado subtropical e verão quente (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (GONZALEZ et al., 2014).

Analisando pesquisas realizadas com sistemas REI, verifica-se que os autores costumam ressaltar as vantagens de se aliar os efeitos da inércia térmica propiciada pelo reservatório com os do resfriamento evaporativo. No entanto, há pouca informação sobre a contribuição particular de cada uma dessas estratégias para o desempenho do sistema como um todo. Não se discrimina o efeito isolado da inércia térmica (acrescentada pela massa de água) do resfriamento evaporativo, na efetividade do sistema. Por outro lado, na maior parte dos trabalhos publicados, a comparação do desempenho de diferentes configurações de REI é feita considerando-se monitoramentos consecutivos, não simultâneos, muitas vezes sob diferentes condições climáticas. Este trabalho tem como objetivo mensurar o efeito do resfriamento evaporativo em termos de decréscimo de temperaturas internas, distinguindo-o do efeito de inércia térmica propiciado pela massa d'água do reservatório.

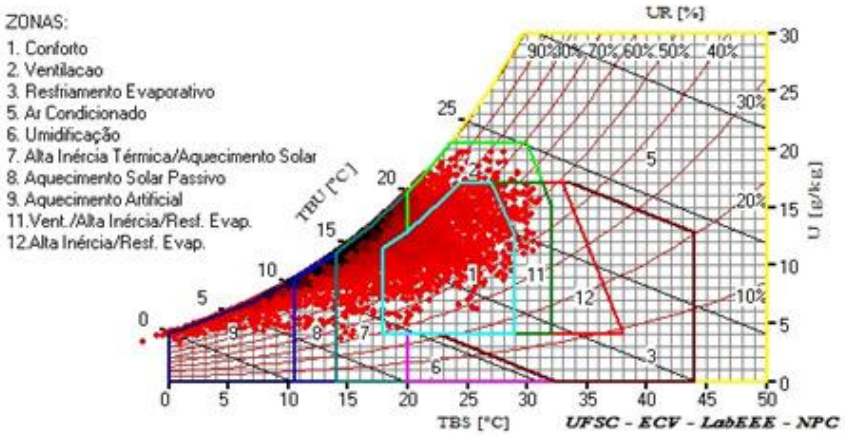
2 METODOLOGIA

Os procedimentos utilizados nos experimentos baseiam-se em métodos anteriormente adotados na temática quanto ao uso de células-teste em experimentos de campo com resfriamento evaporativo indireto (GONZÁLEZ-GARCIA, 2010b; GONZALEZ et al., 2014).

2.1 Clima de Curitiba

Curitiba está localizada na Região Sul do Brasil. Possui latitude 25° 31' S, longitude 49° 10' W e altitude média de 911m. As normais climatológicas 1961-1990 indicam que, no período de verão, a média das temperaturas máximas mensais (jan-mar) é de 26,3°C, sendo a média das temperaturas mínimas de 16,0°C. Para esse período, a temperatura máxima absoluta ocorreu em fevereiro de 1975 e foi de 34,8°C (INMET, 2015). No Zoneamento Bioclimático Brasileiro, a cidade está inserida na Zona Bioclimática 1 (ABNT, 2003). A carta psicrométrica a seguir apresenta dados do ano climático de referência (
Figura 1).

Figura 1 – Ano climático de referência para Curitiba plotado sobre o Diagrama Bioclimático da Edificação (*Building Bioclimatic Chart*)



Fonte: Programa Analysis BIO

2.2 Células-teste

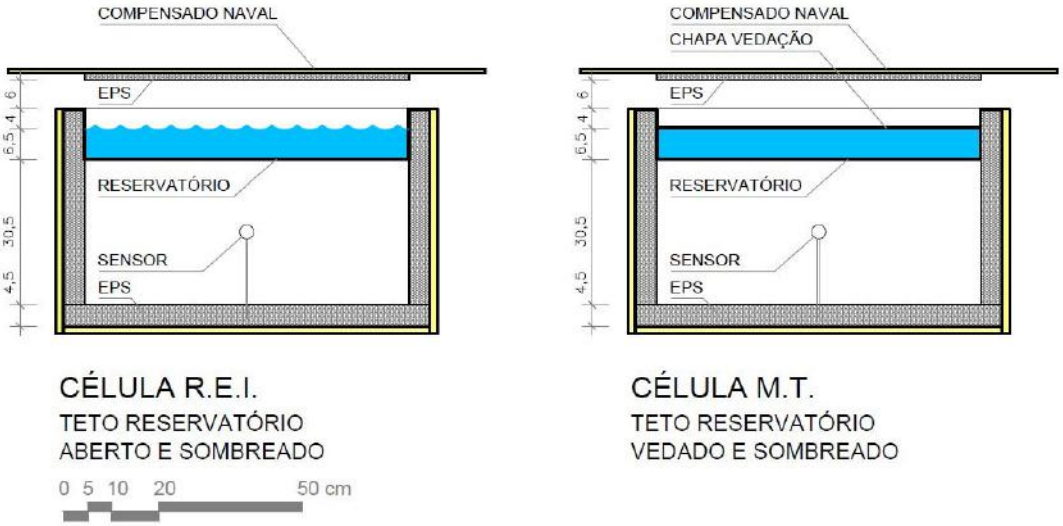
Foram confeccionadas duas células-teste com dimensões idênticas: uma célula denominada Resfriamento Evaporativo Indireto (REI) e uma célula denominada Massa Térmica (MT) (Figura 1Figura 2).

Buscou-se replicar as células conforme as confeccionados por González *et al*. (2014), permitindo comparações ulteriores de desempenho. Porém, visando maior durabilidade, foram feitas algumas alterações: ao invés de madeira compensada simples, utilizou-se compensado naval; ao invés de sombrear as células com chapa de compensado de 15 mm, utilizou-se compensado naval de 10 mm; as células originais foram confeccionadas com chapas de 18 mm, aqui utilizou-se compensado naval de 15 mm. Mantiveram-se as espessuras das chapas de EPS e o volume de ar interno. A alteração na espessura das chapas de compensado levou a uma pequena diferença entre os experimentos em se tratando da transmitância térmica das paredes. As células de González *et al*. (2014) apresentam U=0,717 W/(m².K), enquanto as deste experimento apresentam U=0,707 W/(m².K).

O teto-reservatório das células é composto por uma chapa de compensado de 10 mm para sombreamento, pintada de branco e revestida em sua face inferior com 15 mm de EPS. Entre esse elemento de sombreamento e o reservatório, foi deixado espaço de 6 cm para ventilação natural. Ambos os reservatórios foram confeccionados com chapa de aço galvanizado de espessura 1,2 mm, pintada com tinta epóxi, para prevenir ferrugem, e coberta posteriormente com tinta acrílica branca. A função da bacia metálica é tornar mais efetivo o processo de resfriamento do ambiente a partir do processo de evaporação da água no reservatório (no caso da célula REI), evitando-se gerar aumento da capacidade térmica do teto-reservatório além do próprio corpo d'água. Para o experimento, a bacia metálica recebeu uma camada de 6,5 cm de água (resultando em um volume total de cerca de 30 litros).

A diferença entre as células está no reservatório. Enquanto na célula REI, a evaporação ocorreu livremente, na célula MT, este processo foi impedido graças a uma tampa metálica fixada e vedada com silicone.

Figura 2 – Células-teste



Fonte: Autores

Para resistir melhor às intempéries, o compensado naval de ambas as células recebeu como base uma camada de verniz marítimo. Posteriormente, ambas foram pintadas com acrílico esmaltado na cor branca. Internamente, as paredes e pisos foram revestidos com uma camada de 4,5 cm de EPS.

2.3 Local do experimento

O local escolhido para o experimento foi um condomínio residencial na região norte de Curitiba, no bairro de Santa Felicidade. As células foram posicionadas de tal forma que pudessem receber a mesma quantidade de radiação solar ao longo dos períodos monitorados e que não projetassem sombras uma sobre a outra. A Figura 3 apresenta as células durante o monitoramento.

Figura 3 – Local do experimento



Fonte: Autores

2.4 Monitoramento

No 1º período de monitoramento (17/04/2015 até 16/05/2015), durante o outono, as temperaturas do ar foram registradas por meio de três *data loggers* idênticos, da marca NOVUS, modelo TagTemp-USB (Figura 4). O sensor desse aparelho opera na faixa de temperaturas de -20,0 °C a 70,0 °C, possui tempo de resposta de 5 s e apresenta precisão de ± 0,5 °C a 25 °C. Um *data logger* foi instalado no centro do volume de ar de cada célula e um na parte externa. Todos os sensores de temperatura foram envoltos em alumínio para minimizar o aquecimento por radiação. O sensor externo foi sombreado pela parte superior de uma garrafa PET cortada ao meio e também revestida por papel alumínio.

A umidade relativa local foi registrada utilizando o aparelho LogBox-RHT-LCD (Figura 4), também da marca NOVUS. O sensor de umidade opera na faixa de 0 a 100 %, possui tempo de resposta de 8 s em ar em movimento suave (20 a 80 % UR) e apresenta precisão de ± 3 % a 25 °C. Por não ser à prova d'água, foi posicionado em local sombreado, ventilado, protegido de eventuais chuvas.

Os aparelhos foram programados para realizar medições a cada 15 minutos. A configuração dos *data loggers* e a extração dos dados foi feita com o software FieldChart 1.99.2, da Novus.

Figura 4 - *Data Loggers* TagTemp-USB e LogBox-RHT-LCD



Fonte: www.novus.com.br

Visando garantir a uniformidade das medições da temperatura do ar pelos diferentes sensores, estes foram pré-calibrados, tendo sido acondicionados em um recipiente de EPS e guardados em um freezer por 24 horas a -15ºC. Posteriormente, foram expostos lado a lado à temperatura ambiente por um ciclo de 24 horas, sendo então verificadas as diferenças entre as medições registradas, observando-se uma diferença máxima de 0,2ºC entre os aparelhos, a qual foi considerada aceitável (tal diferença ocorreu apenas em temperaturas abaixo de zero, sob as quais não se pretendia testar o sistema), não sendo necessário realizar correção dos dados medidos.

No 2º período de monitoramento (de 09/11/2015 até 07/01/2016), final da primavera/início de verão, visando maior segurança contra a perda de dados e levantamento de mais variáveis, além dos sensores da fase anterior, foi adicionada uma estação meteorológica da marca HOBO (H21-001). A

estação conta com um *data logger* ao qual se acoplam até oito sensores para medir temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, precipitação e pressão barométrica, registrando-se até 15 canais de medições. A estação (Figura 5) foi equipada com os seguintes instrumentos: sensor de temperatura e umidade do ar (S-THB-M002); piranômetro de silício (S-LIB-M003); sensor de direção e velocidade do ar (S-WCA-M003); e dois sensores tipo PT100 para monitoramento da temperatura da água dos reservatórios.

Figura 5 – Equipamentos segundo período de monitoramento.

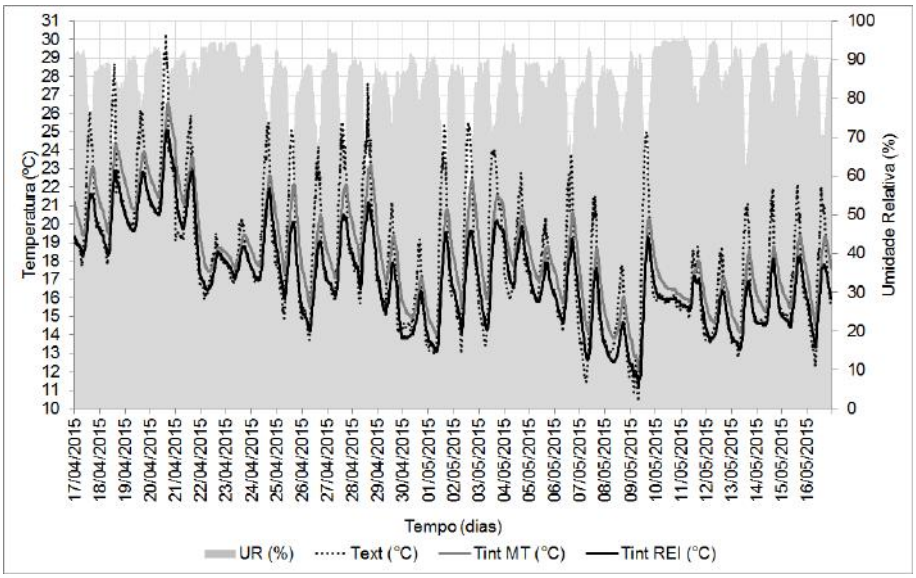


Fonte: Autores

3 RESULTADOS

As temperaturas externas do 1° período variaram entre 10,4 e 30,3 °C e as do 2° entre 13,9 e 34,5 °C. A Figura 6 apresenta as temperaturas externas e internas para os 30 dias do 1° período. O 2° período apresentou padrão semelhante, porém com maior intensidade de calor.

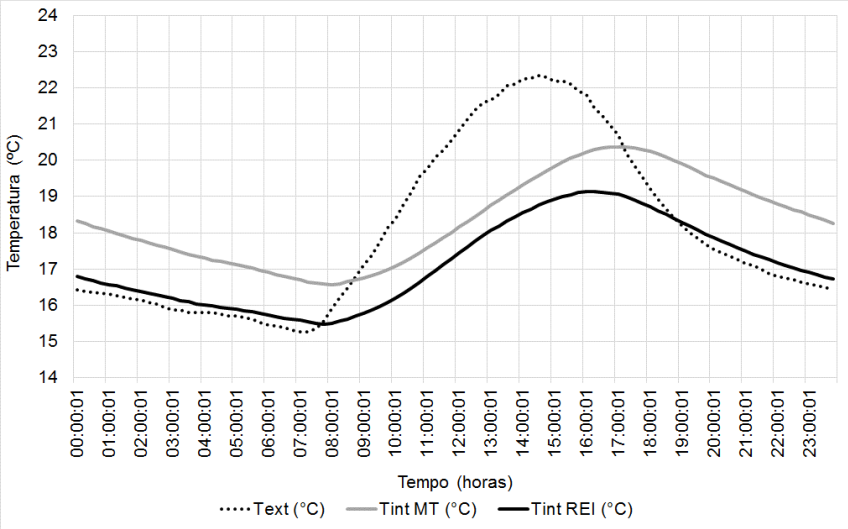
Figura 6 – Temperaturas externas e internas do 1° período



Fonte: autores.

Para uma melhor compreensão das diferenças entre os dados monitorados, foram calculadas as temperaturas para um dia médio para o 1º período. Ou seja, calcularam-se as temperaturas internas e externa médias para cada hora, considerando os 30 dias de monitoramento (Figura 7).

Figura 7 – Temperaturas horárias médias para o 1º período



Fonte: autores.

Em relação às temperaturas externas, as temperaturas internas apresentaram expressiva redução de amplitude (aproximadamente 50%), evidenciando o efeito de aumento de massa térmica (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1 – Temperaturas e amplitudes 1º período

	Text	Tint MT	Tint REI	Amplitude Text	Amplitude Tint MT	Amplitude Tint REI
Média	18,0	18,3	17,1	8,3	4,1	4,0
Máxima	30,3	26,6	25,1	14,6	8,2	8,1
Mínima	10,4	12,1	11,2	0,9	1,7	0,9

Fonte: autores.

Tabela 2 – Temperaturas e amplitudes 2º período

	Text	Tint MT	Tint REI	Amplitude Text	Amplitude Tint MT	Amplitude Tint REI
Média	22,0	22,3	21,0	9,6	4,8	4,5
Máxima	34,5	29,4	26,7	16,0	8,6	7,7
Mínima	13,9	15,7	14,8	2,6	1,9	2,2

Fonte: autores.

Comparando-se as amplitudes térmicas internas das duas células-teste, percebe-se que são muito próximas (Tabela 1 e Tabela 2). Ou seja, o efeito de aumento da capacidade térmica da cobertura propiciado pelo corpo d'água nos reservatórios sobre a inércia térmica das células é basicamente o mesmo, tendo-se ou não a atuação do resfriamento passivo. Trata-se de um efeito importante do sistema para que as temperaturas permaneçam por

maior tempo em faixas confortáveis, porém o resfriamento evaporativo não colabora significativamente para a redução da amplitude térmica.

No 1º período de medições, a diferença máxima entre as temperaturas externas e as temperaturas internas da célula MT foi de 7,0 ºC. A célula REI alcançou 7,3 ºC em relação às temperaturas externas. A maior diferença de temperatura entre as duas células foi de 3,1 ºC e a diferença média foi de 1,2 ºC.

No 2º período de medições, a diferença máxima entre as temperaturas externas e as temperaturas internas da célula MT foi 9,0 ºC. A célula REI alcançou 10,1 ºC. A maior diferença de temperatura entre as duas células foi de 4,1 ºC e a diferença média foi de 1,31 ºC. Ou seja, o desempenho de ambas durante primavera/verão foi significativamente mais alto que o verificado no outono.

Quando comparadas somente as temperaturas internas das duas células-teste percebe-se que: as temperaturas da célula REI, graças ao efeito de resfriamento, permaneceram abaixo das temperaturas da célula MT; as temperaturas mínimas da célula REI ficaram próximas das mínimas externas (o que indica a necessidade de precauções quanto à utilização do sistema em períodos frios); os gráficos de temperatura possuem padrões muito parecidos, mas o da célula REI apresenta-se deslocado para baixo, minimizando a possibilidade de as temperaturas internas atingirem limites considerados desconfortáveis por calor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mensurou o efeito do resfriamento evaporativo em um sistema de resfriamento passivo em termos de decréscimo de temperaturas internas, distinguindo-o do efeito de inércia térmica propiciado pela massa d'água do reservatório. Compararam-se dados de temperaturas externas e internas de duas células-teste.

Os resultados mostraram que a amplitude diária das temperaturas internas das duas células-teste foi muito próxima e aproximadamente 50% menor que as amplitudes diárias externas. A semelhança entre as amplitudes térmicas diárias das células-teste indica que o resfriamento evaporativo tem pouco efeito sobre esta variável.

Por outro lado, as temperaturas internas da célula REI permaneceram abaixo das temperaturas internas da célula MT durante o ciclo de 24 horas (com decréscimo de aproximadamente 1,0 – 1,5 ºC), confirmando a constância e efetividade do efeito de resfriamento evaporativo comparativamente à simples inclusão de um corpo d'água. Tal resultado aponta para o desempenho mais restrito de sistemas do tipo Skytherm[2] (HAY; YELLOTT, 1969), em que a água é utilizada apenas para aumento da capacidade térmica da cobertura, porém sem função evaporativa.

[2] Harold Hay, US Patent 3299589 (Janeiro de 1967).

Os resultados também mostraram que as temperaturas mínimas da célula REI ficaram próximas das mínimas externas, o que indica a necessidade de precauções quanto à utilização do sistema em períodos frios. Uma alternativa seria tampar o teto-reservatório no período frio, usando-se a massa térmica no período de inverno, porém cancelando-se sua função evaporativa. No caso de Curitiba, com ocorrência de situações de inverno, tal operação "seletiva" do sistema seria, nesse caso, indicada.

A transposição dos resultados para edificações reais está prevista como etapa futura da pesquisa. Os resultados de dois modos de operar o sistema servem como indicador da importância relativa de se utilizar ou não o corpo d'água com função evaporativa.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220** - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BATISTA, J.; LAMBERTS, R. Estimativas de redução da temperatura do ar: uso do resfriamento evaporativo direto no semi-árido alagoano. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2007, Ouro Preto. **Anais**... Ouro Preto: ANTAC, 2007.

CAVALCANTI, J. R. DE S. **Estudo experimental comparativo entre resfriamento evaporativo e radiativo em ambientes cobertos com telhas de fibrocimento em região de clima quente e úmido**. 2001. Dissertação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: USP, 2001.

CAVALCANTI, J. R. DE S.; PRADO, R. T. A. Estudo experimental comparativo entre resfriamento evaporativo e radioativo em ambientes cobertos com telhas de fibrocimento em região de clima quente e úmido. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2001.

GIVONI, B. Options and Aplications of Passive Cooling. **Energy and Buildings**, v. 7, p. 297–300, 1984.

GONZALEZ, E.; KRÜGER, E. L. Enfriamento evaporativo indirecto: predicción del comportamiento térmico en ciudades brasileñas. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12 e 8, 2013, Brasília. **Anais**... Brasília: ANTAC, p.45–54, 2013.

GONZALEZ, E.; KRÜGER, E. L.; GIORDANO, D. E. Estudo da aplicabilidade de um sistema de resfriamento evaporativo indireto para otimização do conforto térmico em residências no território brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, p.479–488, 2014.

GONZALEZ, E.; ORDENES MIZGIER, M.; RUTTKAY PEREIRA, F.; GÜTHS, S. Estudo experimental com sistemas de resfriamento passivo em Florianópolis. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 15, 2014, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, p.143–152, 2014.

GONZALEZ-GARCIA, S. **Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos de enfriamiento en clima cálido-húmedo**. Huelva: Universidad Internacional de Andalucía, Sede Internacional de la Rábida, Hueva, 2010. Dissertação - Universidad Internacional de Andalucía.

HAY, H.; YELLOTT, J. Natural Air Conditioning with Roof pond and Movable Insulation. **ASHRAE Transactions**. p.165-177, 1969.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 14/2/2016.

LABAKI, L. C.; TEIXEIRA, C. F.; TAVARES, S. F. Desempenho térmico de técnicas passivas em coberturas: resfriamento evaporativo e radiante. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2005, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC. p.2328, 2005.

NASCIMENTO, G. R. **Refrigeração evaporativa de telhados por meio de gotejamento de água. Experimento em bancada de testes**. 2005. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: UFSCar, 2005.

RORIZ, V.; RORIZ, M. Resfriamento evaporativo por aspersão de água sobre telhas de fibrocimento em clima semi-úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2008, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: ANTAC, 2008.

SÁNCHES, L. H. G. **Evaluación de un Techo Estanque Como Sistema de Enfriamiento Pasivo en un Clima Cálido Sub-húmedo**. 1993. Dissertação - Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura - Maestría en DiseBo Bioclimático, 1993.

SILVA, A. C. S. B. da. **Simulação de resfriamento evaporativo por microaspersão d'água**. 2004. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: UFSC, 2004.

VECCHIA, F.; MASIERO, É. Resfriamento evaporativo e condicionamento de ar convencional: estudo experimental comparativo para a obtenção do conforto humano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2006, Florianópolis. **Anais**... Florianópolis: ANTAC, 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAREDES MONOLÍTICAS EXECUTADAS COM DIFERENTES MATERIAIS EM CONDIÇÕES VARIÁVEIS DE OSCILAÇÕES DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS[1]

FERREIRA, Pablo Raphael de Lacerda (1); HENRIQUES, Vitor Muniz (2); DE MELO, Aluísio Braz (3); GOMES, Emmily Gérsica Santos (4)

(1) UFPB, e-mail: pablorlf@yahoo.com.br; (2) UFPB, e-mail: vitormunizhenriques@hotmail.com; (3) UFPB, e-mail: aluisiobmelo@hotmail.com; (4) IFPB/UFPB, e-mail: emmilygersica@hotmail.com

RESUMO

O uso de vedação monolítica de concreto na construção de habitação de interesse social no Brasil tem sido questionado, devido o seu comportamento térmico. Nesse artigo, é apresentado um estudo que objetiva comparar o comportamento desse material com outras opções monolíticas para vedação, em situações com diferenças nas amplitudes térmicas diárias. Os experimentos foram realizados em câmara térmica (laboratório), a partir da execução de amostras (mini paredes) com três tipos diferentes de blocos maciços (espessuras, 14 cm): concreto convencional; concreto leve (bloco EVA) e solo cimento (bloco BTC). Com cada amostra, uma de suas superfícies foi submetida a ciclos de aquecimento e resfriamento, simulando uma maior e uma menor amplitude térmica, representativa de duas cidades (sertão e litoral) do nordeste brasileiro, respectivamente com climas quente/seco e quente/úmido. A coleta dos dados foi proporcionada pelo uso de termopares instalados em cada face das amostras, que representam as faces externa e interna de uma parede de um ambiente. Os resultados obtidos confirmam que o uso de concreto maciço nas mini paredes nas condições simuladas no ensaio, frente aos outros materiais comparados, possui o pior comportamento com menor atraso térmico e menor amortecimento entre as temperaturas superficiais da amostra.

Palavras-chave: Amplitude térmica. Concreto. EVA. BTC.

ABSTRACT

The use of concrete monolithic seal on the construction of social housing in Brazil has been questioned due to its thermal behavior. In this article, a study is presented which aims to compare the behavior of this material with other monolithic options for sealing in different daily temperature range situations. The experiments were performed in a thermal chamber (Lab) from the running samples (mini walls) by three different types of solid blocks (thickness 14 cm): conventional concrete; lightweight concrete (EVA block) and soil cement (BTC block). In each sample, one of its surfaces was subjected to heating and cooling cycles, simulating a larger and a smaller temperature range, representing two cities (the outback and the coast) from northeastern Brazil, respectively with hot/dry and hot/humid climates. Data collection was provided by thermocouples installed on each side of the samples

[1] FERREIRA, P. R. L.; HENRIQUES, V. M.; DE MELO, A. B.; GOMES, E. G. S. Avaliação do comportamento térmico de paredes monolíticas executadas com diferentes materiais em condições variáveis de oscilações de temperaturas superficiais. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2016, São Paulo. **Anais** ANTAC, 2016.

representing the outer and inner sides of the wall of a room. The results confirm that the use mini walls on massive concrete in the conditions simulated in the test, compared to other materials analyzed, has the worst performance with less delay and lower thermal buffer between the surface temperatures of the sample.

***Keywords**: Thermal amplitude. Concrete. EVA. BTC.*

1 INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia de vedações monolíticas em concreto armado na construção de edifícios de até 4 pavimentos, financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida despertou para a problemática relacionada ao comportamento térmico desse tipo de vedação em construções inseridas em climas diferentes, tais como, quente/seco e quente/úmido, regiões do sertão e litoral do Nordeste brasileiro, respectivamente, que têm diferenças significativas nas amplitudes térmicas diárias.

Logo se questiona a validade da utilização dessa tecnologia, que proporciona maior velocidade de produção, sem considerar que esse tipo de vedação, dentre outros fatores como cor, coberta, piso, clima local, etc., pode ser responsável pelo desconforto térmico interno, nesses edifícios inseridos em condições variáveis de oscilações de temperaturas superficiais. Nesse sentido, interessa neste artigo comparar o comportamento térmico desse material com outras opções monolíticas, tais como paredes em concreto leve e em terra crua. Especificamente, interessa comparar com os materiais alternativos desenvolvidos em pesquisas recentes, como os blocos EVA, compostos com resíduos da indústria de calçados (BEZERRA, 2002; POLARI FILHO, 2005; DE MELO & LIMA FILHO 2009; ROCHA et al., 2013; DE MELO & SILVA, 2013) e os blocos de terra crua comprimida e estabilizada com cimento (BARBOSA & MATTONE, 2002; MELO et al., 2011), que possuem potencial para execução de paredes.

Arantes (2009) afirma que as paredes de concreto possuem baixo desempenho térmico e acústico e, para um clima com grande amplitude térmica diária, essas vedações podem potencializar o desconforto interno das edificações, esquentando o ambiente no verão e/ou durante o dia e esfriando no inverno e/ou durante a noite.

Segundo Frota & Schiffer, o ganho de calor de uma edificação está relacionado com a intensidade de radiação solar que nela incide e as propriedades térmicas dos materiais utilizados na confecção de sua envoltória. Esta afirmação é compartilhada com Ruas (1999), quando o autor aponta para a influência das propriedades dos materiais utilizados nas paredes na condução do calor para o ambiente interno.

Portanto, o objetivo é comparar em ambiente controlado o comportamento térmico de diferentes paredes monolíticas, com uso de três materiais diferentes, para caracterizar o grau de comprometimento que poderá ocorrer na situação problematizada.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No estudo experimental procurou-se avaliar o desempenho térmico de mini paredes (1,2 m²) em ensaios realizados no interior de uma câmara térmica, composta por dois ambientes separados por uma divisória onde a amostra avaliada é inserida. A divisória é executada em gesso acartonado e preenchida com lã de rocha. Desse modo, durante os ensaios foram simulados ciclos térmicos, com aquecimento e resfriamento da mesma superfície da mini parede (aquela que representa a face externa da vedação do edifício) em momentos diferentes, sendo tais ciclos definidos com base na simulação de duas amplitudes térmicas (maior e menor), baseando-se em identificações de casos reais para os climas de interesse na análise.

Os procedimentos metodológicos adotados na preparação das amostras estão de acordo com os estudos feitos por Silva et al. (2013). Todas as mini paredes foram executadas com pré-moldados, procurando preservar as características de parede maciça. Nesse caso, foram utilizados sempre pré-moldados maciços e com a mesma espessura (14 cm), sendo eles blocos de solo cimento, blocos de concreto convencional ou blocos EVA. O bloco de solo cimento (BTC), do tipo Mattone, já tem sua geometria maciça. Os blocos de concreto e os blocos EVA, por possuírem vazios em suas geometrias, tiveram que ser preenchidos com o mesmo material correspondente a cada composição, para tornar as mini paredes também maciças. Tais mini paredes não receberam argamassa de revestimento, mas foram pintadas na cor branca com cal. Uma vez que o aquecimento das superfícies das amostras durante os ciclos térmicos na câmara é realizado por um painel radiante de calor (12 lâmpadas incandescentes, totalizando 1.800W de potência), a decisão tomada procura igualar as condições de absorção de calor pelas superfícies, que têm a mesma cor.

Para definir os ciclos térmicos adotados nas análises realizaram-se alguns levantamentos de dados, objetivando determinar a maior e a menor amplitude térmica (referente à temperatura do ar), identificadas com as respectivas situações climáticas. Com base nos dados disponíveis no INMET, foi possível identificar nos registros da série histórica de 20 anos, pequenas variações na temperatura do ar diária (apenas 6 °C), para uma cidade do litoral do nordeste (7°9'58''S; 34°48'58''W), com clima característico quente e úmido. Para identificar o ciclo térmico referente à temperatura superficial foram coletados dados em campo numa parede da fachada oeste de uma edificação. Nessas medições (02-12-2014), constatou-se que, num ciclo de 24 horas, 8 horas correspondem a aquecimento (temperatura máxima superficial entre 36,9°C e 39,1°C) e 16 horas a resfriamento (temperatura mínima superficial entre 26,9°C e 27,5°C), o que define uma razão de 1:2, entre o tempo de aquecimento e de resfriamento da temperatura da superfície da parede oeste, que nesse estudo passou a representar a situação com menor amplitude térmica (10 °C).

Para viabilizar a realização dos ensaios mais curtos, considerando-se as dimensões dos ambientes da câmara térmica, as temperaturas superficiais, máxima e mínima a simular nas mini paredes e as condições de operação dos equipamentos (fontes de calor e resfriamento artificiais), decidiu-se compactar o ciclo térmico, obedecendo essa mesma razão (1:2).

Na sequência, foi necessário também recorrer aos dados da calibração dessa câmara térmica, realizada por Gomes (2015), para determinar a quantidade de horas necessárias para atingir a temperatura máxima superficial entre 36,9°C e 39,1°C na mini parede. Nesse caso, para o ensaio simulando a menor amplitude térmica (10ºC) ficou estabelecida 2 horas para aquecimento e 4 horas para resfriamento, o que resultou numa compactação do período de análise, de 24 horas para apenas 6 horas.

A partir de nova consulta aos dados do INMET, verificou-se que numa série histórica de 20 anos, houve um evento extremo (26 de novembro de 2011) que caracterizou a maior amplitude térmica (20,6 °C), referente à temperatura do ar, numa cidade na região do sertão nordestino (07º01'28"S; 37º16'48"W), que tem clima quente e seco. Nesse caso, para definir o ciclo que simularia a maior amplitude térmica, relativa à variação da temperatura superficial, também se recorreu a uma coleta de dados em campo (27 de março de 2015) numa parede oeste de uma edificação na mesma cidade do sertão nordestino. Para isso, foi utilizado um termômetro digital infravermelho portátil para realizar medições na fachada oeste da edificação, cuja parede havia sido executada com tijolos cerâmicos e pintada na cor branca sobre o reboco. Com os registros realizados em horários pré-definidos foi possível identificar que às 7:00 horas e 16:00 horas, foram registradas a menor (23,5 ºC) e a maior (38,5 ºC) temperatura superficial, respectivamente, o que indicou uma amplitude térmica igual a 15 °C.

Com essas informações, necessitou-se estimar a amplitude térmica relativa à temperatura superficial correspondente ao caso do evento extremo quando teve a maior amplitude térmica (20,6 °C) relativa à temperatura do ar, uma vez que o objetivo era testar essa condição no ciclo térmico simulado em cada amostra na câmara térmica. Para isso, decidiu-se aplicar a regra de três simples, admitindo-se a hipótese de uma possível correlação entre as amplitudes térmicas (AT) para os registros de temperatura em datas diferentes, da seguinte forma: 1 - considerando as temperaturas do ar (ATar = 12,8ºC) e da superfície externa da parede oeste (ATs = 15,0ºC), ambos os registros para o mesmo dia (27 de março de 2015) e local, em que se fez a medição na parede oeste da edificação; 2 - considerando as temperaturas do ar (ATar = 20,6ºC) e da superfície externa da parede oeste (ATs = "X") para o dia (26 de novembro de 2011) do registro da maior amplitude térmica identificada na série histórica para a cidade em análise. Dessa forma, pode-se encontrar o valor de "X" na equação 01.

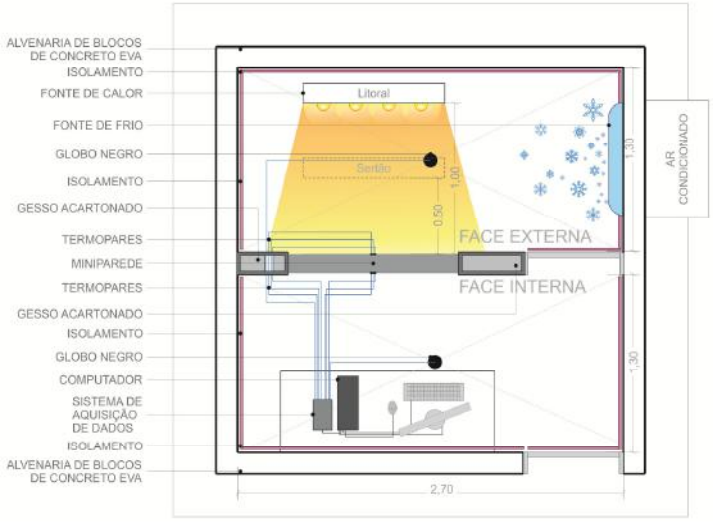
1) ATar=12,8ºC está para ATs=15,0 ºC (01)
2) ATar=20,6 ºC está para ATs=X ºC;

Donde:
X = 24,1°C (maior amplitude térmica, relativa à temperatura superficial na parede da fachada oeste da edificação na referida cidade).

Nesse caso, para os ciclos térmicos representando a maior amplitude térmica (24,1 °C), durante o ensaio em câmara, adotou-se o valor de temperatura máxima superficial na mini parede igual a 49°C, com 4 horas de aquecimento e 8 horas de resfriamento (ciclo total de 12 horas).

Vale lembrar que os dois ciclos definidos repetiram-se igualmente em todas as mini paredes, o que valida as comparações entre as amostras. Nos experimentos, procurou-se simular cada ciclo de aquecimento e resfriamento, de modo que, tais variações foram induzidas apenas em um dos ambientes internos da câmara térmica. A Figura 1 apresenta desenho esquemático da câmara térmica utilizada nesta pesquisa, detalhando os dois ambientes isolados, a localização da mini parede e das fontes de calor e de frio, bem como o posicionamento dos termopares, que estão conectados ao sistema de aquisição/computador.

Figura 1 - Arranjo/desenho esquemático em planta baixa do experimento no interior da câmara térmica



Fonte: Os autores

Para execução do ensaio, em cada mini parede foram instalados três termopares (tipo T) em cada face (exposta/externa e oposta/interna). O resultado final para cada face da amostra foi obtido a partir da média aritmética por hora dos registros coletados a cada segundo pelo sistema de aquisição de dados. Esses sensores foram posicionados no centro dos blocos (evitando-se as juntas) e foram cobertos por uma pequena placa de isopor, para evitar que a radiação da fonte de calor ou do frio atingisse diretamente o termopar, o que poderia alterar negativamente as leituras que se tem interesse, nesse caso, somente a variação da temperatura na superfície da mini parede.

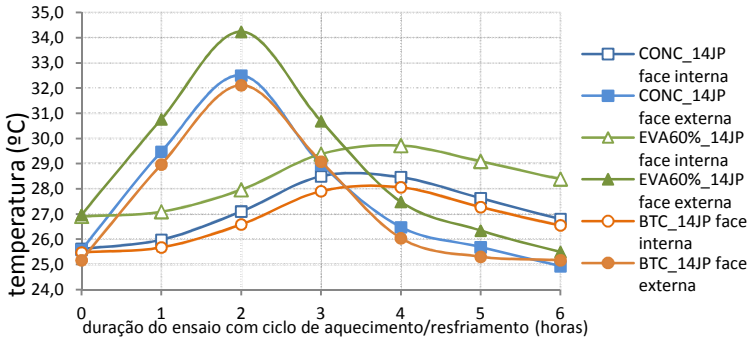
Adotou-se como regra a manutenção da câmara térmica fechada por 24 horas com a mini parede já instalada, tempo suficiente para equilibrar as temperaturas internas antes do início dos ensaios, que acontecia a partir do acionamento da fonte de calor sobre uma das faces da mini parede em teste, aqui denominada face externa ou exposta à variação de temperatura induzida (a face oposta é denominada de face interna). Então, o ciclo térmico adotado para cada caso de amplitude térmica simulado foi definido com um período de aquecimento (fonte de calor acionada), até atingir-se a temperatura máxima, e um período de resfriamento (fonte de calor desligada e ar condicionado acionado), até atingir-se a temperatura mínima. Esta última etapa do ensaio simula, de modo compactada, aquele período do dia quando a radiação solar diminui na fachada oeste e a temperatura superficial nessa parede tende a baixar (entardecer, noite e madrugada).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ciclos térmicos simulando a menor amplitude térmica

Na Figura 2, observa-se que a temperatura máxima superficial alcançada na face externa, após o regime de aquecimento (2 horas), é maior para a mini parede maciça com blocos EVA, seguida daquela com blocos de concreto e, por último, aquela com blocos BTC. Exatamente a mesma sequência ocorre em relação à temperatura máxima superficial alcançada na face interna. Após o regime de resfriamento, até completar o ciclo de 6 horas, a menor diferença nas temperaturas superficiais entre as duas faces (externa e interna) foi para a mini parede maciça com blocos BTC.

Figura 2 - Variação da temperatura superficial das mini paredes maciças (faces externa e interna) submetidas a ciclos térmicos com menor amplitude térmica



Fonte: Os autores

Na Tabela 1, identifica-se mais claramente outras diferenças e semelhanças entre tais amostras. Considerando a amplitude térmica (até a 6ª hora de ensaio) registrada para a face externa das mini paredes maciças, verifica-se que enquanto aquela com os blocos BTC teve o menor valor (7,0°C), com os blocos EVA teve o maior valor (8,7°C). Essa mesma comparação para a face interna das mini paredes maciças, a maior amplitude térmica passa a ser para aquela executada com blocos de concreto (1,7°C), enquanto o menor

valor (1,3ºC) é para aquela com blocos EVA, que inclusive foi a amostra que obteve a maior diferença entre as temperaturas máximas superficiais entre as faces externa e interna (4,5ºC). Ou seja, com os blocos EVA obteve-se o maior amortecimento da temperatura entre os registros externos e internos. Observa-se ainda que os atrasos térmicos relativas as temperaturas máximas superficiais das mini paredes maciças com blocos EVA e com blocos BTC são iguais (2 horas) e é o dobro em relação à mini parede maciça com blocos de concreto (1 hora). Então, como esperado, o resultado confirma o comportamento do concreto maciço apresentando-se com menor barreira térmica.

Tabela 1 – Variação de temperaturas superficiais, em ensaio em câmara térmica, simulando a menor amplitude térmica.

Mini paredes	Diferenças entre temperaturas superficiais máximas (Tmáx. ext. – Tmáx. int.)	Atrasos Térmicos	Diferenças entre temperaturas superficiais finais (T6h int. – T6h ext.)	Amplitudes Térmicas (ºC)	
	(ºC)	(h)	(ºC)	Face Externa	Face Interna
CONC_14JP	4,0	1	1,9	7,6	1,7
EVA60%_14JP	4,5	2	2,9	8,7	1,3
BTC_14JP	4,1	2	1,4	7,0	1,5

Fonte: Os autores

Outra análise dos resultados procurou comparar as temperaturas superficiais finais, correspondente a 6ª hora (Tabela 1), quando ficou caracterizado que a mini parede maciça com blocos BTC tem a menor diferença (1,4ºC) entre as temperaturas superficiais, interna e externa, enquanto aquela com blocos EVA teve a maior diferença (2,9ºC).

Os cálculos apresentados na Tabela 2 indicam que todas as mini paredes, nas suas faces externas, aquecem praticamente com a mesma taxa. Essa mesma análise para a face interna indica que a mini parede maciça com blocos de concreto aquece mais rápido (1,0ºC/h) do que as demais. Durante o resfriamento percebe que a menor taxa, considerando a face interna, é para aquela com blocos de concreto (0,6ºC/h – resfria mais lentamente).

Tabela 2 – Taxa de aquecimento e resfriamento superficial das mini paredes (ciclo com menor amplitude térmica)

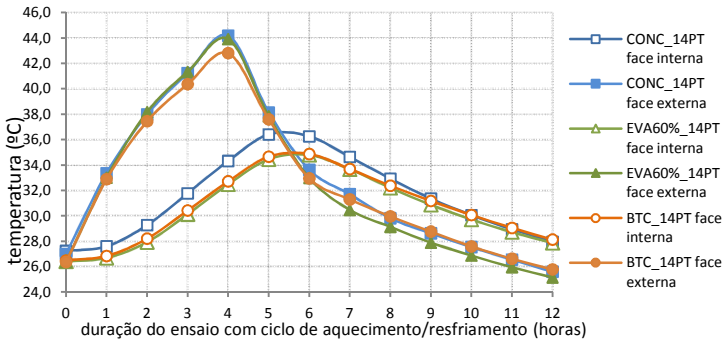
Mini paredes	taxa aquecimento		taxa resfriamento	
	face ext. (0h-2h)	face int. (0h-2h)	face ext.(2h-6h)	face int.(2h-6h)
	ºC/h	ºC/h	ºC/h	ºC/h
CONC_14JP	3,5	**1,0**	1,9	**0,6**
EVA60%_14JP	3,6	0,7	2,2	0,7
BTC_14JP	3,5	0,6	1,7	0,8

Fonte: Os autores

3.2 Ciclos térmicos simulando a maior amplitude térmica

Como visto na Figura 2, pode-se observar que a temperatura máxima superficial alcançada na face externa, após o regime de aquecimento (4 horas), agora é maior para a mini parede maciça com blocos de concreto, seguida com blocos EVA e, por último, aquela com blocos BTC. Então, comparado ao caso anterior (ciclo para menor amplitude térmica) há uma inversão entre as posições das duas mini paredes maciças com blocos cimentícios (concreto e EVA), mas ambas mantendo uma distância em relação àquela com blocos BTC, que continua com temperatura máxima inferior.

Figura 2 – Variação da temperatura superficial das mini paredes maciças (faces externa e interna) submetidas a ciclos térmicos com maior amplitude térmica.



Fonte: Os autores

Na Figura 2, observa-se ainda que as temperaturas máximas superficiais na face interna de todas as mini paredes maciças ficaram entre 35ºC e 36ºC, com o maior valor para aquela executada com blocos de concreto. Após o regime de resfriamento, até completar o ciclo de 12 horas, a diferença entre as temperaturas superficiais para as duas faces (externa e interna) é praticamente a mesma para todas as mini paredes maciças, com todas apresentando cerca de 25ºC como a temperatura superficial externa e cerca de 28ºC como temperatura superficial interna. Na Tabela 3, podem ser identificadas as outras diferenças e semelhanças entre tais amostras.

Tabela 3 – Variação de temperaturas superficiais, em ensaio em câmara térmica, simulando a maior amplitude térmica.

Mini paredes	Diferenças entre temperaturas superficiais máximas (Tmáx. ext. – Tmáx. int.)	Atrasos Térmicos	Diferenças entre temperaturas superficiais finais (T12h int. – T12h ext.)	Amplitudes Térmicas (ºC)	
	(ºC)	(h)	(ºC)	Face Externa	Face Interna
CONC_14PT	7,8	1	2,4	18,6	8,4
EVA60%_14PT	9,1	2	2,7	18,8	6,9
BTC_14PT	7,9	2	2,3	17,0	6,7

Fonte: Os autores

Considerando a amplitude térmica registrada para a face externa das mini paredes maciças, verifica-se que enquanto aquela com blocos BTC teve o menor valor (17,0ºC), a mini parede com blocos EVA teve o maior valor (18,8ºC). Essa mesma comparação para a face interna das mini paredes maciças, mais uma vez, a maior amplitude térmica foi para aquela executada com blocos de concreto (8,4ºC), enquanto os menores valores - 6,9ºC e 6,7ºC - são para aquelas com blocos EVA e com blocos BTC, respectivamente. Destaca-se ainda que a mini parede com blocos EVA foi a amostra que obteve a maior diferença nas temperaturas máximas superficiais entre as faces externa e interna (9,1ºC), ou seja, novamente significou o maior amortecimento da temperatura através dela.

Confirma-se também que os atrasos térmicos para as mini paredes maciças com blocos EVA e com blocos BTC são iguais (2 horas) e é o dobro em relação àquela com blocos de concreto (1 hora). Então, aqui há a combinação de dois fatores: menor diferença entre as temperaturas superficiais máximas registradas nas faces externa e interna (7,8ºC) e; menor atraso térmico (1 hora); a confirmar que a mini parede maciça com blocos de concreto tem comportamento térmico inferior às demais, sendo maior a sua capacidade de condução do calor do exterior para o espaço interno.

Para a taxa de variação de temperatura (ºC/h), durante o aquecimento, os cálculos (Tabela 4) indicam que as mini paredes maciças com blocos cimentícios, concreto e EVA, nas suas faces externas, aquecem mais rapidamente, 4,3ºC/h e 4,4ºC/h, respectivamente. Pode-se constatar ainda que para a mini parede maciça com blocos de concreto, considerando a face interna, durante o aquecimento, a taxa é maior (1,8ºC/h), indicando que essa mini parede se aquece mais rápido internamente do que as demais, na condição de ciclo com maior amplitude térmica.

Tabela 4 - Taxa de aquecimento e resfriamento superficial das mini paredes, considerando o ciclo com maior amplitude térmica.

Mini paredes	taxa aquecimento		taxa resfriamento	
	face ext. (0h-4h) ºC/h	face int. (0h-4h) ºC/h	face ext.(4h-12h) ºC/h	face int.(4h-12h) ºC/h
CONC_14PT	4,3	1,8	2,3	1,2
EVA60%_14PT	4,4	1,4	2,3	1,2
BTC_14PT	4,1	1,4	2,1	1,1

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÃO

Os procedimentos adotados para simulação, em câmara térmica, de ciclos representativos de duas diferentes (menor e maior) amplitudes térmicas, ocorridas na região do nordeste brasileiro se mostraram válidos. Tal estudo se revelou interessante para analisar comparativamente o comportamento dos diferentes materiais de vedação.

Para as duas condições de amplitudes térmicas testadas – a menor (10 ºC) e a maior (25,4 ºC) - como esperado, confirmou-se que a amostra com blocos de concreto teve o pior desempenho térmico. Por sua vez, a mini parede com blocos EVA apresentou melhora significativa no comportamento térmico, sendo esta relacionada à presença dos agregados de EVA, materiais leves obtidos dos resíduos da indústria de calçados, que substituem os agregados naturais. Por outro lado, a mini parede com blocos BTC apresentou o comportamento mais regular dentre as três ensaiadas, confirmando a característica desse material na redução entre as temperaturas superficiais e as amplitudes térmicas.

Os resultados obtidos no presente estudo podem contribuir na discussão sobre a problemática do uso de paredes maciças de concreto nas edificações do programa Minha Casa Minha Vida, em situações climáticas com as amplitudes térmicas estudadas, relativas às temperaturas superficiais dos planos verticais. Assim, a principal contribuição é que a mini parede de concreto maciço nas condições simuladas nos ensaios aqui realizados obteve o pior comportamento, com menor atraso térmico e menor amortecimento entre as temperaturas superficiais, frente às opções de materiais não convencionais aqui comparados (blocos EVA e blocos BTC).

REFERÊNCIAS

ARANTES, P. F. **Paredes de concreto para as casas da periferia: novo crime das empreiteiras.** Publicado em Correio da Cidadania, http://www.correiocidadania.com.br, acesso em 29 março de 2016.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R. **Construção com terra crua**. In: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, Anais. Salvador: Proterra/Cyted, 2002.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do Resíduo da Indústria de Calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado Leve na Produção de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria sem Função Estrutural**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

DE MELO, A. B & SILVA, E. P. **Bloques de hormigón ligero con áridos reciclados de EVA: una contribución a la eficiencia térmica de paredes exteriores de edificios**. Materiales de Construcción, Vol. 63, 312, 479-495, octubre-diciembre, 2013.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 2001.

GOMES, E. G. S. **Desempenho Térmico de Alvenarias: Uma Alternativa com o uso de Blocos EVA**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

MELO, A. B.; LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA**. Ambiente Construído, v. 9, n 4, p. 141-155 out./dez,Porto Alegre, 2009.

MELO, A. B; BARBOSA, N. P.; LIMA, M. R. F.; SILVA, E. P. **Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada**. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 111-124, abr./jun. Porto Alegre 2011.

POLARI FILHO, R.S., **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da Indústria de calçados na Construção Civil: Bloco EVA – Uma alternativa às alvenarias das construções** – Dissertação ao PPGEU. UFPB, 2005.

ROCHA, F. M. D., MELO, A. B., SILVA, E. P., TORRES, S. M. **Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social**. Ambiente Construído, v. 13, n. 2, p. 47-60, abr./jun. 2013, Porto Alegre, 2013.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. (Dissertação de Mestrado), Campinas, 1999.

SILVA, E. P.; MELO, A. B.; QUEIROGA, A. B. R. E. **Desempenho térmico de vedações: estudo comparativo com blocos de EVA, tijolo cerâmico e gesso acartonado**. In.: XII ENCAC – Encontro Nacional de conforto no Ambiente Construído e no VIII ELACAC – Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. Anais: Brasília, 25-27 de setembro de 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA CIDADE EM CLIMA SEMIÁRIDO: ESTUDO DE CASO EM ARAPIRACA-AL[1]

SILVA, M. F. (1); RODRIGUES, E. R. S. (2); BARBOSA, R. V. R. (3)

(1) UFAL, e-mail: monica_fers@hotmail.com; (2) UFAL, e-mail: esteffany.ufal@gmail.com; (3) UFAL, e-mail: rvictor@arapiraca.ufal.br

RESUMO

Projetar considerando o clima local permite melhorar a eficiência energética em edifícios enquanto possibilita aos usuários usufruir de conforto térmico a baixo custo. Arapiraca, situada no Agreste alagoano, possui poucas pesquisas sobre bioclimatologia. Em 2008, instalou-se em Arapiraca uma estação automática do INMET permitindo estudos mais aprofundados do clima e da bioclimatologia na cidade. Esta pesquisa pretende nortear a produção arquitetônica coesa com as condições climáticas locais. A metodologia consistiu em três fases: caracterização do perfil climático de Arapiraca, por meio de tabulação e tratamento estatístico dos dados climáticos obtidos pela estação do INMET; análise das recomendações construtivas sugeridas pelas Planilhas de Mahoney e análise das estratégias construtivas pela Carta de Givoni, gerada pelo programa Analysis BIO®. As indicações dadas pelas tabelas de Mahoney foram apenas para resfriamento passivo, enquanto que a Carta também indicou estratégias para aquecimento, embora as principais tenham sido ventilação, resfriamento evaporativo e alta inércia para resfriamento. Os resultados complementam recomendações do ZBB, já que este é genérico. Baseando-se nas variantes climáticas, notou-se que Arapiraca possui duas estações: quente e úmida; e quente e seca. Esta pesquisa obteve êxito em traçar estratégias bioclimáticas para Arapiraca, podendo ser utilizada como base por profissionais interessados em arquitetura bioclimática.

Palavras-chave: Arapiraca. Carta bioclimática. Planilhas de Mahoney.

ABSTRACT

Design considering the local climate improves energy efficiency in buildings while enabling users to take advantage of thermal comfort at low cost. Arapiraca, located in Alagoas Agreste, has little research on bioclimatology. In 2008, an automatic station of INMET was settled in Arapiraca allowing further study of climate and bioclimatology in the city. This research aims to guide the cohesive architectural production with the local weather conditions. The methodology consisted of three phases: characterization of the climate profile of Arapiraca through tabulation and statistical treatment of climatic data obtained by INMET station; analysis of constructive recommendations suggested by Mahoney Tables and analysis of constructive strategies in the Charter of Givoni generated by Analysis BIO® software. The indications given by Mahoney Tables were only passive cooling, while the charter also indicates strategies for heating, although the major were ventilation, evaporative cooling and high inertia for cooling. The results complement ZBB's recommendations since this is generic. Based on the climatic variations, it was noted that Arapiraca has two seasons: hot and humid; and hot and dry. This research was successful in tracing bioclimatic strategies to Arapiraca and can be used as a basis for professionals interested in bioclimatic architecture.

[1] SILVA, M. F.; RODRIGUES, E. R. S.; BARBOSA, R. V. R. Diretrizes construtivas para cidade em clima semi-árido: estudo de caso em Arapiraca-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Arapiraca. Bioclimatic chart. Mahoney Tables.*

1 INTRODUÇÃO

A produção arquitetônica de Arapiraca, cidade situada na mesorregião do Agreste alagoano, na maioria dos casos, não foi pensada considerando o contexto climático local. A inadequação com este acarreta no desconforto térmico dos usuários dessas edificações.

"A arquitetura possui um papel importante na busca pela produção de espaços mais sustentáveis que visem o conforto ambiental dos usuários." (PASSOS, 2009). Para isto, "o estudo das variáveis climáticas e sua relação com a edificação é indispensável, pois possibilita o entendimento físico dos vários processos climáticos relacionados à edificação, interferindo positivamente nas decisões de projeto." (CORREA, BARBIRATO, 2013).

Uma vez que se sabe que o comportamento térmico modifica na medida em que a morfologia dos espaços é alterada (ROCHA, SOUZA, 2011), é importante haver um planejamento adequado ao clima local.

Para dar subsídio aos profissionais na concepção de projetos, existem programas que, baseados nos dados climáticos de cada localidade, dão diretrizes projetuais bioclimáticas que, "fazendo uso da tecnologia que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos, pretendem fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com baixo consumo energético". (BOGO, PIETROBON, BARBOSA, GOULART, PITTA, LAMBERTZ, 1994).

Arapiraca é uma cidade relativamente jovem e possui poucas pesquisas acerca de estratégias bioclimáticas para a mesma. Até pouco tempo, os profissionais da região não possuíam ferramentas para nortear o projetar na cidade, mas, a partir de 2008, foi implantada uma estação automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) no município, o que possibilitou obter-se dados climáticos da cidade, úteis para serem aplicados em instrumentos de auxílio projetual como o Método de Mahoney Tradicional e a Carta Bioclimática de Givoni, por meio do programa Analysis BIO.

Esta pesquisa tem como objetivo traçar estratégias bioclimáticas para o município de Arapiraca baseando-se nas indicações das planilhas de Mahoney e do software Analysis BIO levando-se em consideração o perfil climático preliminar da cidade indicado pelos dados obtidos de maio de 2008 a abril de 2015.

2 METODOLOGIA

O município de Arapiraca, objeto desta pesquisa, localiza-se na mesorregião do Agreste Alagoano, na parte central do Estado, entre a latitude 9°75'25'' Sul e longitude 36°60'11'' Oeste. Abrange uma área de 345,655 km², possui uma população estimada de 231.053 habitantes e densidade demográfica de 600,83 hab./km², segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2010).

Os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa consistiram em três fases distintas: caracterização do perfil climático de Arapiraca, análise das recomendações construtivas indicadas pelas Planilhas de Mahoney e análise das recomendações construtivas pela Carta de Givoni.

2.1 Perfil climático de Arapiraca

Esta fase se desenvolveu em quatro etapas. A primeira etapa correspondeu à revisão bibliográfica e documental relativa ao clima e à região Agreste de Alagoas. Nesta etapa, foram levantados dados do comportamento dos elementos do clima, caracterização do perfil climático e clima urbano.

Concomitante à etapa de revisão bibliográfica, foi feito levantamento e tabulação dos dados climáticos de Arapiraca no período de maio de 2008 a abril de 2015. Estas informações foram obtidas por meio da estação meteorológica do INMET (Latitude: -9.80417°, Longitude: -36.6189°, Altitude: 241.00m) com o objetivo de consolidar banco de dados climático para o município de Arapiraca. Estes dados correspondem aos valores horários das seguintes variáveis: temperaturas do ar (máxima, mínima e instantânea), umidade do ar (máxima, mínima e instantânea) e precipitação. Os dados de ventilação não foram tratados neste trabalho porque são, isoladamente, objeto de outra pesquisa.

Na terceira etapa, foi feito tratamento estatístico que consistiu na obtenção das máximas, mínimas e médias diárias e mensais dos valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar, totais pluviométricos diários e mensais. A partir dos dados mensais obtidos, foram geradas as médias de cada variável (temperatura mínima, média, etc.) para cada mês do ano durante o período de 7 anos: maio de 2008 a abril de 2015.

Por fim, foram gerados gráficos com comportamento das variáveis analisadas em escala temporal mensal, cujas análises permitiram compreender o perfil climático do município de Arapiraca.

2.2 Planilhas de Mahoney

Após o tratamento estatístico, as Planilhas de Mahoney foram preenchidas com os dados de Arapiraca (médias mensais do período de maio de 2008 a abril de 2015) quanto à temperatura média máxima, temperatura média mínima, amplitude média, umidade relativa média máxima, umidade relativa média mínima, umidade relativa média, grupo higrométrico, precipitação pluviométrica média, limites de conforto diurno mínimos e máximos, stress térmico diurno, limites de conforto noturno mínimos e máximos e stress térmico noturno, além da maior e da menor temperaturas médias, a temperatura média anual a amplitude térmica média anual e a precipitação pluviométrica anual, conforme requerido pela planilha, a fim de se obter as recomendações construtivas.

2.3 Carta Bioclimática de Givoni

Concomitantemente à fase anterior, foi feita análise com o banco de dados climáticos para se obter o TRY (Ano Climático de Referência), necessário para a utilização no Analysis BIO.

O TRY é identificado a partir de uma metodologia que utiliza somente as temperaturas médias mensais de uma série de anos proposta. Neste caso, de 2009 a 2014. Os bancos de dados climáticos de 2008 e de 2015 não foram considerados por não possuírem todos os meses. Desse modo, organizou-se todas as temperaturas médias mensais do período de 2009 a 2014, baseando-se na metodologia de Tavares (2011), como visto na tabela 1.

Tabela 1 – Temperaturas médias mensais de Arapiraca do período de 2009 a 2014

Ano	Mês											
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
2009	26.41	25.77	26.38	26.12	24.19	23.27	22.71	22.49	25.50	27.36	27.84	26.56
2010	25.66	26.03	26.71	25.79	24.75	23.43	22.33	21.76	22.43	24.61	25.25	26.06
2011	25.55	25.79	27.01	25.17	23.74	22.91	21.82	22.11	22.17	24.31	24.49	25.66
2012	25.43	25.22	25.28	24.98	24.48	23.17	22.02	21.64	22.61	23.66	25.84	26.04
2013	26.61	26.58	26.85	26.00	24.36	23.46	22.48	22.23	23.33	24.64	25.52	25.89
2014	25.32	25.73	26.18	25.89	24.03	23.15	22.36	22.11	23.02	23.62	25.07	25.43

Fonte: Autoria própria

A seguir, foi verificado qual o mês mais quente entre todos os dados disponíveis, assim como o mês mais frio. Observou-se que o mês com a temperatura média mais alta foi novembro de 2009, enquanto que o mês com a temperatura média mais baixa foi agosto de 2012. Estas informações foram anotadas nas duas primeiras colunas da tabela 8 e então estes dois meses foram então eliminados da análise restando apenas 10 meses. O procedimento foi repetido restando apenas 8 meses e assim sucessivamente até que todos os meses do ano fossem selecionados como pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2 – Seleção de meses para determinação do TRY

CONDIÇÃO	ANO	CONDIÇÃO	ANO
Nov mais quente	2009	Nov mais frio	2011
Ago mais frio	2012	Ago mais quente	2009
Out mais quente	2009	Out mais frio	2014
Jul mais frio	2011	Jul mais quente	2009
Mar mais quente	2011	Mar mais frio	2012
Set mais frio	2011	Set mais quente	2009
Jan mais quente	2013	Jan mais frio	2014
Jun mais frio	2011	Jun mais quente	2013
Fev mais quente	2013	Fev mais frio	2012
Mai mais frio	2011	Mai mais quente	**2010**
Dez mais quente	2009	Dez mais frio	2014

Abr mais frio	2012	Abr mais quente	2009

Fonte: Autoria própria

Após a organização das informações dos meses extremos na ordem em que apareciam nas duas primeiras colunas da tabela 2, a condição oposta foi verificada para cada um dos meses encontrados, ou seja, para novembro, que foi selecionado como mês mais quente, foi verificado o novembro mais frio entre todos os dados disponíveis e assim por diante. Estas informações foram anotadas na terceira e quarta colunas da tabela 2.

Utilizando a sequência de 12 pares de meses selecionados e seguindo a ordem em que estes apareceram, o ano ao qual o mês de temperatura extrema pertencia foi eliminado. Assim, como 2009 foi o primeiro ano a aparecer por possuir o mês mais quente (novembro), este ano foi eliminado da escolha do TRY. Em seguida, apareceu 2012 com o mês mais frio (agosto) sendo eliminado também e assim sucessivamente. O último ano a aparecer é determinado como TRY. Neste caso, o ano foi 2010.

Para que pudessem ser utilizados no programa Analysis BIO, os dados deste ano foram tabulados num arquivo único com o programa Microsoft Excel®, convertidos em arquivos no formato CSV e, então, inseridos no Analysis BIO. Este programa determina as estratégias bioclimáticas mais adequadas para cada localidade baseando-se na Carta Bioclimática de Givoni.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

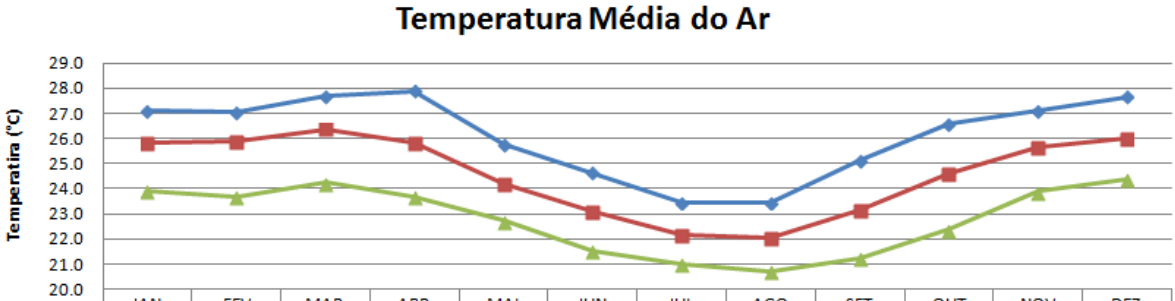
3.1 Análise da caracterização climática de Arapiraca

Abaixo são apresentados os resultados obtidos a partir do tratamento e das análises dos dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação climática automática localizada no município de Arapiraca-AL.

3.1.1 Temperatura do ar

Sabe-se que dentre os elementos climáticos, a temperatura do ar é a que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre a maioria dos processos fisiológicos que ocorrem no ser humano. O gráfico abaixo mostra o comportamento das temperaturas médias, registrados no município de Arapiraca para o período de maio de 2008 a abril de 2015.

Gráfico 1 – Temperatura média do ar



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx.	27.1	27.1	27.7	27.9	25.8	24.6	23.4	23.4	25.1	26.6	27.1	27.7
Méd.	25.8	25.9	26.4	25.8	24.2	23.1	22.2	22.0	23.2	24.6	25.7	26.0
Mín.	23.9	23.7	24.2	23.7	22.7	21.5	21.0	20.7	21.2	22.4	23.9	24.4

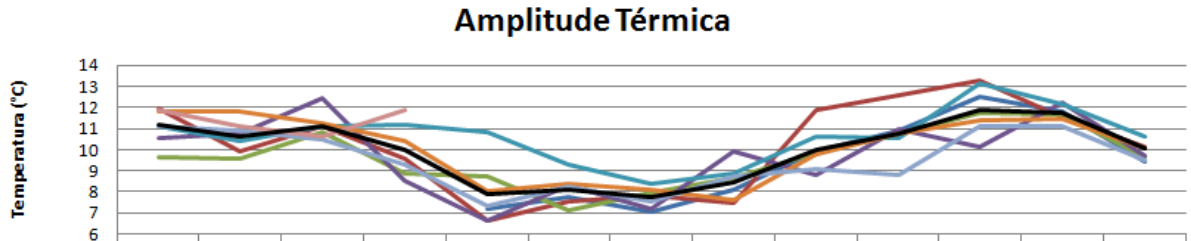
Fonte: Autoria própria.

Analisando o gráfico 1, constataram-se temperaturas mais baixas entre os meses de agosto, julho, setembro e junho, respectivamente, com valores médios mínimos de 20,7°C, 21°C, 21,2°C e 21,5°C. O gráfico 1 mostra ainda que os meses mais quentes foram dezembro, março e abril, respectivamente, os quais apresentaram valores próximos de 28°C. A temperatura média variou entre 22°C e 26,4°C.

3.1.2 Amplitude térmica

O Gráfico 2 mostra a variação da amplitude térmica mensal e a média anual.

Gráfico 2 - Variação da amplitude térmica



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média Anual
2008					7.2	7.8	7.1	8.1	9.9	10.9	12.5	11.8	9.4
2009	11.9	9.9	11.1	9.6	6.6	7.5	7.8	7.5	11.9	12.6	13.3	11.5	10.1
2010	9.6	9.6	10.9	8.9	8.7	7.1	8.0	8.7	9.9	10.8	11.7	11.6	9.6
2011	10.6	10.7	12.4	8.5	6.6	8.3	7.2	9.9	8.8	10.9	10.1	12.2	9.7
2012	11.1	10.4	11.1	11.2	10.8	9.3	8.4	8.8	10.6	10.5	13.1	12.2	10.6
2013	11.8	11.8	11.2	10.4	8.0	8.4	8.1	7.6	9.8	10.7	11.4	11.5	10.1
2014	11.1	10.9	10.4	9.3	7.3	8.3	7.5	8.7	9.1	8.8	11.1	11.1	9.5
2015	11.9	11.1	10.6	11.9									11.4
Média	11.1	10.6	11.1	10.0	7.9	8.1	7.7	8.5	10.0	10.7	11.9	11.7	10.0

Fonte: Autoria própria.

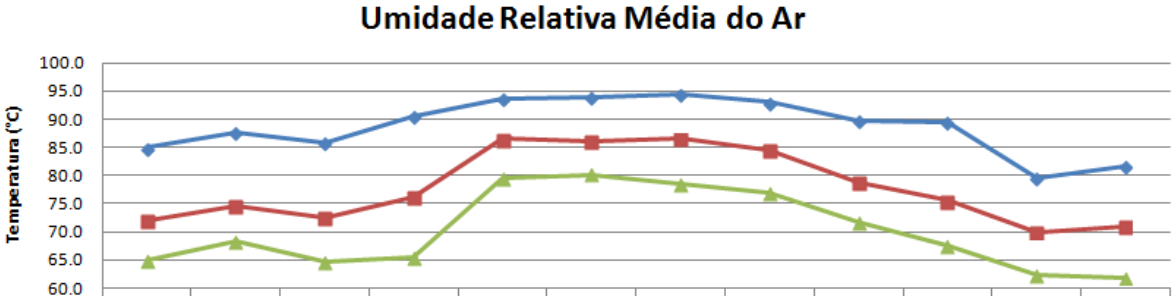
Sabe-se que a amplitude térmica é caracterizada pela diferença entre a maior e a menor temperatura do ar registrada, em um determinado período de tempo. Dessa forma, é possível notar que o gráfico 2 mostra a diferença de amplitude térmica entre os anos, sendo visível que, a partir do mês de julho, há um notável acréscimo no valor da amplitude térmica.

Nos meses de maio, setembro, outubro e novembro, a amplitude média variou de forma significativa ao longo dos 6 anos analisados, mas em geral a amplitude térmica média mensal se manteve entre 8°C e 12°C, com exceção de abril e julho, com médias de 7,9°C e 7,7°C, respectivamente.

3.1.3 Umidade do ar

O gráfico 3 representa os valores de variação da umidade relativa do ar ao longo dos sete anos estudados - maio de 2008 a abril de 2015. Os dados dos meses de maio e junho de 2012 foram ignorados nos cálculos de umidade relativa por apresentarem lacunas que influenciam os resultados obtidos.

Gráfico 3 - Comportamento da variável umidade relativa média do ar



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx.	84.9	87.8	85.9	90.6	93.8	93.8	94.3	93.0	89.8	89.5	79.5	81.6
Méd.	72.0	74.6	72.6	76.1	86.5	86.1	86.5	84.6	78.9	75.6	70.0	71.1
Mín.	64.9	68.3	64.7	65.5	79.4	80.2	78.4	77.0	71.7	67.5	62.4	61.8

Fonte: Autoria própria.

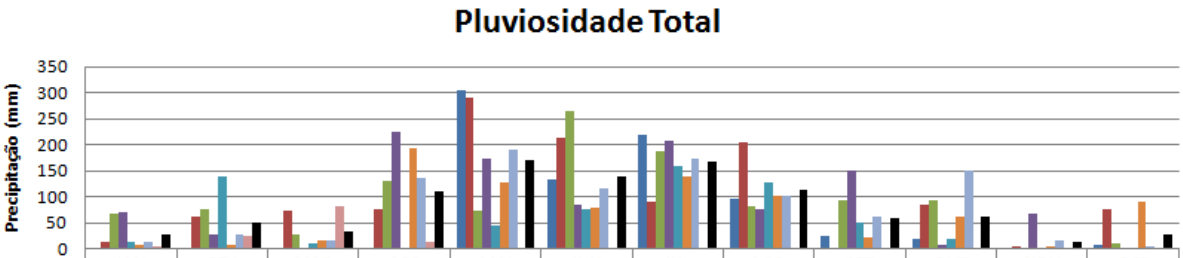
Com base na análise dos dados do gráfico 3, foi possível perceber que o comportamento da umidade relativa do ar apresenta valores mais altos entre os meses de maio a agosto (com percentual de umidade relativa média acima de 80%) e mais baixos no período de novembro e março, período que coincide com altas amplitudes térmicas e baixos valores de precipitação. Outubro pode ser considerado o início da estação seca em (período em que os menores índices de umidade média mínima ficam abaixo dos 70%).

O gráfico mostra ainda que o máximo valor médio de UR foi apresentado no mês de julho com média de 94,3%, enquanto que o mínimo valor médio foi apresentado no mês de dezembro com média de 61,8%.

3.1.4 Pluviosidade

O gráfico abaixo mostra os totais pluviométricos mensais no período de maio de 2008 a abril de 2015.

Gráfico 4 - Comportamento pluviométrico avaliado ao longo dos anos



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2008					304.2	134.8	219.4	97.2	26	20.6	0.6	8.8
2009	12.6	61.0	75.0	75.8	289.0	212.8	90.0	204.6	2.2	84.8	5.4	76.0
2010	68.2	76.6	28.0	131.6	72.6	263.4	187.2	81.0	92.6	93.2	1.2	10.8
2011	71.0	28.2	3.6	226.2	174.8	86.0	207.6	77.8	150.0	8.2	68.4	0.8
2012	15.0	139.0	11.6	0.0	46.2	76.0	159.6	128.4	50.8	18.8	1.6	3.4
2013	7.6	8.0	17.6	194.0	127.4	80.4	139.6	103.0	22.4	62.0	5.2	89.6
2014	14.2	27.2	17.0	136.2	190.4	116.8	174.4	103.6	63.6	150.0	16.0	6.4
2015	4.2	25.6	81.2	13.6								
Média	27.5	52.2	33.4	111.1	172.1	138.6	168.3	113.7	58.2	62.5	14.1	28.0

Fonte: Autoria própria.

Arapiraca mostra-se com uma pluviosidade irregular, onde os totais pluviométricos anuais variam bastante ao longo dos anos. A variação da precipitação pode ser observada no gráfico 4, em que a distribuição das chuvas no município de Arapiraca mostra-se com um regime de chuvas concentradas principalmente nos meses de maio, junho e julho, apresentando valores que chegaram a passar de 300 mm (maio de 2008).

A análise permitiu ainda observar que maio foi o mês mais chuvoso (média de 172,1mm), seguidos do mês de julho (168,3mm) e junho (138,6mm), confirmando a dinâmica regional. Ainda em relação ao gráfico 8, foi possível analisar outras características em relação ao comportamento pluviométrico. Novembro, dezembro, janeiro e março foram os meses que não apresentaram registros de chuvas acima de 100 mm.

3.2 Recomendações construtivas e urbanísticas a partir das Planilhas de Mahoney

Em seguida, foi realizada a verificação das recomendações construtivas para Arapiraca segundo as Planilhas de Mahoney, conforme os quadros 1, 2, 3, 4, 5 e 6 abaixo:

1 – Quanto às características climáticas da região:

Quadro 1 – Características climáticas da região

	Mês		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
1	Temperatura Média Máx. (Tx)		32,6	32,3	33,0	31,9	29,0	28,0	26,8	27,0	29,1	31,1	32,8	33,1	→	33,1	$T_{máx}$
10	Limites de conforto diurno	mín	23	23	23	22	22	22	22	22	22	23	23	23			
		máx	29	29	29	27	27	27	27	27	27	29	29	29		↓	
11	*Stress* térmico diurno		Q	Q	Q	Q	Q	Q	C	C	Q	Q	Q	Q			
2	Temperatura Média Mín (Tn)		21,4	21,7	21,9	22,0	21,1	19,9	19,1	18,6	19,1	20,3	20,9	21,4	→	18,6	$T_{mín}$
12	Limites de conforto noturno	mín	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		↓	
		máx	23	23	23	22	22	22	22	22	22	23	23	23		25,8	TMA
13	*Stress* térmico noturno		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		↓	
3	Amplitude Média Mensal = Tx – Tn		11,1	10,6	11,1	10,0	7,9	8,1	7,7	8,4	10,0	10,8	11,9	11,7		14,5	AMA
4	Umidade Relativa Média Máx (URx)		94,9	95,4	94,9	95,3	96,2	96,0	96,8	96,6	95,1	93,9	92,1	94,2			
5	Umidade Relativa Média Mín (URn)		41,0	43,7	41,8	47,8	59,8	59,9	62,3	58.7	50,2	45,8	38,7	38,9			
6	Umidade Relativa Média (UR)		67,9	69,5	68,3	72,5	78,0	77,9	79,5	77,6	72,6	69,8	65,4	66,5			
7	Grupo Higrotérmico (GH)		3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3			
8	Precipitação Pluviométrica Média		27,5	52,2	33,4	111,1	172,1	138,6	168,3	113,7	58,2	62,5	14,1	28,0		979.7	PPA
9	Direção dos ventos	dominantes															
		secundários															

TMA: Temperatura Média Anual = $T_{máx} + T_{mín} / 2$

AMA: Amplitude Térmica Média Anual = $T_{máx} - T_{mín}$

PPA: Precipitação Pluviométrica Anual = **Σ Precipitação Pluviométrica Média Mensal**

Quadro 2 – Diagnóstico – Carta de limites de conforto

UR (%)	GH	TMA ≤ 15° C		15° < TMA < 20° C		TMA ≥ 20° C	
		Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
< 30	1	21-30	12-21	23-32	14-23	26-34	17-25
30 – 50	2	20-27	12-20	22-30	14-22	25-31	17-24
50 – 70	3	19-26	12-19	21-25	14-21	23-29	17-23
> 70	4	18-24	12-18	20-25	14-20	22-27	17-22

Quadro 3 – Classificação do Stress Térmico

Stress térmico	
intervalo	sensação
< limite de conforto	F (*frio*)
Dentro do limite de conforto	C (*confortável*)
> limite de conforto	Q (*quente*)

2 – Quanto aos indicadores climáticos:

Quadro 4 – Classificação dos Indicadores

Indicador	*Stress* térmico	GH	A.M.M.	Chuva
H1	Q_{DIURNO}	4		
	Q_{DIURNO}	2/3	< 10°C	
H2	C_{DIURNO}	4		
H3				> 200 mm
A1		1/2/3	> 10°C	
A2	$Q_{NOTURNO}$	1/2		
	$Q_{DIURNO}/C_{NOTURNO}$	1/2	> 10°C	
A3	$F_{DIURNO}/F_{NOTURNO}$			

Quadro 5 – Indicadores

	Característica principal	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
H1	A VENTILAÇÃO é essencial				X	X	X			X			
H2	A VENTILAÇÃO é desejável							X	X				
H3	Proteção contra CHUVA												
A1	INÉRCIA TÉRMICA	X	X	X							X	X	X
A2	Área para dormir ao AR LIVRE												
A3	Proteção contra o FRIO												

O Quadro 5 apontou que a maior quantidade de meses encontra-se classificada no indicado A1 (6 meses), seguido do indicador H1 (4 meses) e, por fim, do indicador H2 (2 meses). O resultado apresenta-se coerente, haja vista que os meses o período de outubro a março corresponde aos meses mais quentes do ano na cidade, e os meses de julho e agosto aos meses mais frios.

Esse resultado foi transposto para o Quadro 6, no qual foi possível identificar as recomendações arquitetônicas.

Quadro 6 – Recomendações construtivas

TOTAL DE INDICADORES						RECOMENDAÇÕES ARQUITETÔNICAS
ÚMIDO			ÁRIDO			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
4	2	-	6	-	-	
1. TRAÇADO OU IMPLANTAÇÃO						
			0 a 10			1.1 Edifícios orientados segundo eixo longitudinal Leste-Oeste (fachadas principais com orientação Norte-Sul), a fim de reduzir a exposição ao Sol.
			11 ou 12		5 a 12	
					0 a 4	1.2 Plantas compactas com pátios internos.
2. ESPAÇAMENTO ENTRE CONSTRUÇÕES						
11 ou 12						2.1 Grandes espaçamentos para favorecer a penetração do vento.
2 a 10						2.2 Como acima, mas com proteção contra vento quente ou frio.
0 ou 1						2.3 Distribuição compacta.
3. CIRCULAÇÃO DE AR						
3 a 12						3.1 Edifícios com orientação simples, aberturas que permitam circulação de ar permanente: ventilação cruzada.
1 ou 2			0 a 5			
			6 a 12			3.2 Edifícios com orientação dupla, circulação de ar cruzada, aberturas de ar controláveis.
0	2 a 12					
	0 ou 1					3.3 Basta renovação higiênica do ar.
4. DIMENSÕES DAS ABERTURAS						
			0 ou 1		0	4.1 Grandes: 40% a 80% das fachadas correspondentes à direção predominante do vento.
					1 a 12	4.2 Médias: 25% a 40% da superfície das paredes.
			2 a 5			
			6 a 10			4.3 Intermediárias: 20% a 35% da superfície das paredes.
			11 ou 12		0 a 3	4.4 Pequenas: 15% a 25% da superfície das paredes.
					4 a 12	4.5 Médias: 25% a 40% da superfície das paredes.
5. POSIÇÃO DAS ABERTURAS						
3 a 12						5.1 Abertura nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento.
1 ou 2			0 a 5			
			6 a 12			5.2 Como acima, mas também nas paredes internas.
0	2 a 12					
6. PROTEÇÃO DAS ABERTURAS						
					0 a 2	6.1 Proteger da insolação direta.
		2 a 12				6.2 Proteger da chuva.
7. PAREDES E PISOS						
			0 a 2			7.1 Construções leves, baixa inércia térmica.
			3 a 12			7.2 Construções maciças, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas.

8. COBERTURA						
10 a 12			0 a 2			8.1 Leve (pouca inércia), superfície refletora, uso câmara de ar.
			3 a 12			8.2 Leve e bem isolada.
0 a 9			0 a 5			
			6 a 12			8.3 Maciça, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas.
9. ESPAÇOS EXTERIORES						
				1 a 12		9.1 Espaço para dormir ao ar livre.
		1 a 12				9.2 Adequada drenagem para a chuva.
		3 a 12				9.3 Proteção contra chuvas violentas.

As recomendações construtivas de acordo com os indicadores são as seguintes:

Quadro 7 – Quadro síntese das recomendações construtivas e urbanísticas segundo a Planilha de Mahoney para a cidade de Arapiraca-AL

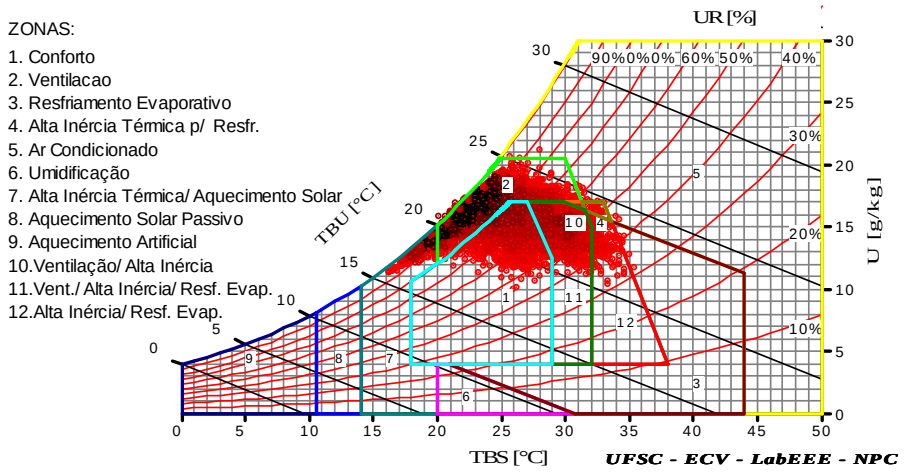
Parâmetros		**Recomendações**
1.	**Traçado ou implantação**	Os edifícios devem ser orientados segundo eixo longitudinal Leste-Oeste, com as fachadas principais na orientação Norte-Sul, a fim de reduzir a exposição ao Sol.
2.	**Espaçamento entre construções**	Os edifícios devem prever grandes espaçamentos entre si, mas com proteção contra vento quente ou frio.
3.	**Circulação de ar**	Edifícios com orientação simples, com aberturas que permitam circulação de ar permanente favorecendo a ventilação cruzada.
4.	**Dimensão das aberturas**	As aberturas devem ser intermediárias, com área equivalente entre 20% a 35% da área da fachada, nas fachadas voltadas à direção predominante do vento.
5.	**Posição das aberturas**	Abertura nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento.
6.	**Proteção das aberturas**	As aberturas devem ser protegidas da insolação direta.
7.	**Paredes e pisos**	As construções devem ser maciças, com tempo de transmissão térmica superior a 8 horas.
8.	**Cobertura**	A cobertura da edificação deve ser leve e bem isolada.

Fonte: Autoria própria

3.3 Estratégias bioclimáticas indicadas pelo programa Analysis BIO

Os dados climáticos horários de 2010 foram inseridos no software Analysis BIO gerando a carta bioclimática abaixo:

Figura 1 - Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis BIO (LABEEE, 2007) com dados do TRY (2010) para a cidade de Arapiraca



Fonte: Analysis BIO

As principais estratégias bioclimáticas a serem utilizadas de acordo com o relatório gerado pelo programa para a cidade de Arapiraca podem ser vistas na tabela 3:

Tabela 3 – Estratégias bioclimáticas indicadas pelo programa Analysis BIO para a cidade de Arapiraca-AL

INDICAÇÕES / ESTAÇÃO	PARA CALOR				PARA FRIO
	VENTILAÇÃO	ALTA INÉRCIA P/ RESFR.	RESFR. EVAPORATIVO	AR CONDICIONADO	ALTA INÉR. TÉRM./ AQUEC. SOLAR
PRIMAVERA	71.50%	24.50%	24.40%	0.05%	3.61%
VERÃO	81.10%	29.40%	28.60%	0.32%	0.00%
OUTONO	91.10%	14.80%	13.90%	0.36%	0.27%
INVERNO	49.10%	0.23%	0.23%	0.00%	20.70%

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que as estratégias mais indicadas são ventilação, resfriamento evaporativo e alta inércia para resfriamento. Todas estas estratégias são indicadas para praticamente todo o ano com um percentual relativamente alto. As outras estratégias sugeridas também podem ser consideradas pelo projetista, porém, devido ao predomínio do clima quente, as estratégias recomendadas para o frio possuem um percentual de indicação muito baixo, logo as estratégias sugeridas para o calor serão mais eficientes.

A ventilação é a principal estratégia indicada. Isso se deve ao fato do clima das cidades ser quente durante todo o ano. A ventilação cruzada é importante por resfriar o ambiente por meio do processo de convecção.

Já a massa térmica para resfriamento e o resfriamento evaporativo reduzem as diferenças de temperaturas entre o dia e a noite devido à alta inércia térmica da massa térmica para resfriamento e na água utilizada no

resfriamento evaporativo. São estratégias indicadas para Arapiraca devido a sua continentalidade, isto é, o fato de a cidade estar relativamente distante do mar ou grandes porções de água resulta em uma maior amplitude térmica durante o dia devido à umidade mais baixa do ar.

Munidos das recomendações obtidas por meio das Planilhas de Mahoney e do Analysis BIO, os projetistas da região podem fazer uso das mesmas para melhorar a qualidade de suas edificações.

4 CONCLUSÃO

Com base no estudo das características e das variantes climatológicas locais é possível observar que a cidade de Arapiraca possui um clima composto basicamente de duas estações, que podem ser descritas como: úmida, período em que as temperaturas do ar são menos elevadas, a umidade relativa do ar é alta e a amplitude térmica apresenta pequena variação entre o período noturno e diurno; e seca, quando as temperaturas atingem níveis relativamente altos, a umidade do ar é menor e a amplitude térmica entre o período noturno e diurno é significativamente alta.

Por meio da análise obtida pelas Planilhas de Mahoney, observa-se que o clima de Arapiraca (incluindo dia e noite) dentro do limite de conforto é de 58,3%, isto é, durante 58,3% do tempo os edifícios da cidade não precisam de energia para que o clima natural promova um ambiente construído interno confortável. Este índice relativamente alto de conforto é resultado do período noturno, cujo está 100% do tempo em conforto. Se analisado apenas o período diurno, 83,3% do tempo foi de desconforto por calor.

A relação de desconforto por calor é de 41,7%, ocorrendo apenas durante o dia, de setembro a junho. Ou seja, durante este período, o clima de Arapiraca não pode promover um ambiente construído interno confortável sem gasto de energia. Desta forma, as exigências construtivas para Arapiraca indicadas pelas tabelas de Mahoney tem apenas estratégias de resfriamento passivo. Arapiraca não apresentou desconforto por frio.

Contudo, as planilhas de Mahoney têm certas limitações. "A desvantagem do Método de Mahoney Tradicional está na inadequação desse método para análise em regiões com características transitórias" (SENA, 2004). O clima de Arapiraca é quente, de modo que seus habitantes não apenas tem certa adaptação ao calor, como também tem menos tolerância no ambiente frio. Logo, pode haver algum erro para a avaliação do inverno em que o desconforto por frio pode ser maior que o 0% sugerido.

Esta observação se confirma quando verificadas as estratégias sugeridas pelo programa Analysis BIO, que indica estratégias para o frio, embora em baixo percentual. A maioria das estratégias tem por fim diminuir o calor.

Esta pesquisa alcançou seu objetivo de traçar estratégias bioclimáticas para o município de Arapiraca, podendo as recomendações serem utilizadas como embasamento para profissionais que pretendam projetar de acordo com a bioclimatologia. Porém, deve-se repetir este trabalho quando uma

quantidade maior de dados estiver disponível a fim de se obter resultados mais fieis à realidade.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

BOGO, A. PIETROBON, C. E. BARBOSA, M.J. GOULART, S. PITTA, T. LAMBERTZ, R. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Núcleo de Pesquisa em Construção - Departamento de Engenharia Civil. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico.** Relatório. Santa Catarina, 1994. Disponível no endereço eletrônico <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf>. Acesso em 07 de outubro de 2013.

CORREIA, Wevila Fontes Brandão; BARBIRATO, G. M. **Arquitetura e clima no contexto do Semiárido Nordestino: Respostas construtivas com vistas ao conforto térmico e eficiência energética.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12. Brasília, 2013. Anais... Brasília: 2013 (CD-ROM). 1972 p.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arapiraca**: Informações completas. Disponível em: < http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=270030&search=alagoas|arapiraca >. Acesso em: 20 mar. 2016.

PASSOS, I. C. S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas : estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.** 2009. 173 f. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L. **Contribuição da vegetação e permeabilidade do solo para o ambiente térmico em avenidas de fundo de vale**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11. Búzios, 2011. Anais... Búzios: ANTAC, 2011 (CD-ROM).-619.

SENA, C. B. **Análise comparativa entre o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima no projeto arquitetônico** / C.B. Sena. – São Paulo, 2004. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2004.

TAVARES, L. R. **Eficiência Energética em Edificações: Aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – na cidade de Uberlândia-MG**. Brasília, 2011. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ILUMINAÇÃO NATURAL POR ZENITAIS DO TIPO *SHED*: ESTUDO EM MODELOS REDUZIDOS[1]

FLORES, Tatiana D. (1); TORRESCASANA, Carlos Eduardo N. (2); COSTELLA, Marcelo F. (3); MIGOTT, Adriana F. (4)

(1) UNOCHAPECÓ, e-mail: tatianaflores@unochapeco.edu.br; (2) UNOCHAPECÓ, e-mail: ctorres@unochapeco.edu.br; (3) UNOCHAPECÓ e IMED, e-mail: costella@unochapeco.edu.br; (4) UNOCHAPECÓ, e-mail: adriana.migott@unochapeco.edu.br

RESUMO

A iluminação natural visa satisfazer às necessidades humanas, funcionais e ambientais do espaço construído através de eficiência energética. Nos dias atuais acresceu uma nova necessidade para utilização da iluminação natural, a importância da redução do consumo energético. Neste contexto, o trabalho apresenta duas propostas arquitetônicas de zenitais: tipo *shed* comum e *shed* europeu, buscando identificar o sistema zenital mais eficaz quanto à capacidade de iluminação e manutenção de ambientes internos mais confortáveis. Para concretização do projeto foram construídos modelos em escala reduzida. A partir destes foi feita a coleta de dados de iluminância no decorrer de três meses em horários determinados. A partir dos dados coletados realizou-se a análise dos mesmos, de modo que é possível afirmar que o sistema zenital tipo *shed* europeu foi o sistema mais eficiente quanto à iluminância, pois obteve, aproximadamente, 120% mais iluminância quando direcionado ao Norte às 18 horas. A fim de avaliar a economia de energia elétrica gerada por cada um, foram realizados cálculos luminotécnicos, onde se percebeu que a economia de energia elétrica gerada pelos modelos zenitais tipo *shed* se aproxima de 35%.

Palavras-chave: Iluminação natural. Conforto térmico. Sistema zenital tipo shed.

ABSTRACT

Natural lighting seeks to meet the human, functional and environmental requirements of built spaces through energy efficiency. Today there is a new reason to use natural lighting: the importance of reducing energy consumption. In this context, this work presents two architectural proposals for zenithal lighting: the common shed type and the European shed type, seeking to present the most efficient zenithal system regarding lighting capacity and the maintenance of more comfortable internal environments. Two reduced scale models were constructed to execute the project. The lighting data was gathered based on these models for three months at certain times. The gathered data was analyzed, which enabled the conclusion that the European shed-type system was the most efficient system regarding lighting, as it obtained approximately 120% more illuminance when faced to the north at 18 hours. In order to evaluate the electric power savings generated by each system, luminotechnical calculations were carried out, which revealed that the electric power savings generated by the zenithal shed type systems approached 35%.

Keywords: *Natural lighting. Thermal comfort. Skylight roof system.*

[1] FLORES, Tatiana D; TORRESCASANA, Carlos Eduardo N.; COSTELLA, Marcelo F.; MIGOTT, Adriana F. Iluminação natural por zenitais do tipo *shed*: Estudo em modelos reduzidos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa foi elaborada visando apresentar propostas arquitetônicas eficientes e economicamente viáveis para obtenção de iluminação natural em ambientes de trabalho no qual a iluminação natural é prejudicada devido à impossibilidade de aberturas laterais suficientes, falta esta que ainda causa desconforto térmico no ambiente.

A luz natural é uma fonte de energia importante para o homem, pois é ela que proporciona visão nítida para desenvolver suas atividades. O ser vivo depende da exposição à luz natural para ativar o ciclo de funções fisiológicas. Segundo Linhares (2010), a luz natural proporciona melhores condições de trabalho, pois promove percepções de objetos pela cor e contrastes naturais, sendo a única fonte de luz que responde completamente às exigências do sistema visual humano.

Existem diferentes tipos de aberturas zenitais que podem ser utilizadas como solução de projeto favorável para melhoria da qualidade, quantidade de iluminação e ventilação em ambientes internos. O sistema zenital tipo *shed* é fundamental para garantir o conforto térmico no ambiente, pois o mesmo permite controle da luz e da carga térmica. Este tipo de cobertura é muito utilizado em pavilhões industriais para que se tenha um ambiente agradável de trabalho.

O uso de modelos reduzidos propicia a visualização da entrada de iluminação natural através das aberturas zenitais podendo avaliar, a partir da coleta de dados, a eficiência dos sistemas zenitais tipo *shed*. Portanto, este projeto de pesquisa consiste em avaliar os dados coletados a partir de simulação com modelos reduzidos para identificar o sistema mais eficiente quanto à obtenção de iluminação natural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Iluminação natural

As crescentes necessidades surgidas nos últimos anos, relacionadas aos aspectos ambientais do espaço construído, vêm abrindo caminhos cada vez mais direcionados ao uso dos recursos naturais, como aproveitamento de radiação solar e ventilação natural. A luz natural, proveniente da radiação solar, utilizada de forma direta ou difusa, é um importante quesito para atingir maior qualidade ambiental, conforto, eficiência energética e a consequente sustentabilidade nos espaços construídos (AMORIM, 2007).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2013), a iluminação natural é um aspecto muito importante a ser considerado no projeto de arquitetura. É relativamente fácil adaptar um edifício às necessidades de conforto visual em um ambiente com a iluminação artificial. Contudo, as soluções adotadas certamente incrementam os gastos com energia elétrica, manutenção e equipamentos, além de, na maioria das vezes, se tornarem mais um adendo ao projeto que propriamente uma solução integrada às outras

características e conceitos bioclimáticos considerados. A iluminação artificial pode e deve ser pensada também, mas o grande diferencial do profissional projetista está justamente no bom projeto de iluminação natural.

O planejamento da captação da iluminação natural precisa ser criterioso. Se um espaço de trabalho requer uma iluminação média de 500 lux, por exemplo, e metade do espaço tem sombras e a outra metade tem alta iluminância, mesmo que o resultado médio esteja em conformidade com as recomendações, outros fatores precisam ser abordados. Um projeto adequado deve eliminar zonas com sombra simultânea e luz solar direta, evitando assim o contraste visual e favorecendo condições visuais uniformes (HENRIQUES; DUARTE; LEAL, 2012).

2.2 Aberturas zenitais

A iluminação zenital é conceituada, segundo a norma NBR 15215-1 (ABNT, 2004a), como a porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos. As aberturas zenitais possuem enorme capacidade em captar a radiação luminosa, quer do sol, quer da abóbada celeste. Em termos de conforto luminoso, a iluminação zenital é adequada e apresenta grande funcionalidade ao ser utilizada em espaços com grande profundidade como em edifícios de escritórios, bancos, museus, bibliotecas e centros comerciais (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

De acordo com Amorim (2007), o tipo de aberturas zenitais, sua forma e inclinação irão condicionar a distribuição de luz natural, sua quantidade e qualidade (direta ou difusa) e os ganhos térmicos da edificação. De maneira geral, os zenitais com superfícies iluminantes horizontais apresentam maiores ganhos térmicos e maior possibilidade de ofuscamento por reflexão, permitindo a entrada de luz direta. Os zenitais do tipo lanternim, *shed* ou dente de serra apresentam maiores vantagens do ponto de vista do controle da luz natural.

2.3 *Sheds*

Em se tratando de componentes de iluminação zenital, os sheds constituem uma tipologia bastante comum em espaços industriais. Segundo definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004a), tratam-se de um tipo de cobertura formada por uma série de superfícies paralelas inclinadas com aberturas verticais ou inclinadas num dos lados que permitem a entrada zenital de luz natural.

Recomenda-se, para o caso brasileiro, que entre as latitudes de 24º e 32º S sejam orientados para sul para o aproveitamento da luz difusa em quase a totalidade do ano, com exceção do mês de dezembro. São uma boa solução em climas quentes, pois permitem um melhor controle da luz e carga térmica. Devem ser, no entanto, orientados corretamente, ter

proteção solar e, possivelmente, possuir lamelas para auxiliar na difusão de luz (GARROCHO; AMORIM, 2004).

Chen et al. (2014) investigaram a distribuição de iluminação natural (ganha através de janelas, *sheds* e claraboias) no interior de um grande edifício industrial, tendo identificado que mais de 33,3% da área da fábrica satisfaz aos requisitos padrão de iluminação para espaços de trabalho num dia ensolarado, sem utilização de iluminação artificial. Utilizando o software de simulação EnergyPlus, concluíram que o potencial de economia de energia elétrica através do uso de um sistema de control integrado entre iluminação artificial e iluminação natural pode chegar a 41,5%.

2.4 Modelos físicos reduzidos

O uso de modelos físicos reduzidos é um dos métodos mais antigos de avaliação da iluminação natural. Este é um instrumento preciso, caso o modelo seja executado de forma correta, considerando-se que a propagação da luz segue os mesmos princípios tanto em um modelo físico reduzido, como em um edifício em escala real. Através deste instrumento, torna-se possível testar as diversas soluções em busca da eficiência energética e do conforto visual. Para alcançar resultados confiáveis é recomendável medir a iluminância dos mesmos sob diversas condições de céu, para que desta forma seja possível avaliar o desempenho médio da iluminação natural por um longo período(PEREIRA, 2006).

3 METODOLOGIA

Para análise das reais diferenças de iluminação natural em pavilhões com abertura zenital tipo *shed* comum e tipo *shed* europeu foram construídos modelos reduzidos seguindo as especificações da norma NBR 15215-4 (ABNT, 2004b) para coleta de dados e estudo comparativo. Posteriormente, foram feitos cálculos luminotécnicos para avaliar a economia da escolha do sistema construtivo.

3.1 Características e fabricação dos modelos

Os modelos dos pavilhões industriais foram construídos em escala geométrica 1:40 com as seguintes dimensões (Tabela 1):

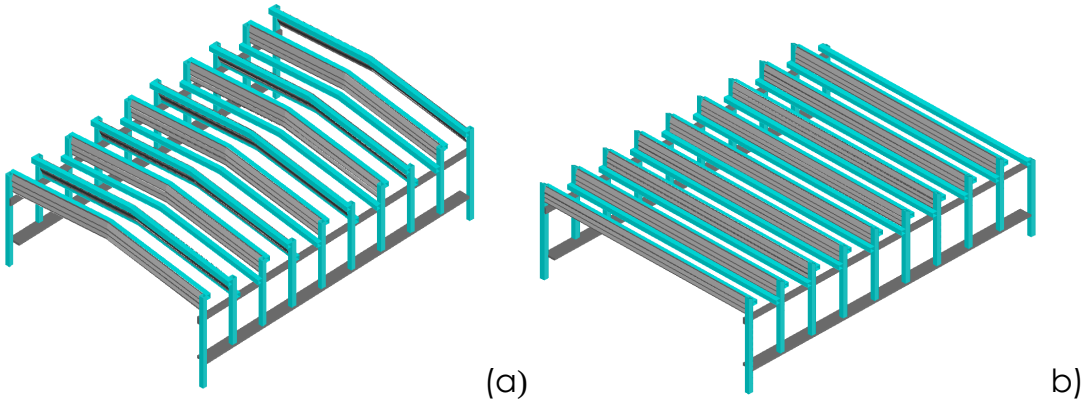
Tabela 1 – Características do protótipo e do modelo

Dimensão	Protótipo (m)	Modelo (m)
Largura	40	1
Comprimento	54	1,35
Pé direito livre	7	0,175
Inclinação *shed* comum	28°	28°
Inclinação *shed* europeu	6°	6°

Fonte: Elaboração dos autores

A perspectiva do projeto utilizado para fabricação dos modelos pode ser verificada na Figura 1, sendo que também foi feito o detalhamento das peças e o diagrama de montagem.

Figura 1 – Perspectiva dos modelos *shed* europeu (a) e *shed* comum (b)

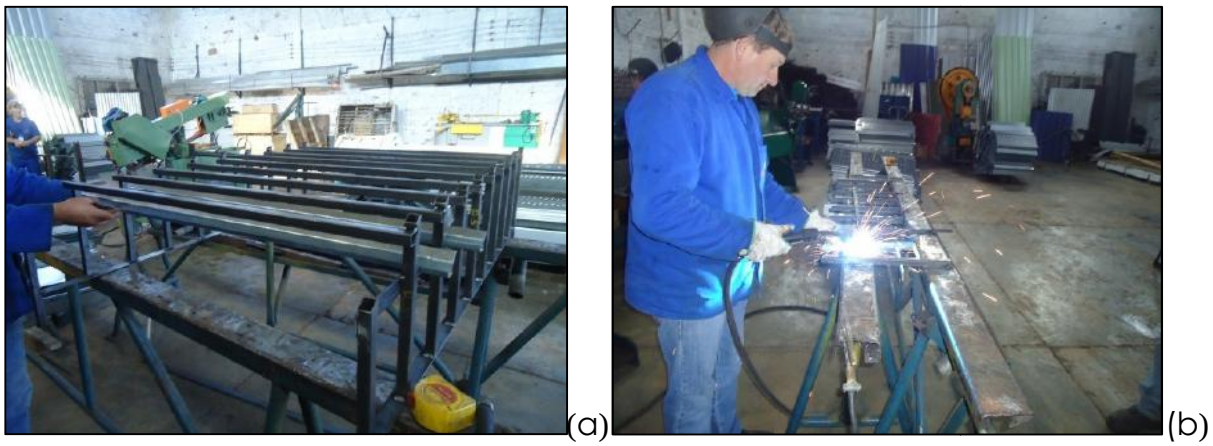


(a) b)

Fonte: Elaboração dos autores

Para fabricação dos modelos foram realizados procedimentos de corte, dobra, montagem, solda, limpeza manual da superfície e pintura. Podem ser verificados nas Figuras 2 e 3.

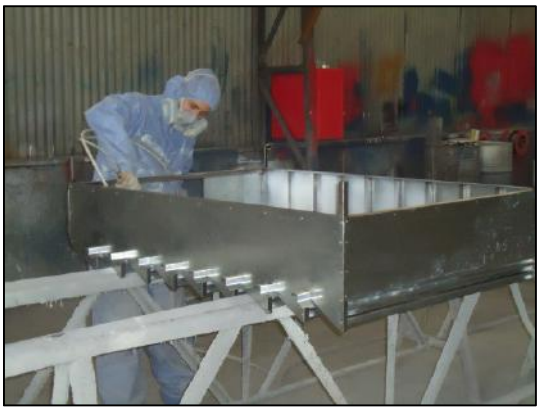
Figura 2 – Procedimentos de solda (a) e de montagem (b) dos modelos



(a) (b)

Fonte: Elaboração dos autores

Figura 3 – Fabricação: limpeza da superfície (a) e pintura (b)

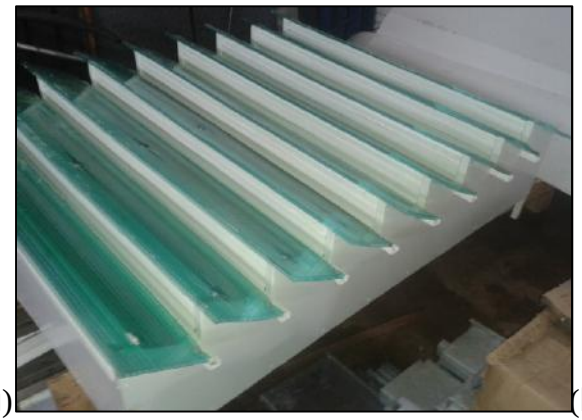

(a)

(b)

Fonte: Elaboração dos autores

A Figura 4 apresenta os modelos finalizados, tendo como etapa final do processo de fabricação a fixação das telhas de policarbonato (e=10 mm).

Figura 4 – Modelos finalizados: *shed* europeu (a) e *shed* comum (b)


(a)

(b)

Fonte: Elaboração dos autores

3.2 Material utilizado para coleta de dados

Para coleta de dados de iluminância foi utilizado um luxímetro MLM 1011, display LCD 3.1/2", com faixas de leitura de 2.000, 20.000 (leitura X10), 100.000 lux (leitura X100), com sensor de fotodiodo de silício separado do corpo do aparelho.

3.3 Coleta de dados

Com os modelos finalizados, estes foram deslocados para um lote localizado no centro de São Carlos - SC (Figura 5) e locados de forma a ambos estarem submetidos às mesmas condições de iluminação.

As medições foram realizadas em três horários: 7 horas, 12 horas e 18 horas, no decorrer de três meses, nos quais foram coletados dados durante dez dias para cada direção, sendo que os modelos foram direcionados ao Norte, Sul,

Leste e Oeste, e expostos a variadas condições de calor e iluminação. Destaca-se que não foi feita coleta de dados em dias chuvosos.

Figura 5 – Localização inicial dos modelos



Fonte: Elaboração dos autores

As primeiras coletas de dados foram realizadas no mês de agosto com os modelos direcionados ao Norte, como mostra a Figura 5. Foi tomado como base para direcionar os modelos as venezianas do *shed* comum, que no caso da Figura 5 estão direcionadas ao Norte.

Todos os dados coletados foram registrados, de forma a constar a direção, horário, data e iluminância de cada modelo, e do ambiente externo. A Figura 6 apresenta a planilha onde foram registrados os dados coletados.

Figura 6 – Planilha de coleta de dados

DATA	HORARIO	DIREÇÃO	ILUMINAÇÃO	ILUMINAÇÃO	ILUMINAÇÃO
			SHED COMUM (LUX)	SHED EUROPEU (LUX)	AMBIENTE (LUX)
	07:00				
	12:00				
	18:00				
	07:00				
	12:00				

Fonte: Elaboração dos autores

A coleta de dados foi feita do início de agosto até meados de outubro, onde se teve a passagem do inverno para a primavera. Pode-se observar que ao longo do período de coleta de dados ocorreram mudanças nas iluminâncias levantadas, conforme a rotação da terra se dá na troca das estações do ano ocasionando a mudança de posicionamento do sol demonstrando assim pequenas variações nos dados levantados.

3.4 Iluminância e cálculo luminotécnico

A classe de tarefas visuais e iluminância adequada foram determinadas através da NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) para áreas de trabalho em

indústria. Considerando atividade industrial de corte, acabamento e inpeção, a iluminância ideal é de 750 lux na área de trabalho.

3.4.1 Cálculo luminotécnico

Para determinação do número de luminárias foi empregada metodologia simplificada de cálculo, através da adoção do método dos lumens, com as seguintes etapas e considerações:

- Cálculo do índice local (K), que considerou comprimento e largura do local, assim como a distância entre luminárias e o plano de trabalho;
- Determinação do fator de utilização (η), que considerou que o local em estudo tenha teto e parede médios e piso escuro, obtendo-se as refletâncias de 50%, 30% e 10%. Em função do índice local (K) e dos índices de reflexão, determinou-se o fator de utilização (η), considerando a utilização de Luminárias Fluorescentes TLTRS110W-ELD-NG, com fluxo luminoso 7600;
- Fator de depreciação (*d*), que considerou para cálculo ambiente sujo e manutenção a cada 7.500h.

A quantidade de luminárias foi determinada considerando para cálculo o fator de manutenção (FM) para ambiente sujo (0,57). Desta forma para obter uma iluminação adequada para o ambiente em estudo são necessárias 275 luminárias fluorescentes de 110W. O cálculo luminotécnico foi feito com as dimensões reais do modelo.

A fim de verificar se a diferença de iluminação natural recebida pelos modelos ocasiona uma economia considerável de energia elétrica, fez-se o cálculo luminotécnico com as médias de iluminância dos dados coletados às 18 horas, no qual se obtiveram níveis de iluminância mais baixos. Os cálculos foram feitos de forma a obter o número de luminárias que poderiam ficar desligadas neste horário, atendendo aos níveis de iluminância adequada para o ambiente.

As análises de iluminância foram feitas através das médias dos dados coletados de acordo com a direção dos modelos. Foram elaborados gráficos de acordo com o horário e da coleta de dados, a fim de identificar a variação de iluminância nas quatro direções em que os mesmos foram submetidos, Norte, Sul, Leste e Oeste.

Para cada modelo reduzido e nas quatro direções que os mesmos foram direcionados foi realizado o cálculo do número de luminárias, com objetivo de verificar a quantidade de luminárias que não precisará estar em uso às 18 horas, horário no qual se obteve as médias mais desfavoráveis de luz natural.

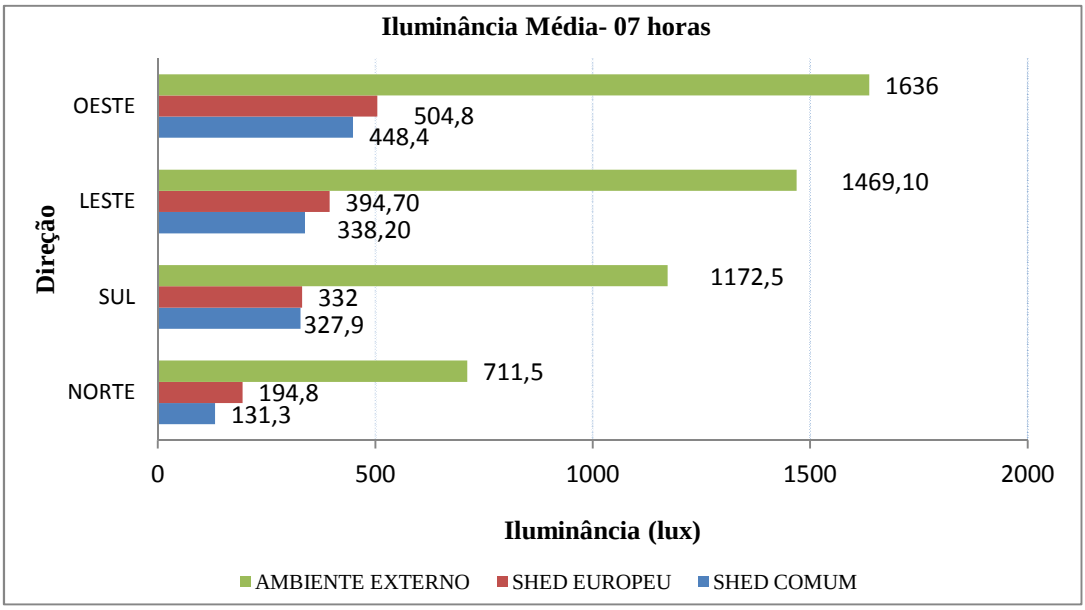
4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Análise de iluminância

Na maioria dos casos o *shed* europeu alcançou níveis mais altos de iluminação natural, independente da hora do dia, sendo que o *shed* comum obteve maior iluminação apenas quando posicionado ao Sul, às 12 e às 18 horas. As maiores diferenças de iluminação entre os modelos ocorreram quando estes foram direcionados ao Norte e Sul às 12 horas.

O gráfico de iluminância apresentado na Figura 7 foi elaborado de acordo com as médias obtidas através dos dados coletados às 07 horas no decorrer de 10 dias, com os modelos direcionados ao Norte.

Figura 7 – Iluminância média às 07 horas



Fonte: Elaboração dos autores

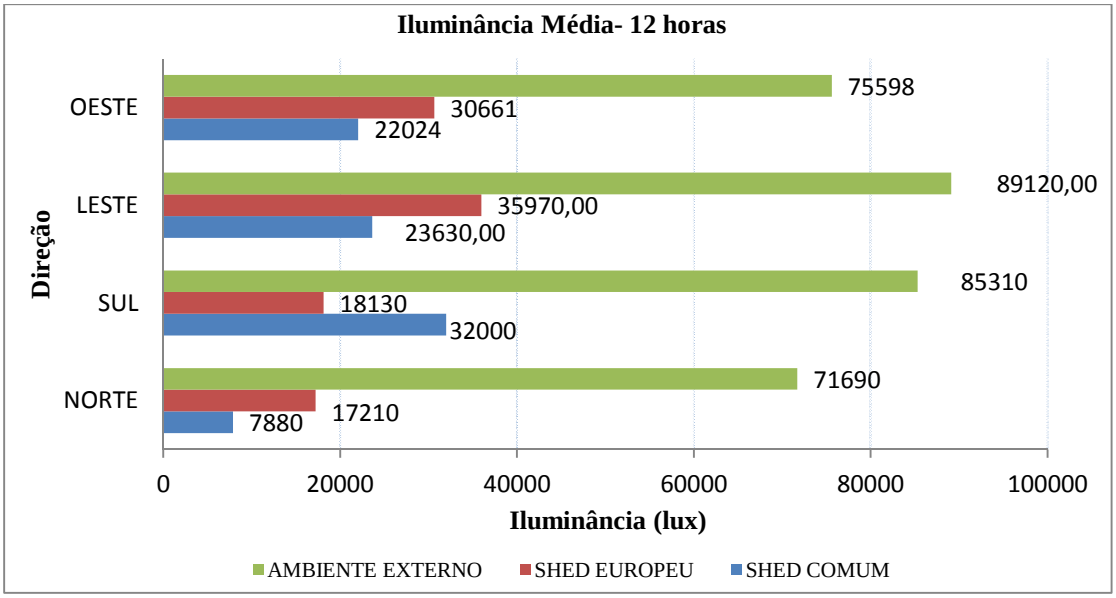
Observando o gráfico apresentado na Figura 7 pode-se verificar que independente da direção dos modelos o *shed* europeu obteve maior iluminância, sendo que quando posicionados ao Sul a iluminância obtida foi relativamente próxima à do *shed* comum. Nota-se também que a iluminância recebida pelos modelos chega a aproximadamente 30% da iluminância do céu.

A Figura 8 demonstra um comparativo de iluminância através dos dados coletados às 12 horas, na qual pode-se verificar que o *shed* europeu obteve mais iluminância às 12 horas em três casos, quando direcionado ao Norte, Leste e Oeste, assim o *shed* comum obteve maior iluminância apenas quando direcionado ao Sul.

As maiores diferenças de iluminância entre os modelos ocorreram quando direcionados ao Norte e Sul, onde o *shed* europeu chegou a obter

aproximadamente120% mais iluminação quando posicionado ao Norte, e o *shed* comum aproximadamente 80% mais iluminância quando posicionado ao Sul. A iluminância recebida pelos modelos às 12 horas chegou a aproximadamente 30% da iluminância do céu.

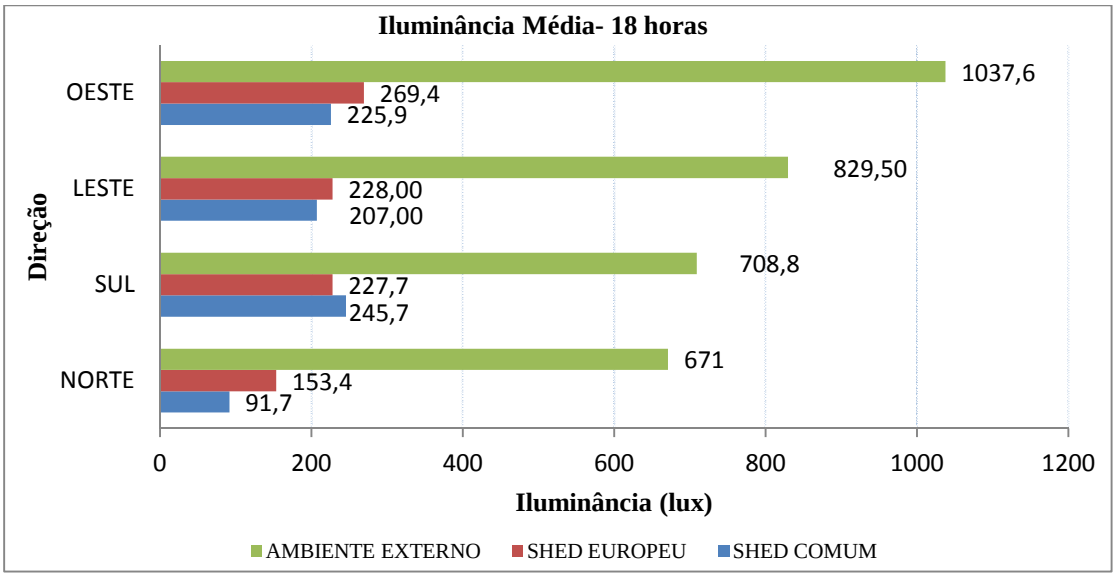
Figura 8 – Iluminância média às 12 horas



Fonte: Elaboração dos autores

A Figura 9 apresenta as variações de iluminância entre os modelos às 18 horas. Como pode ser visto na Figura 9, o *shed* europeu obteve maior iluminância às 18 horas nos três casos: Norte, Leste e Oeste, visto que o *shed* comum obteve maior iluminância quando direcionado ao Sul. A maior variação entre estes ocorreu quando posicionados ao Norte, onde o *shed* europeu obteve aproximadamente 70% mais iluminação natural.

Figura 9 – Iluminância média às 18 horas

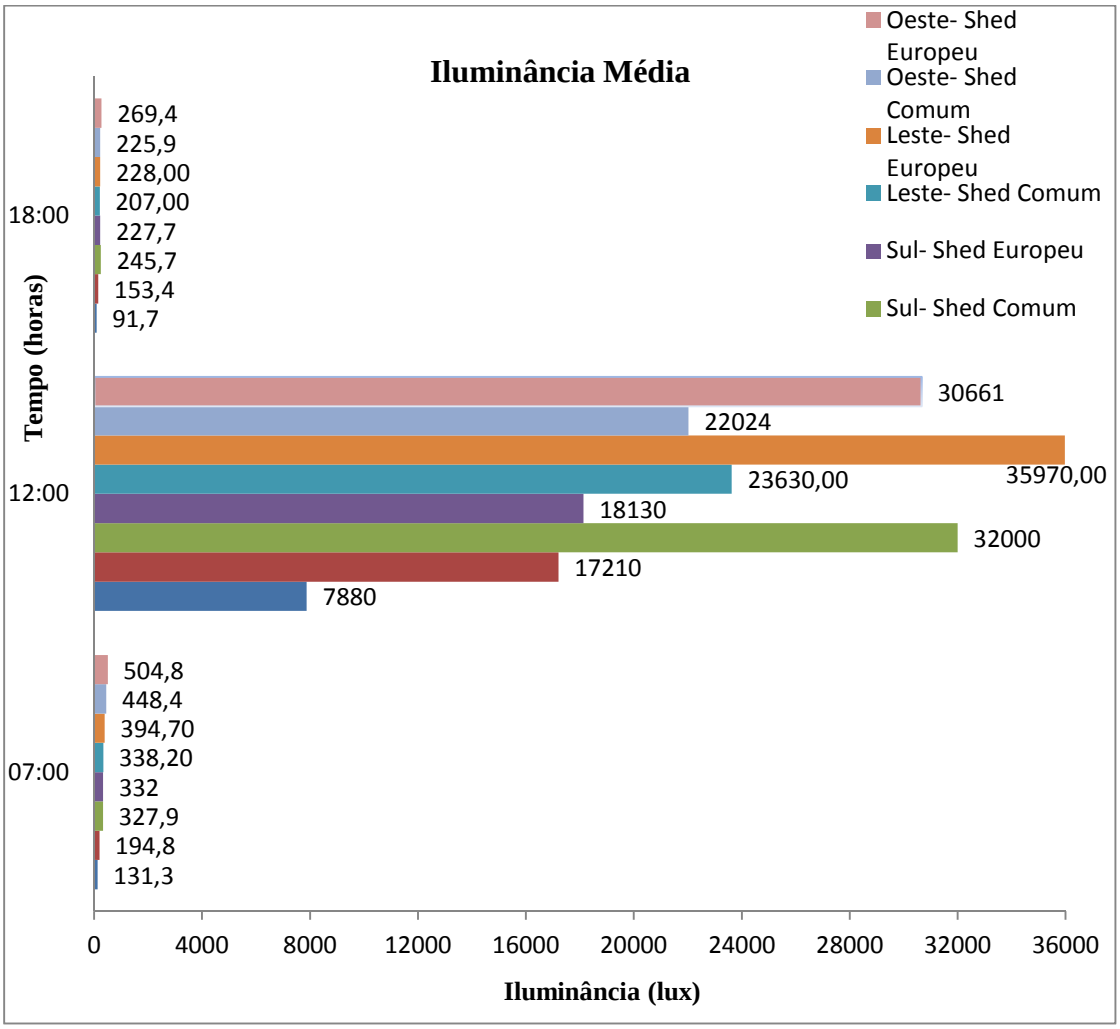


Fonte: Elaboração dos autores

Assim como nos demais horários de coleta de dados, às 18 horas os modelos também receberam aproximadamente 30% da iluminância do céu.

Para análise geral da iluminância obtida pelos modelos no decorrer do dia e nas quatro direções, Norte, Sul, Leste e Oeste, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Gráfico de iluminância média no decorrer do dia



Fonte: Elaboração dos autores

Como pode ser visto no gráfico apresentado na Figura 10, em todas as direções em que os modelos foram posicionados, Norte, Sul, Leste e Oeste, a iluminância recebida foi maior às 12 horas e menor às 18 horas.

O *shed* europeu obteve mais iluminância quando direcionado ao Norte, Leste e Oeste, e às 07 horas ao Sul, sendo assim o *shed* comum é mais eficiente apenas quando direcionado ao Sul às 12 horas e às18 horas.

As maiores diferenças de iluminância obtida pelos modelos ocorreram às 12 horas, independente do posicionamento dos mesmos, porém foi quando estes estavam posicionados ao Norte que se obteve a maior variação, onde o *shed* europeu alcançou aproximadamente 120% mais iluminação que o *shed* comum.

4.2 Análise econômica

O Quadro 1 apresenta as médias obtidas e número de luminárias que através da luz natural não precisariam ser ligadas devido à utilização dos sistemas zenitais tipo *shed* em estudo.

Quadro 1 – Quantidade de luminárias reduzidas

	Shed Comum Sul		*Shed* Europeu	
	Iluminância Média (lux)	Quantidade de luminárias reduzidas (un.)	Iluminância Média (lux)	Quantidade de luminárias reduzidas (un.)
Norte	91,7	34	153,4	56
Sul	245,7	90	227,7	83
Leste	207	76	228	84
Oeste	225,9	83	269,4	98

Fonte: Elaboração dos autores

Visto que os resultados apresentados no Quadro 1 foram obtidos através das iluminâncias médias no horário em que se obteve menor iluminância, e levando em consideração que cada luminária possui uma potência de 110W e que estas permaneçam desligadas durante 4 horas por dia, foi feito o cálculo de kWh para verificar a economia obtida.

De acordo com a tabela de preços da CELESC, o valor do kWh para indústrias é de R$ 0,28455. O Quadro 2 apresenta os valores economizados em kWh/mês e R$/mês.

Quadro 2 – Economia gerada por zenitais do tipo *shed*

	Shed Comum Sul		*Shed* Europeu	
	Consumo Economizado (kWh/mês)	Consumo Economizado (R$/mês)	Consumo Economizado (kWh/mês)	Consumo economizado (R$/mês)
Norte	448,8	127,70	739,2	210,34
Sul	1188	338,04	1095,6	311,75
Leste	1003,2	285,46	1108,8	315,50
Oeste	1095,6	311,75	1293,6	368,09

Fonte: Elaboração dos autores

Pode-se verificar através do Quadro 2 que a utilização de sistemas zenitais tipo *shed* reduz consideravelmente o consumo de energia elétrica. Ainda pode-se verificar que o *shed* europeu se mostrou mais eficiente na maioria dos casos, exceto quando direcionado ao Sul.

Quanto aos modelos direcionados ao Norte, a diferença entre os *sheds* foi maior, no qual o *shed* europeu obteve uma economia 65% maior que o *shed* comum. Já quando direcionados ao Sul, onde o *shed* comum obteve maior economia, esta foi de aproximadamente 8,5%.

De acordo com os cálculos realizados no item 3.4.1, para obter iluminação adequada no ambiente em estudo é necessário 275 luminárias de 110W. Desta forma pode-se verificar que utilizando o sistema zenital tipo *shed* europeu pode-se economizar até 35% de energia por mês quando

posicionado ao Oeste, e utilizando o shed comum até 33% quando direcionado ao Sul.

As maiores diferenças entre os modelos foram verificadas quando estes estiveram posicionados ao Norte. Porém, foi nesse caso que houve menor economia gerada por ambos, o que não significa que os modelos quando direcionados ao Norte estão em desvantagem. Isso porque a coleta de dados deu-se no início do mês de agosto e teve seu término no mês de outubro, sendo que primeiramente foram feitas as coletas de dados com os modelos direcionados ao Norte. Não foi empregada metodologia de correção da inclinação dos modelos em relação ao sol. Dessa maneira, a falta de ajuste pode ter resultado em diferenças de desempenho por trajetórias solares distintas.

Quanto aos modelos direcionados ao Norte, a economia de energia elétrica gerada pelo *shed* comum se aproximou de 12%, enquanto o *shed* europeu gerou uma economia de aproximadamente 20%. Já quando os modelos estiveram posicionados ao Sul onde o *shed* comum esteve em vantagem, a economia gerada por este chegou a aproximadamente 33%, enquanto o *shed* europeu chegou a aproximadamente 30%.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, foi possível constatar que a iluminância obtida às 12 horas pelos sistemas zenitais tipo *shed* chega a ser superior à adequada para um ambiente de trabalho em fábrica, tornando-se desnecessária a utilização de quaisquer luminárias nesse período. Ainda, constatou-se que a menor iluminação obtida pelos modelos ocorreu às 18 horas, em todas as situações em que os modelos foram submetidos, ao Norte, Sul, Leste, e Oeste.

Os gráficos utilizados apontaram que o sistema zenital tipo *shed* europeu apresenta vantagens quanto à iluminação, visto que este obteve mais iluminação natural na maioria dos casos, quando direcionado ao Norte, Leste e Oeste em todos os horários em que foram feitas as coletas e às 07 horas ao Sul. Os resultados, no entanto, são restritos aos modelos e condições estudados, pois mudanças de latitude podem levar a respostas distintas.

A utilização do zenital tipo *shed* europeu proporciona uma economia de energia superior à do *shed* comum, chegando a aproximadamente 35% quando posicionado ao Oeste, sendo que o *shed* comum gera uma economia de energia elétrica de aproximadamente 33% quando posicionado ao Sul. Desta forma, os dois sistemas zenitais se fizeram eficientes, porém nota-se que o *shed* europeu apresenta maior economia também quando posicionado ao Norte e Leste.

REFERÊNCIAS

AMORIM, C. N. D. Diagrama morfológico parte I: Instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. **Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Brasília, n. 3, p. 58-77, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15215-1**: Iluminação natural – Parte 1: conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 15215-4**: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.

CHEN, Y. et al. Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential. **Energy And Buildings,** v. 73, p.184-191, abr. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.030.

GARROCHO, J. S.; AMORIM, C. N. D. Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras. In: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo, 2004.

HENRIQUES, G. C.; DUARTE, J. P.; LEAL, V. Strategies to control daylight in a responsive skylight system. **Automation In Construction,** v. 28, p.91-105, dez. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.06.002.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. rev. e ampl. Florianópolis: UFSC, 2013. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/ sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2015.

LINHARES, G. C. **Controle das condições de conforto térmico num ambiente utilizando Lógica Fuzzy.** Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação)- Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

PEREIRA, D. C. L. **Modelos físicos reduzidos: uma ferramenta para avaliação da iluminação natural. 2006.** 246 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

VIANNA, N. S; GONÇALVES, J. C. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Geros, 2001.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES À ARQUITETURA: UMA REFLEXÃO SOBRE SEUS IMPACTOS NA FORMA E PAISAGEM[1]

FONSECA, Ingrid (1); BATTISTI, Alessandra (2); TUCCI, Fabrizio (3); PORTO, Maria Maia (4); MATHIAS, Priscilla (5)

(1) UFRJ e Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, e-mail: ingrid.c.l.fonseca@gmail.com; (2) Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, e-mail: alessandrabattisti@libero.it; (3) Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, e-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it; (4) UFRJ, e-mail: mariamaiaporto@ufrj.br (5) UFRJ, e-mail: priscillamathias@hotmail.com

RESUMO

Num contexto mundial de crise energética, a Comunidade Européia, através da Diretiva 2010/31/EU, introduziu o conceito de nZEB (Nearly Zero-Energy Buildings), relativo a edifícios com consumo energético muito baixo ou quase nulo e estabeleceu uma meta de redução de consumo em 20% até 2020. Enquanto no Brasil, a Resolução Normativa n° 482/2012 estabeleceu condições gerais para microgeração e minigeração com sistema de compensação de energia para o consumidor. Assim, é importante vislumbrar um futuro onde prédios funcionarão como organismos auto geradores de energia. Para o funcionamento eficiente destes sistemas sabe-se da importância do correto posicionamento e dimensionamento, levando-nos a refletir sobre como novas edificações poderão ter sua forma influenciada, assim como a paisagem. Com espírito investigativo, este artigo mostra resultados parciais de pesquisa de pós-doutoramento na Università "La Sapienza" di Roma em parceira com o AMBEE/UFRJ e explora formas de integração dos sistemas BIPV com impactos na forma dos edifícios e paisagem. De acordo com tal finalidade delineou-se a metodologia. Inicialmente, tais sistemas são identificados e descritos. Na seqüência, são apresentados exemplos e destacadas características desta integração e reflexões sobre suas conseqüências formais, constituindo os resultados do artigo, que pretende contribuir em busca do equilíbrio entre função/forma/eficiência.

Palavras-chave: Eficiência energética. Tecnologia fotovoltáica integrada (BIPV). Edifícios a consumo de energia quase zero (nZEB).

ABSTRACT

In a global context of energy crisis, the European Community, through the Directive 2010/31/EU, introduced the concept of nZEB (Nearly Zero-Energy Buildings), setting buildings with very low energy consumption or almost null and established a consumption reduction target by 20% by 2020. While Brazil, through Normative Resolution nº 482/2012, lays down general conditions for microgeneration and minigeneration with power compensation system to the consumer. So it is important to envision a future where buildings will function as auto power generators organisms. For the efficient operation of these systems its known the importance of correct positioning and sizing, which leads us to reflect on how new buildings will have their form influenced as well as the landscape. With investigative spirit, this article shows partial results of post-doctoral research at University of Rome "La Sapienza" in

[1] FONSECA, Ingrid et al. Integração de painéis solares à arquitetura: uma reflexão sobre seus impactos na forma e paisagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

partnership with AMBEE/UFRJ and explores ways of integrating the BIPV systems with impacts in the form of buildings and landscape. According to this purpose the methodology was outlined. Initially, these systems are identified and described. Subsequently, examples are presented and highlighted features of this integration and reflections about its formal consequences, that constitute the results of the article, which aims to contribute in the search for the balance between function/shape/efficiency.

***Keywords**: Energy efficiency. Integrated photovoltaic technology (BIPV). Nearly Zero-Energy Building (nZEB).*

1 INTRODUÇÃO

A crise ambiental global e a busca de soluções para reduzir a demanda energética das edificações vêm exigindo de nós, arquitetos, uma importante e constante transformação na forma de pensarmos nossos edifícios e cidades.

Sabe-se que os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia primária nos países desenvolvidos (GELLER, 2003) e por grande parte das emissões de CO_2. A contribuição do arquiteto na busca da redução da demanda energética é evidente, uma vez que o projeto - prática de sua exclusiva responsabilidade e competência - pode incorporar medidas que incidirão diretamente sobre o desempenho do edifício, seja para a redução do consumo energético ou para a limitação de emissões de poluentes, reduzindo, como um todo, os mais relevantes e preocupantes impactos negativos causados pelo homem ao meio ambiente.

Para isso, seu exercício deve apoiar-se em três atitudes, passíveis de serem abordadas isoladamente, porém intrinsecamente relacionadas e que devem ser consideradas de modo integrado e complementar, permeando as decisões de projeto ao longo de todo o processo, quais sejam: a prática do projeto bioclimático, como garantia das condições de conforto humano, reduzindo a dependência dos sistemas artificiais; a busca pelo uso eficiente da energia, inerente ao funcionamento da edificação e de seus equipamentos; e a incorporação de fontes de energia alternativas às tradicionalmente utilizadas, e sobretudo renováveis, com inclusão de novas tecnologias passivas à arquitetura. Dentre elas, está a incorporação de painéis fotovoltaicos às edificações de modo que estas sejam capazes de gerar a energia para consumo próprio, se destacando das redes de abastecimento convencionais e configurando-se como organismos autônomos. Esta se tornou uma estratégia a ser considerada em todos os projetos baseados em princípios de sustentabilidade e eficiência energética.

No Brasil, a Resolução Normativa no. 482 da ANEEL de 2012 e ampliada em 2015 (ANEEL, 2012, 2015) hoje em vigor, criou o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A partir disso, e dando atenção a essa possibilidade de microgeração, faz-se necessária a promoção de condições para a instalação dos sistemas, de modo incorporado ao projeto de arquitetura e integrado à abordagem bioclimática.

Num contexto mundial, a Comunidade Européia, através das Diretivas 2010/31 EU e 2012/27/EU (2010b, 2012), introduziu o conceito de nZEB (Nearly Zero-Energy Building), referente a edifícios com consumo energético muito baixo ou quase nulo e estabeleceu uma meta de redução de consumo energético em 20% até 2020 e que, na medida do possível, deve ser coberto de forma significativa de energia produzida por fontes renováveis, incluindo aquela produzida localmente ou na vizinhança, especialmente em edifícios novos.

E assim, deu-se um impulso à concepção de edifícios autossuficientes, como aqueles que possam gerar a energia para seu próprio consumo, para suprir complexos edificados ou mesmo abastecer áreas vizinhas.

O artigo mostra os resultados parciais de pesquisa de pós-doutoramento na Università "La Sapienza" di Roma em parceira com o Grupo de Estudos em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética AMBEE/UFRJ sobre as possibilidades de aproveitamento de energias alternativas (às utilizadas tradicionalmente) e renováveis integradas à arquitetura. Tem como objetivo, através de uma abordagem investigativa e exploratória, propor uma reflexão sobre os impactos da integração de painéis fotovoltaicos na forma do edifício, uma vez que estes se condicionam às variáveis dimensionamento do sistema e posicionamento das superfícies captadoras. E como tais atitudes podem influenciar na definição da forma arquitetônica e configuração de paisagem, contribuindo na busca de um equilíbrio harmonioso entre função, forma e eficiência energética.

De acordo com tal finalidade delineou-se a metodologia. Inicialmente, tais sistemas são identificados e descritos. Na seqüência, são apresentados exemplos e destacadas características desta integração e reflexões sobre suas conseqüências formais, constituindo os resultados do artigo, que pretende ainda evidenciar questões que necessitem de maior atenção e investigação detalhada, de modo a definir uma metodologia de trabalho para a sequência da pesquisa em andamento.

2 REQUISITOS PARA CAPTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR: tipologias e variáveis a considerar

2.1 Tipologias das células: uma breve descrição da evolução técnica

Diversas são as possibilidades de disposição das células captadoras de energia solar para o uso em arquitetura. Inicialmente surgiram na forma de painéis: um conjunto de módulos fotovoltáicos, constituídos por células (PINHO; GALDINO, 2014), produzidos com a função única de captar a energia solar. Atualmente, assumiram um papel multifuncional, conforme definição da *Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana* (BONOMO; FRONTINI, 2015) como parte integrante da arquitetura e componente arquitetônico (como vidro, telhas, e outros).

A primeira configuração das células para captação de energia solar nos foi disponibilizada pelo mercado na forma dos painéis fotovoltaicos, geralmente

constituídos de silício: painéis mono ou poli cristalinos. A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também mais cara, de eficiência média de 16,5% (PINHO; GALDINO, 2014). As células policristalinas têm um custo de produção inferior aos monocristalinos por necessitarem de menos energia para sua fabricação, mas apresentam um rendimento elétrico inferior, que varia entre 14,5 e 16,2% em escalas industriais (PINHO; GALDINO, 2014). A garantia relativa à vida útil destes painéis é alta, cerca de 25 anos. Porém, segundo Pinho e Galdino (2014) poucos foram encontrados no mercado em funcionamento há mais de 20 anos.

Considerada de segunda geração, tem-se a tecnologia de filme fino, dos quais destacam-se as de silício amorfo e as células fotovoltaicas orgânicas (OPV), descartando as outras que contém substâncias tóxicas ou raras (RÜTHER, 2004). As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida seu rendimento é também mais baixo, cerca de 10% (PINHO; GALDINO, 2014) e sua vida útil menor. A grande vantagem é que são películas muito finas, dispensam a moldura dos painéis e podem ser flexíveis apresentando maior possibilidade de integração a superfícies curvas. Porém, o efeito de degradação quando expostas à radiação solar que limita sua eficiência (efeito Staebler-Wronski) constitui grande obstáculo a sua difusão. A eficiência das células orgânicas (OPV) variam em torno de 10%. São em substrato leve, flexível, transparente e debaixo custo, mas com pouca produção em escala industrial.

Por fim, há a tecnologia dos painéis solares híbridos, cuja eficiência, segundo Santos (2009), é de cerca de 20%. Trata-se de uma célula composta de uma lâmina ultrafina de silício amorfo sobre uma base de silício monocristalino, cuja junção permite que a abrangência do espectro luminoso seja maior, aumentando a eficiência de conversão. Funcionam bem a altas temperaturas, mas ainda pouco disponíveis no mercado.

2.2 Inclinação, orientação e exposição ao sol – condicionantes para disposição na edificação

Sabe-se que o rendimento dos sistemas, que desfrutam da energia solar como fonte, está diretamente relacionado à orientação e inclinação das superfícies de captação, sejam elas aplicadas a fachadas, coberturas ou a qualquer elemento funcional. A inclinação média recomendada é igual à latitude local, e à orientação Norte (preferencialmente), NE ou NO, (para localidades no hemisfério Sul) e Sul (preferencialmente), SO ou SE (para o hemisfério Norte).

Ainda, é fundamental a realização de avaliações das obstruções vizinhas. Gaviria, Pereira e Mizgier (2013) investigaram a eficiência de sistemas fotovoltaicos integrados em edificações inseridas em diferentes contextos urbanos, confirmando que a eficiência dos modelos depende em grande medida da disponibilidade de superfícies para a geração fotovoltaica, o que nos faz alertar para a necessidade de disponibilização de área para integração do sistema e seus impactos na forma do edifício.

Ou seja, obstruções vizinhas, orientação e inclinações inadequadas podem se refletir na necessidade de aumento da superfície captadora ou uma queda de eficiência e conseqüente geração de energia. Há que se manter a relação custo-benefício, mesmo que a nova tipologia tenha se libertado do formato de placas com dimensionamentos restritivos. Ainda, considerando a dimensão estética dos edifícios, é essencial integrá-los harmoniosamente ao invólucro arquitetônico, além de prever adequada ventilação das placas de modo a garantir o bom funcionamento e rendimento do sistema.

3 INTEGRAÇÃO DA ARQUITETURA E SEUS REFLEXOS FORMAIS

3.1 Sistemas BIPV *(Building Integrated Photovoltaics)* e BAPV *(Building Applied Photovoltaics)*

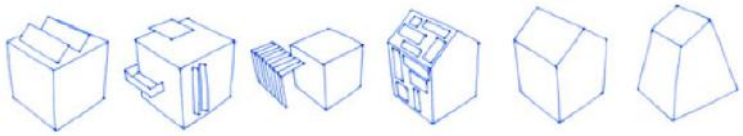
Segundo Jelle; Breivik; Røkenes (apud Gaviria *et alli*, 2013), de acordo com sua relação com a arquitetura, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados como BAPV (*Building Applied Photovoltaics*), que são aqueles simplesmente fixados ao envelope construtivo, ou como BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*), como aqueles módulos que fazem parte da estrutura ou do envelope da edificação e são integrados a ela também esteticamente.

Porém, na prática de novos edifícios, cada vez menos fala-se de BAPV, uma vez que além da função de produzir eletricidade, as células começam a assumir um papel de elemento da construção, o que caracteriza os sistemas BIPV. Como exemplo, estes atuam como revestimento de fachada ou de cobertura, um dispositivo de proteção solar, ou seja, um elemento arquitetônico imprescindível ao bom funcionamento do organismo construído, excluindo a ideia de instalações independentes, de elementos simplesmente fixados ou apoiados à construção.

3.2 Avaliações sobre reflexos na forma e arquitetônica e paisagem

A Figura 1 mostra as formas conceituais de integração de fotovoltaicos nas edificações, elaboradas pelo *The Solar Heating and Cooling Programme* (SHC) da *International Energy Agency* (http://www.iea-shc.org/) e ilustrado pelos pesquisadores Scognamiglio e Røstvik (2013). A imagem a) ilustra o caso dos BAPV, como um elemento técnico adicionado à edificação, mas não integrado a ela. A imagem b) representa um elemento com dupla função, se aproximando do multifuncional citado anteriormente no item 2.1, ou seja, que acumula a função de captador de energia e de um elemento arquitetônico de sombreamento, por exemplo.A imagem c) se aproxima de um captador como uma estrutura independente, porém representativo como forma arquitetônica. Nas imagens d) e e), as superfícies de captação se integram em parte ou totalmente à superfície (fachada, cobertura), também como um elemento multifuncional. Por fim, a imagem f) apresenta uma forma projetada para otimizar a captação de energia solar.

Figura 1 – Esquemas de inserção de superfícies captadoras de energia solar na edificação



a) b) c) d) e) f)

Fonte: Scognamiglio e Røstvik (2013)

Utilizando esta referência (e extrapolando para o contexto da paisagem), serão exemplificados modos de integrações representativas das imagens b) a f). Exclui-se o primeiro caso (imagem a) porque se aproxima de um sistema BAPV, que não é o foco deste artigo por não obrigatoriamente se integrar à construção.

A Figura 2 é da residência The Erni House (2001), localizada em Untersiggenthal (47°29`N), na Suíça, que apresenta uma cobertura como superfície de captação orientada a sul, onde observa-se uma integração total, uma vez que a superfície de captação respeita a forma e inclinação originais, indicadas inclusive em casos de *retrofit* ou no caso de edifícios parcialmente preservados. A Figura 3 mostra a residência The Solarie (2003), em Nova Iorque (40°42`N), nos Estados Unidos: um caso similar de integração, que mostra painéis totalmente integrados e como parte da composição de todas as fachadas. Em ambos os casos, identifica-se a multifuncionalidade das superfícies captadoras, onde os painéis substituem as telhas ou os fechamentos opacos das edificações, representando bons exemplos das imagens b), d) e e) da Figura 1.

Figuras 2 e 3 – The Erni House e The Solaire



Fontes: http://www.bipv.ch/index.php/en/residential-side-en/item/587-erni e http://www.thesolaire.com/documents/green_lifestyle.html

A Figura 4, da Academia Mont-Cenis (1999), localizada em Herne (51°32`N), na Alemanha, exemplifica uma envoltória de 20.000 m^2 de vidro, onde em

quase metade estão integradas células fotovoltaicas: na cobertura, através da abertura dos vidros, é prevista a ventilação. Sem dúvida representa um sistema BIPV, porém em casos com distribuição de células por todo o envelope construtivo, deve-se estar atento para o risco da falta de estudo de orientação, onde a tecnologia se sobrepõe à eficiência, uma contradição que precisa ser evitada.

Figura 4 – Academia Mont-Cenis



Fonte: http://www.akademie-mont-cenis.de/EN/index.html

A Office Solar International Doxford (1998), em Sunderland (54°54`N), no Reino Unido, mostrado na Figura 5 é um exemplo onde uma estrutura para captação fotovoltaica gera resultado formal interessante, harmonizado, mesmo sendo uma estrutura independente orientada a sul. Este exemplo se assemelha à imagem c) da Figura 2.

Figura 5 – Office Solar International Doxford



Fonte: http://www.studioe.co.uk/?portfolio=solar-office-doxford

Outro ponto importante se refere à área disponível para a instalação das superfícies captadoras. De acordo com a tipologia construtiva e a demanda energética, a área de captação necessária pode ser maior do que a disponível nos limites físicos do edifício, podendo refletir-se projetualmente em uma estrutura quase autônoma, mas, diferentemente do exemplo da Figura 5, assumindo destaque que define por si a forma da edificação. Compondo esta representação da imagem f) da Figura 1, tem-se a Figura 6, do SIEEB Building (2006), localizado em Beijing (39°59`N), na China. E a Figura 7, ilustra uma simbologia formal de muitos edifícios que visam maximizar a

captação de energia: uma associação interessante feita pelos pesquisadores Scognamiglio e Røstvik (2013).

Figuras 6 e 7 – SIEEB Building (fachada sul) e a configuração formal de um satélite





Fonte: Scognamiglio e Røstvik (2013)

Apresenta-se neste momento o desafio da busca do equilíbrio entre tecnologia e forma. É possível reconhecer o limite onde eficiência da tecnologia se sobrepõe determinando a forma?

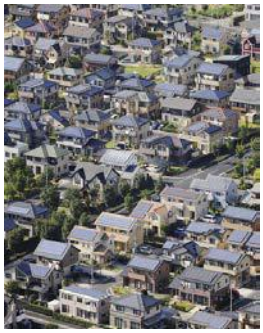
Avançando nos questionamentos, como alternativa a uma demanda ainda maior, pode-se pensar em sistemas integrados para abastecer um complexo edificado ou mesmo uma área mais vasta. Em ambas as situações, o impacto se reflete não só na forma dos edifícios, mas, sobretudo, no desenho e na linguagem visual da paisagem. Isto fica evidenciado pelas Figuras 8 (The Roof Project, de Milão (45°27`N), na Itália, de 2010), 9 (Cidade Solar de Ota (36°18`N), no Japão) e10 (em Freiburg (53°49`N), na Alemanha).

Figura 8 – The Roof project



Fonte: Scognamiglio e Røstvik (2013)

Figuras 9 e 10 – Cidade Solar de Ota e complexo edificado em Freiburg





Fonte: http://www.coletivoverde.com.br/ota-a-cidade-solar/ e https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2013/04/energia-solar-novas-normas-em-jogo/22564

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento tecnológico, aliado aos avanços nas pesquisas e na produção industrial, permite que atualmente células fotovoltaicas sejam facilmente incorporadas em partes da construção, contribuindo para a adoção dos sistemas BIPV, dada sua flexibilidade e capacidade de harmonizar-se com elementos da construção ao mesmo substituí-los, assumindo papel multifuncional.

Produtos têm sido lançados, como filmes transparentes e coloridos com busca de eficiência cada vez mais alta, onde a promessa é a possibilidade de 100% de integração na arquitetura. Porém, deve-se atentar para uma prática incoerente, onde a eficiência é disperdiçada, pois sempre haverá a necessidade de estudos e cálculos citados para amparar o rendimento da estratégia.

Considerando a qualidade estética dos edifícios e da paisagem, é essencial integrar as superfícies captadoras de energia solar de modo harmonioso ao involucro arquitetônico e como resultado consciente da relação entre tecnologia, função e forma, seja arquitetônica seja da paisagem.

Uma proposta de atenta reflexão sobre esses impactos constitui um dos resultados parciais do artigo e contribuindo na busca da integração harmoniosa, ressaltamos as demais contribuições deste, que reconhece a necessidade de: (i) desenvolver estudos paramétricos que permitam o projeto do invólucro do edifício através da adaptação aos parâmetros ambientais locais para integrar melhor os sistemas fotovoltaicos e adequá-los às funções dos edifícios; (ii) criação de um cenário de correspondência entre clima e envoltória, apontando para soluções para a incorporação dos painéis solares nas futuras edificações, especialmente aquelas localizadas em países de baixas latitudes, como grande parte do Brasil e providos de intensa radiação solar.

Neste sentido pretende gerar possibilidades de adequação mútua, de incorporação das tecnologias na forma e/ou adaptação da forma arquitetônica à eficiência das tecnologias, de modo natural e ao longo do processo do projeto. É uma contínua atividade interdisciplinar entre aspectos energéticos, arquitetônicos e tecnológicos fruto de constante colaboração entre projeto, pesquisa e indústria.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução Normativa nº 482/12.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012.

_____. **Resolução Normativa nº 687/15.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2015.

BONOMO Pierluigi; FRONTINI, Francesco. **Un'opportunità di innovazione fra tecnologia e architettura. Il passaggio dei sistemi fotovoltaici da elemento tecnico per la produzione energetica a componente edilizio.**Disponível em http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/il-fotovoltaico-integrato-come-componente-edilizio-251.html. Acesso em 13/12/2015

EUROPEAN UNION. **Directive 2010/31/EU**, of 19th May 2010. Official Journal of the European Union, 18 Junho 2010b.

EUROPEAN UNION. **Directive 2012/27/EU**, of 25 October 2012. Official Journal of the European Union, 14 Novembro 2012.

GAVIRIA, L. R.; PEREIRA, F. O. R.; MIZGIER, M. O**. Influência da configuração urbana na geração fotovoltaica com sistemas integrados às fachadas.** In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 7-23, out./dez. 2013. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável.** Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

PINHO J. T.; GALDINO M. A. (Orgs.) **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.** CEPEL - CRESESB. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, 2014.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SANTOS, I. P. **Integração de painéis fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista.**Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento da Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCOGNAMIGLIO, A.; RØSTVIK, H. N. **Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design.** In: Photovoltaics: Research and applications (2012), DOI: 10.1002/pip.2286; vol. 21, issue 6, pp. 1319-1336, setembro 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

LIMITAÇÕES DO ARCHSIM PARA OTIMIZAÇÃO BASEADA EM SIMULAÇÃO PARA ETIQUETAGEM RESIDENCIAL[1]

FONSECA, Ligiana (1); SANTANA, Laila (2); CARLO, Joyce (3)

(1) UFV, e-mail: ligiana.fonseca@gmail.com; (2) UFV, e-mail: lailaufv@gmail.com; (3) UFV, e-mail: correnacarlo@gmail.com

RESUMO

A Otimização Baseada em Simulação (OBS) é um método recente utilizado na concepção de edifícios energeticamente eficientes. Esta consiste em técnicas de otimização estocástica atreladas à simulação, e a parametrização pode ser incorporada ao processo. O processo origina múltiplas alternativas de *design* e permite a escolha das que se enquadram nos objetivos almejados. O objetivo deste artigo foi avaliar o Archsim, plug-in que conecta os programas Rhinoceros/Grasshopper ao EnergyPlus, sob o ponto de vista do desenvolvimento projetual. Para tal, utilizou-se um método de OBS com base nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O trabalho integra a iniciação científica a um projeto de mestrado sobre modelagem digital. Foram concebidos dois modelos para os testes: um abrigo emergencial e uma edificação residencial multi-zonas. A versão avaliada (Archsim 1.4.0.1) apresentou limitações em relação às volumetrias complexas; aos parâmetros formais de modelos multi-zonas; à definição de cargas de ocupação em áreas variáveis; ao estabelecimento de taxas metabólicas dos usuários e em relação ao modelo de ar-condicionado recomendado pelo RTQ-R. Utilizaram-se algumas estratégias para contornar as limitações do Archsim. Concluiu-se que são necessários aprimoramentos do plug-in para a aplicação plena na etiquetagem de edificações residenciais.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Arquitetura Paramétrica. Otimização Baseada em Simulação.

ABSTRACT

Simulation-based optimization (SBO) is a present-day method used in the design of energy efficient buildings. It consists of stochastic optimization techniques associated to simulation, and parametrization can be incorporated to the process. The process produces multiple design alternatives and allows the selection of the ones that fit into the aimed objectives. The objective of this paper was to evaluate, Archsim, a plug-in that connects the software Rhinoceros/Grasshopper to EnergyPlus, from a point of view based on the design development. A SBO method based on the Technical Requirements of Quality of the Level of Energy Efficiency of Residential Buildings (RTQ-R) was used. The work integrates a begineers scientific research activity to a master'sresearch project. Two models were created for tests: an emergency shelter

[1] FONSECA, Ligiana; SANTANA, Laila; CARLO, Joyce. Limitações do archsim para otimização baseada em simulação para etiquetagem residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

and a multi-zone residential building. The evaluated version (Archsim 1.4.0.1) presented limitations on the creation of complex shapes, on shape parameters of the multi-zone models, on setting of people loadings, on establishment of metabolic rates of occupants, and on the model of air conditioning recommended by RTQ-R. Some strategies were used to overcome limitations of Archsim. In conclusion, some improvements of the plug-in are necessary for its full implementation on labelling of residential buildings.

***Key-words**: Energy Efficiency. Parametric Architecture. Simulation-based Optimization.*

1 INTRODUÇÃO

A modelagem paramétrica tem sido aplicada na arquitetura nas duas últimas décadas como meio de desenvolver formas orgânicas e explorar a criatividade, pois facilita alterações de projeto por ser concebido através de regras e dependências entre componentes (FLORIO, 2011). Esta abordagem também permite a exploração de diversas possibilidades de design de forma mais rápida em comparação à metodologia convencional de projetação, e pode ser integrada à otimização da forma e de componentes de edificações. Associada à simulação, a modelagem paramétrica e a otimização possibilitam o projeto de edificações focado no desempenho. Nesta metodologia, o desempenho (térmico, acústico, estrutural, etc) da edificação é tido como fator determinante para a criação da forma na arquitetura (OXMAN, 2008). O papel do projetista se destaca na criação de objetivos e parâmetros de projeto, sendo estes últimos os elementos a serem otimizados para alcance dos objetivos.

Segundo Bucking (2013), há um crescente interesse na aplicação de algoritmos de otimização nas pesquisas sobre o projeto de edifícios energeticamente eficientes. Os fundamentos matemáticos de otimização foram desenvolvidos há mais de um século, e as técnicas algorítmicas há mais de 50 anos, entretanto, as pesquisas de otimização aplicadas ao projeto de edificações surgiram depois da criação de programas de simulação energética a partir da década de 1960. Na época, estes estudos foram limitados devido aos escassos recursos computacionais; só em meados dos anos 1980 e início dos anos 1990 que a realização de pesquisas mais detalhadas se tornou viável. A partir da década de 2000, devido ao aumento no uso de computadores portáteis, os estudos relacionados à otimização de edificações progrediram (NGUYEN et al., 2014).

À medida que novas tendências emergem, aumenta a necessidade dos profissionais da área se atualizarem e compreenderem as novas técnicas. Segundo Shi e Yang (2013), os arquitetos estão, em sua maioria, desconectados destas novas abordagens. Shi e Yang (2013) descrevem que há, até o início dos anos 2010, duas categorias predominantes de métodos projetuais dentre os arquitetos especializados em edifícios energeticamente eficientes. A primeira é a abordagem na qual, após a realização do projeto arquitetônico, são aplicados ao edifício os trabalhos de outros profissionais, como engenheiros civis ou engenheiros mecânicos. A segunda abordagem aplica as estratégias na

fase conceitual do projeto. Na primeira, a qualidade final e o desempenho são determinados principalmente pela eficácia do somatório das tecnologias, o que pode acarretar em custo significativamente maior. Além disso, este método pode consumir enorme tempo e não há garantia de que se chegue a uma solução próxima do ideal. Isto porque as estratégias bioclimáticas são, muitas vezes, conflitantes entre si (MAGNIER, 2008). Na segunda, o arquiteto tem maior controle sobre o projeto, no entanto, os métodos tendem a ser conceituais e não quantificáveis e podem não satisfazer aos padrões de edificação energeticamente eficiente (SHI e YANG, 2013). Na otimização baseada em simulação (OBS), por outro lado, a solução final dentro de um quadro de soluções potenciais é determinada com base no desempenho provado por programas de simulação ou processos de avaliação das soluções.

Há atualmente uma grande distância entre os arquitetos e os engenheiros (civis, mêcanicos, eletricistas) em relação ao conhecimento de métodos de OBS (SHI e YANG. 2013). Em uma entrevista com 28 especialistas internacionais em otimização computacional de projetos de edificações de consumo de energia zero realizada por Attia (2012), identificou-se que a maior parte dos especialistas possuía formação em engenharia de edificações, engenharia mecânica ou outras engenharias relacionadas à construção civil. Quase todos possuíam alguma especialização em ciência de edificações, computação ou otimização, não havendo nenhum entrevistado graduado apenas em arquitetura. Segundo muitos entrevistados, as técnicas de otimização seriam interessantes para o uso de arquitetos, engenheiros e profissionais de projeto de edificações, porém o que se verifica é que atualmente elas exigem uma especialização em relação aos processos. Além disso, as ferramentas em sua maioria ainda não possuem uma interface amigável para o uso de profissionais que não possuem uma familiaridade com a área, restringindo as técnicas de otimização à aplicação por especialistas apenas.

Por isso, para que esses métodos possam suceder, é essencial que haja um diálogo entre todos os profissionais envolvidos, desde arquitetos a engenheiros, e que as ferramentas de OBS se tornem mais acessíveis aos projetistas de edificações. Recentemente, têm sido lançadas ferramentas computacionais que possibilitam a projetistas a criação de formas paramétricas sem necessidade de conhecimento de linguagens de programação ou *scripting*, como o Grasshopper, que é uma linguagem de programação visual. O desenvolvimento desta ferramenta tem proporcionado maiores avanços em relação à geração de formas mais complexas na arquitetura e integração entre a construção da forma e diversas outras áreas. Plug-ins para o Grasshopper têm sido criados de modo a incorporar ao processo de desenho do projeto técnicas de avaliação de desempenho estrutural, desempenho térmico, luminoso, cálculos matemáticos, estatísticos, etc, ou mesmo integrar diversas outras ferramentas externas ao processo de concepção. O Archsim, criado para conectar o Rhino 3D/Grasshopper ao Energy Plus, possibilita a

integração do processo de concepção projetual à simulações termo-energéticas e aplicação de otimização baseada em simulação. O Archsim possui uma interface mais simplificada para usuários com pouca especialização em simulações termo-energéticas comparado a outro plug-in desenvolvido para o Grasshopper com a mesma finalidade: o Honeybee. Este trabalho visa avaliar o Archsim como ferramenta de conexão do Rhino/Grasshopper com o EnergyPlus, com o intuito de otimizar a forma segundo os parâmetros dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INSTITUTO..., 2012). Duas edificações foram usadas, uma com uma zona térmica e outra multi-zonas.

Pesquisas recentes sugerem que métodos de otimização aplicados ao projeto de edifícios são, em sua maioria, utilizados em pesquisas acadêmicas, ainda não sendo amplamente utilizados na indústria da construção civil (ATTIA et al., 2013 apud BUCKING, 2013). Apesar de se tratar de uma técnica ainda pouco difundida, Nguyen et al. (2014) e outros profissionais da área (ATTIA, 2012) defendem que os métodos de Otimização Baseada em Simulação são, sem dúvida, abordagens promissoras para alcançar metas de projetos energeticamente eficientes, abrindo uma nova era de design para arquitetos e engenheiros.

2 MÉTODOS

Para este trabalho foram desenvolvidos dois projetos para otimização da forma de edificações residencias: um abrigo emergencial, composto de uma única zona térmica (Figura 1); e uma edificação residencial unifamiliar, composta por uma sala, escritório, quatro dormitórios, banheiro e cozinha, divididos em dois pavimentos (Figura 2).

Figura 1 – Abrigo emergencial

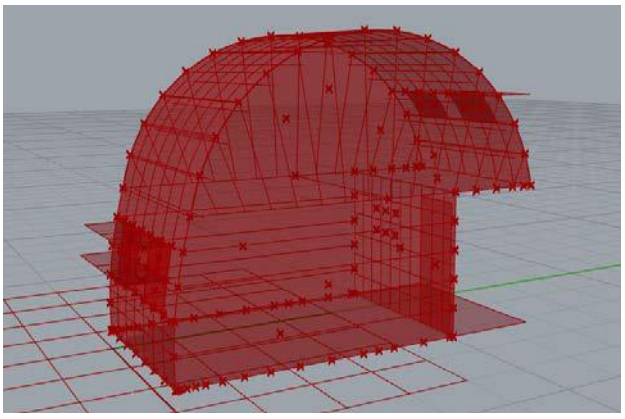
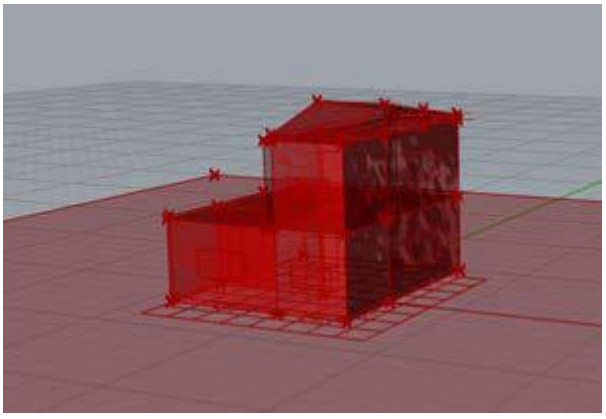


Figura 2 – Edificação residencial



Fonte: Acervo pessoal

Realizou-se otimizações multiobjetivo para ambos os casos. A otimização do abrigo tinha como objetivos encontrar a forma que proporcionasse o melhor

desempenho térmico - tanto para verão quanto para inverno - para quatro zonas bioclimáticas brasileiras; e a otimização da edificação residencial tinha como objetivos encontrar a forma com o melhor desempenho térmico e menores custos de materiais construtivos para a cidade de Viçosa-MG[2], localizada na Zona Bioclimática 3. Tendo por objetivo comum para os dois casos a otimização da forma com base no desempenho térmico das edificações e considerando restrições formais e estruturais distintas e impostas a cada projeto, foram determinadas variáveis que causariam um impacto no desempenho térmico de cada caso. Para o caso do abrigo, foram criadas variáveis referentes ao pé-direito total, pé-direito do mezanino, área de abertura de janelas, comprimento das proteções solares e espessura dos revestimentos da envoltória. Para o caso da edificação residencial, por se tratar de um modelo multi-zonas, as variáveis foram simplificadas. Elas constavam em pé-direito de cada pavimento, altura do telhado, comprimento e largura de cada ambiente de permanência prolongada, e espessura das lajes.

Para as simulações de desempenho térmico foi adotado o plug-in Archsim 1.4.0.1, utilizando-se os parâmetros de quantificação do resfriamento e aquecimento da envoltória naturalmente ventilada, de acordo com o método de simulação do RTQ-R (INSTITUTO..., 2012). Foram avaliadas a liberdade de composição formal permitida pelo Archsim/Energy Plus para os casos de uma ou múltiplas zonas térmicas; a adequabilidade do plugin para o desenvolvimento de projetos de otimização baseada em simulação seguindo o método de simulação do RTQ-R para ambientes naturalmente ventilados; e se o Archsim versão 1.4.0.1 possibilita ao usuário inserir todos os dados de entrada determinados pelo RTQ-R, tais como padrões de uso e cargas internas recomendadas (INSTITUTO..., 2012), para o método de simulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para descobrir as limitações do Archsim relacionadas ao processo de projeto e à aplicação do método de simulação do RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) para determinação da eficiência energética das edificações, os protótipos foram modelados através do plug-in Grasshopper. Nenhum componente das edificações foi modelado diretamente no Rhinoceros, uma vez que as edificações deveriam ser modeladas através de parâmetros, com destaque para as variáveis da forma. Nos tópicos 3.1 a 3.5 são discutidos os potenciais e limitações do Archsim em relação ao desenvolvimento de projetos com o uso de otimização baseada em simulações termo-energéticas.

3.1 Quanto à criação formal

[2] Viçosa-MG – latitude 20°45'14" S, longitude 42°52'54" O, altitude 649 m.

O Archsim 1.4.0.1 permite a modelagem de zonas térmicas através de duas alternativas: a inserção de uma geometria única (por exemplo, uma caixa), em que o plug-in automaticamente identifica quais superfícies são consideradas paredes, piso e cobertura (Figura 3a), ou a modelagem de uma zona por meio de superfícies (Figura 3b), em que é permitido ao usuário uma maior liberdade de criação formal em relação à anterior, pois permite a criação individual de superfíceis, a atribuição de suas funções (parede, piso ou cobertura) e a união destas através do componente de criação de zonas do Archsim – como realizado no processo de modelagem do abrigo emergencial e do telhado da edificação residencial.

Figura 3: Modelagem de zonas térmicas a partir de uma geometria única (a) e por meio de superfícies (b)



(a) (b)

Fonte: Acervo pessoal

No entanto, o componente de criação de zonas térmicas por superfícies não permite ao usuário atribuir um nome à zona, e, nesta versão do plug-in o nome "*manualZone0*" é atribuído para todas as zonas criadas por meio deste método, o que ocasiona uma falha durante as simulações do Energy Plus. Desta forma, para os usuários do plug-in que não possuem conhecimentos de programação (o que poderia provavelmente contornar esta limitação), não é aconselhável utilizar este componente mais do que uma vez ao se trabalhar com um modelo multi-zonas[3].

Outra limitação do Archsim/Energy Plus em relação à liberdade de composição formal se refere à geometria das superfícies, que devem ser sempre planas. Desta forma, a volumetria do abrigo emergencial só foi viabilizada através da criação de várias superfícies planas que, em contato, geram a curva de uma das paredes e da cobertura. Todas as aberturas para ventilação foram criadas no mesmo plano das superfícies de vedação em que estavam inseridas.

3.2 Quanto ao modelo *Airflow Network* do *Energy Plus*

[3] Na versão 1.6.0.3, lançada após a conclusão desta pesquisa, o autor do plugin, considerando discussões e sugestões dos usuários do plugin, realizou alterações ao componente, solucionando o problema apresentado na versão avaliada.

O Archsim 1.4.0.1 possui dois modelos de ventilação natural: "*Simple Airflow Objects*", modelo simplificado e indicado para zonas com uma única abertura; e "*Airflow Network*", recomendado para modelos multi-zonas em que existem trocas de ar entre as zonas. Só é possível a escolha de um dos modelos de ventilação para o projeto modelado, e o *Airflow Network* exige que existam duas aberturas para ventilação em todas as zonas térmicas. No caso do modelo da edificação residencial, foi necessário criar uma cobertura ventilada, pois esta foi modelada como uma zona térmica. As aberturas para ventilação podem ser mínimas, de modo que o usuário dos programas possa considerá-las nulas durante a análise dos resultados, caso a cobertura não seja de fato ventilada.

No modelo de ventilação não é possível determinar o perfil da rugosidade do solo (campo, subúrbio ou periferia, centro urbano, litoral, área urbana), para correção dos dados de velocidade do vento do arquivo climático (INSTITUTO..., 2012). O coeficiente de rugosidade do entorno é sempre 0,22 (ASHRAE, 2001 *apud* ENERGY PLUS 2014a), correspondendo a uma região de subúrbio (área mais arborizada) (ENERGY PLUS, 2014b). O RTQ-R indica um coeficiente de 0,33, representativo de um centro urbano em que "pelo menos 50% das edificações possuem altura maior que 21m" (INSTITUTO..., 2012). Este aspecto já compromete um projeto a ser etiquetado, sendo necessário que, após obtidos os resultados otimizados, o modelo escolhido seja reavaliado por simulação no Energy Plus para confirmação do nível de eficiência energética alcançado.

3.3 Quanto à ocupação dos ambientes

O Archsim permite a modelagem dos horários de ocupação de cada zona térmica em função da área do ambiente, o que é adequado para ambientes de escritório ou edificações em que a área dos ambientes é fixa. O RTQ-R indica uma ocupação de 2 pessoas por dormitório, e para salas e ambientes similares, a população dos dormitórios da edificação deve ser distribuída entre os ambientes. No caso da modelagem paramétrica em que a área de um ambiente é um parâmetro a ser otimizado, não é possível determinar uma carga de ocupação constante utilizando-se o Archsim 1.4.0.1. Além disso, a taxa metabólica dos ocupantes da edificação é sempre 120W. Para atendimento ao RTQ-R (taxas metabólicas de 108W e 81W para salas e dormitórios respectivamente), a taxa de ocupação dos ambientes deve ser alterada para adequação a estas. Para um dormitório, em vez de 2 pessoas, deve-se determinar uma ocupação de 1,48 pessoas, o que corresponderia a duas pessoas com taxa metabólica de 81W de acordo com o RTQ-R, por exemplo.

3.4 Quanto à criação de materiais

O Archsim 1.4.0.1 possui uma biblioteca de materiais construtivos e permite a modelagem destes. Os dados de entrada para materiais opacos são: rugosidade, condutividade térmica, densidade, calor específico e absortância térmica, solar e visível. A criação de uma câmara de ar pelo plug-in só pode ser efetivada como um material modelado pelo usuário, e, na biblioteca *default* do plug-in não existe ainda o material "ar"; todavia não é possível estabelecer valores nulos para densidade e condutividade térmica, que corresponderiam às propriedades térmicas do ar, quando este é modelado como um material. O Archsim estabelece valores mínimos por *default* para estas propriedades, sendo 0,023 W/m.K o valor mínimo para a condutividade térmica e 10 kg/m² o valor mínimo para a densidade. Além disso, as portas internas das edificações devem ser modeladas como janelas internas, tendo o vidro como material constituinte.

3.5 Quanto ao modelo de ar condicionado

O RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) determina como indicadores de desempenho da envoltória das edificações naturalmente ventiladas os graus-hora de resfriamento para o verão e o consumo por aquecimento para o inverno. O componente do Archsim que realiza o intercâmbio de dados com o Energy Plus recebe diversos dados de saída das simulações; entre eles a temperatura operativa horária de cada zona térmica, que é utilizada para cálculo dos graus-hora de resfriamento através de equações criadas com componentes matemáticos do Grasshopper. Entretanto, o Archsim não permite a modelagem de parâmetros de ar-condicionado, condição requerida pelo RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) para obtenção do consumo por aquecimento da envoltória. Sendo assim, o método de etiquetagem de edificações residenciais por simulação não pode ser aplicado através da modelagem pelo Archsim. Além disso, mesmo se a opção de refrigeração do Archsim (*Ideal Loads*) pudesse ser utilizada para a simulação, o Archsim 1.4.0.1 não permite a determinação de um padrão de uso de disponibilidade do ar condicionado (o RTQ-R determina que a edificação deve ser condicionada artificialmente entre 21 e 8h com a temperatura do termostato de aquecimento de 22°C para as ZB's 1 a 4), apenas a sua temperatura de *setpoint*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um contexto em que a demanda por projetos de edificações de alto desempenho se torna crescente, faz-se necessário que a familiariadade com programas de simulação de desempenho também cresça no mercado da construção civil. E a otimização da forma ou de componentes construtivos de edificações associada à simulação insere-se como um método eficiente para o alcance de soluções projetuais mais sustentáveis. No entanto, muitas vezes, os programas criados apresentam interfaces complexas e demandam um longo tempo para familiarização dos usuários. O Archsim 1.4.0.1, apesar de apresentar

uma interface mais amigável para iniciantes em simulações temo-energéticas, apresentou diversas restrições em relação à criação da forma das edificações nas simulações para a otimização. Conclui-se que, para a aplicação do RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) e para determinação do nível de eficiência energética de edificações residenciais, ainda são necessários aprimoramentos do plug-in. Desse modo, quando todos os parâmetros determinados pelo RTQ-R puderem ser inseridos, o projetista terá maior liberdade na criação dos parâmetros a serem otimizados. Deve-se ressaltar que usuários do plug-in podem fazer sugestões ao seu desenvolvedor para que aprimoramentos possam ser incorporados em novas versões lançadas, como foi comprovado pelos autores após o lançamento da versão 1.6.0.3. Desta forma, com um aumento de sua aplicação no contexto brasileiro, o plug-in apresenta um grande potencial de aplicação na modelagem paramétria e otimização de edificações seguindo os regulamentos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações no Brasil.

A parametrização e otimização aplicadas à arquitetura são abordagens que exigem sistematização projetual, desde a concepção até à finalização. Este método de trabalho altera os padrões de concepção e de gerência de projetos. O edifício não é pensado apenas em termos de volumes abstratos, mas como entidade com variáveis expressas matematicamente. Esta é uma área de pesquisa em crescimento e que exige trabalho multidisciplinar, pois compreende a arquitetura, as engenharias e a computação.

São necessárias novas pesquisas para que estes programas sejam utilizados plenamente na prática profissional. Neste sentido, para abarcar estes métodos multidisciplinares, é preciso que os profissionais estejam constantemente atualizando seus conhecimentos. O surgimento e aumento do uso dessas tecnologias, como parametrização e simulação termoenergética, parte de uma demanda atual por sustentabilidade nos empreendimentos construtivos, indicam algumas tendências para o novo panorama de trabalho dos profissionais de arquitetura.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fapemig e ao CNPq pelo suporte e financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ATTIA, Shady. **Computacional Optimisation for Zero Energy Building Design - Interviews with Twenty Eight International Experts**. International Energy Agency (IEA) Task 40: Towards Net Zero Energy Buildings Subtask B; 2012.

BUCKING, Scott. **Pathways to Net-Zero Energy Buildings: An Optimization Methodology**. PhD Thesis in Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montreál, Québec, Canada, 2013.

ENERGY PLUS Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculations. Illinois: EnergyPlus, 25 set. 2014.

ENERGY PLUS Input Output Reference. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. Illinois: EnergyPlus, 29 set. 2014.

FLORIO, W. Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 6, n.2, p. 43-66, dez. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Portaria n.18.

MAGNIER, Laurent. **Multiobjective Optimization of Building Design Using Artificial Neural Network and Multiobjective Evolutionary Algorithms** . Ph.D Thesis in Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montreál, Québec, Canada, 2008.

NGUYEN, Anh-Tuan; REITER, Sigrid; RIGO, Philippe. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. **Applied Energy**, Elsevier, n.113, ago. 2014.

OXMAN, R. Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. **International Journal of Architectural Computing**, v. 6, n. 01, p. 1-17, 2008.

SHI, Xing; YANG, Wenjie. Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. **Automation in Construction**, Elsevier, n. 32, jan. 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO IMPACTO DE PONTES TÉRMICAS NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS 1, 2 E 3[1]

FREITAS, Julye M. R. (1); LEITZKE, Rodrigo K. (2); GIOIELLI, Beatriz I. (3); CUNHA, Eduardo G. (4);

(1) UFPEL, e-mail: juramalhof@hotmail.com; (2) UFPEL, e-mail: rodrigokarinileitzke@gmail.com; (3) UFPEL, e-mail: beagioielli@gmail.com; (4) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

O consumo de energia elétrica atinge índices cada vez maiores. As edificações são as principais responsáveis por esse aumento de consumo. Nesse sentido, a busca por construções com menor impacto energético passou a ser essencial. No contexto das edificações, as pontes térmicas são pontos frágeis do envoltório, onde a resistência térmica varia consideravelmente entre dois pontos distintos, seja por troca de materiais com diferentes condutividades, alteração na espessura da estrutura ou em ligações de parede, piso ou teto. A existência de pontes térmicas em uma edificação pode ser favorável ou não para obtenção do conforto térmico esperado. O objetivo deste trabalho é analisar o impacto das pontes térmicas no consumo de energia em edificações residenciais nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. O método é caracterizado pela definição de casos bases e simulações computacionais dos casos com a presença e ausência de pontes térmicas nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. Os resultados mostram que, independente da zona bioclimática, a absortância solar é o fator mais impactante nos níveis de consumo energético. Paredes com ou sem pontes térmicas com baixa absortância ocasionam menor consumo e esse consumo aumenta gradativamente conforme o aumento da absortância.

Palavras-chave: Pontes térmicas, eficiência energética, simulação computacional.

ABSTRACT

The electricity consumption is reaching even higher indexes. The buildings are the main responsible for this increase in consumption. Based on this, the search for buildings with lower energy impact has become essential. Thermal bridges are weak points of buildings where the thermal resistance varies considerably between two distinct points, either by exchange of materials with different conductivities, change in thickness of the structure or wall, floor or ceiling connections. The existence of thermal bridges in a building can be favorable or not to obtain the expected thermal comfort. The purpose of this study is to analyze the impact of thermal bridges in energy consumption in residential buildings in bioclimatic zones 1, 2 and 3. The method is characterized by determination of default cases and computer simulations of this cases with the presence and absence of thermal bridges in bioclimatic zones 1, 2 and 3. The results show that regardless of the bioclimatic zone, solar absorptance is the most striking

[1] FREITAS, Julye M. R.; LEITZKE, Rodrigo K.; GIOIELLI, B. I.; CUNHA, Eduardo G. Análise do impacto de pontes térmicas no consumo de energia em edificações nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

factor in power consumption levels. Walls with or without thermal bridges with low absorbance cause lower consumption and that consumption increases gradually with the increase in absorptance.

***Keywords**: Thermal bridge, Energy efficieny, computer simulation.*

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo de forma desenfreada. As edificações representam hoje 50% do consumo de energia elétrica, sendo o setor residencial o maior consumidor, responsável por 24,9% deste, seguido do setor comercial 17,1% e do setor público 8% (BEN, 2015).

No Brasil, as discussões sobre eficiência energética só começaram a ganhar importância depois de 2001, com a crise no setor energético, que obrigou o país a buscar medidas mais eficientes, junto à racionalização do consumo de energia elétrica.

Em 2005, surgiram as primeiras normas de avaliação do desempenho térmico no país. A primeira foi a NBR 15.220, que na sua segunda parte apresenta cálculos que possibilitam avaliar o desempenho térmico de edificações de interesse social. Nesta norma, na terceira parte, encontra-se o zoneamento bioclimático brasileiro, o qual estabelece diretrizes e estratégias bioclimáticas para as diferentes oito zonas do país. Em seguida, em 2008 foi publicada a primeira versão da NBR 15.575, que avalia o desempenho de edificações residenciais e define 13 aspectos a serem considerados durante a análise do edifício residencial. Essa norma foi atualizada em 2013 quando efetivamente passou a vigorar.

Nenhuma das duas normas apresenta qualquer consideração sobre pontes térmicas nos cálculos de transmitância térmica. A existência de pontes térmicas nas edificações pode promover o aumento das trocas de calor na envoltória, por serem pontos fracos, onde o fluxo de calor passa de maneira diferente e com mais facilidade. Isso influencia diretamente no comportamento do consumo energético.

Na esfera internacional, as consequências das pontes térmicas em edificações já são consideradas, e, já existem normas que tratam desse tema. As normas suíças EN ISO 14.683 (2007) e EN ISO 10.211 (1995) determinam métodos detalhados para cálculos de pontes térmicas. As normas argentinas IRAM 11.630 (2000) e IRAM 11.605 (1996) determinam respectivamente procedimentos para avaliação dos riscos de condensação superficial e valores máximos de transmitância térmica em fechamentos opacos. A norma alemã DIN 4108 (2013) aborda assuntos como proteção contra umidade e possibilidade de formação de bolor, métodos de cálculo e orientações para construção. Ainda existe a Regulamentação Térmica Portuguesa (RCCTE) que apresenta métodos de cálculo de pontes térmicas simplificados.

1.1 Pontes Térmicas

Ponte térmica é um termo que designa toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação a zona corrente.

Segunda a norma EN ISO 10.211-1 (1995), as pontes térmicas caracterizam uma parte envolvente dos edifícios onde a resistência térmica é modificada por:

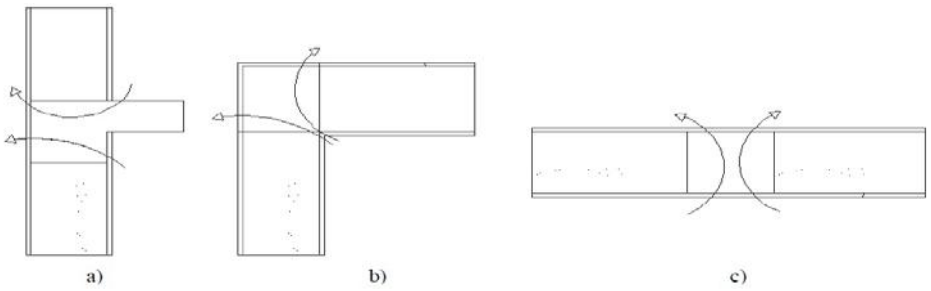
- Uma penetração total ou parcial da envolvente do edifício por materiais de condutividade térmica diferente;
- Uma mudança na espessura da estrutura;
- Uma diferença entre as estruturas externas e internas, como ocorre nas ligações parede/piso/teto.

Em todos esses casos o fluxo de calor procura o caminho no qual a resistência térmica seja menor. Sendo essa em função da distância entre pontos e da condutividade térmica do material.

Na Figura 1 podemos observar três tipos diferentes de pontes térmicas que podem ocorrer nas edificações:

a) Corte vertical de uma ponte térmica devido à ligação da fachada com a laje;
b) e c) corte horizontal de uma ponte térmica devido a ligação entre duas paredes verticais com transmitâncias diferentes.

Figura 1: Tipos de pontes térmicas



Fonte: Pessoa (2011)

Em estudo realizado por Gioielli et al. (2014), os quais analisaram o impacto de pontes térmicas em estruturas de concreto armado no desempenho energético de edifício hoteleiro para quatro zonas bioclimáticas brasileiras, observou-se que para edificações com PAFT (percentual de área de abertura na fachada total) de 30% a 45% as pontes térmicas implicam em uma diminuição da estimativa de consumo, que dependendo da zona bioclimática pode chegar a 10%. No caso de 60% de PAFT a não consideração da ponte térmica pode representar um aumento de até 4% na estimativa de consumo dependendo da zona climática brasileira.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar o impacto das pontes térmicas em edificações residenciais com estrutura de concreto armado nas zonas bioclimáticas brasileiras 1, 2 e 3.

3 MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas. Na primeira etapa foi definida a tipologia a ser estudada. Decidiu-se por uma edificação de quatro pavimentos e utilizou-se a configuração conforme recomenda o RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, observando as características de uso e ocupação, densidade de carga interna (Quadro 1), ar condicionado durante a noite e ventilação natural durante o dia.

A segunda etapa é referente à modelagem e configuração da edificação e dos casos a serem simulados. Foi utilizado o software *DesignBuilder* versão 3.1.0.036, e foram modelados dois edifícios, um modelo considerando a presença de pontes térmicas na estrutura das paredes e outro não considerando a presença de pontes térmicas. Para modelagem com e sem pontes térmicas, devido à limitação do programa utilizado, foram necessárias adaptações no modelo, calculando paredes equivalentes conforme caracterizado no subitem 3.1.3.

Na terceira etapa, buscando otimizar o tempo necessário para as simulações e alterações dos parâmetros caso a caso, foi desenvolvido um trabalho de otimização das simulações.

Após a modelagem do modelo e a configuração dos casos através do programa *DesignBuilder* versão 3.1.0.036 , deu-se início às simulações, que foram realizadas no *software EnergyPlus* – quarta etapa da pesquisa. O edifício residencial foi simulado com distintas configurações. As alterações em cada caso estão demonstradas na Tabela 1: a espessura da parede, a fim de obter diferentes transmitâncias térmicas alcançadas a partir do cálculo da parede equivalente, e a absortância solar, variando de uma cor clara a uma escura, fundamentado nos dados da NBR 15.575 (2013). Permaneceram inalteradas, em todos os casos, a densidade de iluminação e densidade de carga de equipamentos, referenciados pela norma NBR 16.401 (ABNT, 2008) e pelo RTQ-R (2012).

Um total de 32 configurações foram simuladas para cada uma das 3 primeiras zonas bioclimáticas brasileiras, representadas pelas cidades de Curitiba, Santa Maria, Florianópoilis, respectivamente.

A quinta e última etapa, foi a análise e discussão de resultados, visando entender o comportamento da edificação e a influência das pontes térmicas em edifícios residenciais.

3.1 Definição das tipologias e características de uso e ocupação

O Quadro 1 caracteriza a tipologia analisada. Para a simulação dos casos sem a presença das pontes térmicas escolheu-se um sistema autoportante de cerâmica e para o caso com a presença das pontes térmicas, um sistema de esqueleto estrutural de concreto armado. A fim de representar no primeiro caso a forma mais usual de modelagem computacional, desconsiderando o sistema estrutural, e no segundo caso, utilizar um sistema estrutural de maior impacto na composição dos fechamentos verticais.

Quadro 1: Tipologia e uso

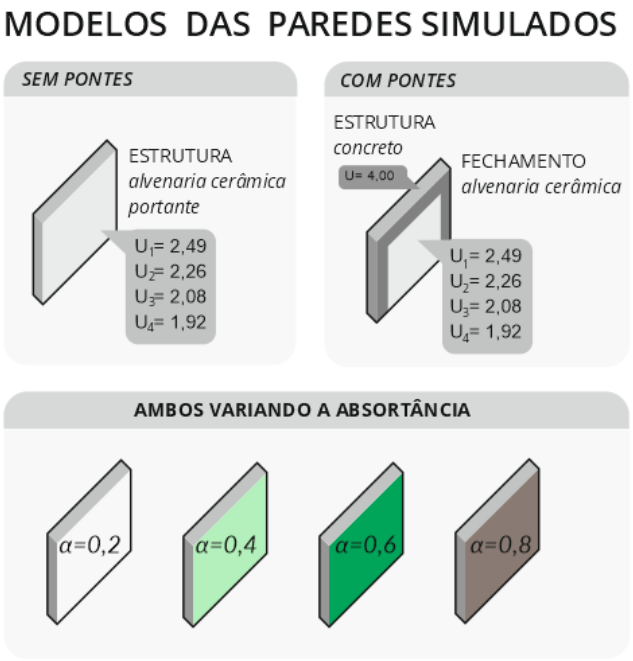
Dimensão		23m x 8,5m	
Número de pavimentos		4	
Ambiente	Atividade Realizada	Calor Produzido	Calor produzido para área de pele = 1,80 m²
		(W/m²)	(W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81
Sistema de ar condicionado (HVAC)		COP 3,00 (resfriamento) COP 2,75 (aquecimento)	

Fonte: RTQ-R (2012)

3.1.2 Definição dos parâmetros

Para que se pudesse avaliar o impacto da presença de pontes térmicas em edificações residenciais nas zonas bioclimáticas brasileiras, optou-se pela simulação computacional de um mesmo edifício com alterações de parâmetros nos materiais presentes nos fechamentos. Definiram-se diferentes valores de transmitância térmica e absortância solar. Para transmitância térmica foi utilizado o valor limite para zonas mais frias (2,50 W/m²K), estabelecido pela NBR 15.575, as demais configurações de transmitância (2,26, 2,08 e 1,92 W/m²K) buscaram resultados para prédios mais isolados, observando a variação da posição do tijolo furado na parede, considerando sua menor e sua maior dimensão. A variação de absortância solar também está dentro dos valores estabelecidos pela norma. (Figura 2).

Figura 2: Parâmetros para simulação



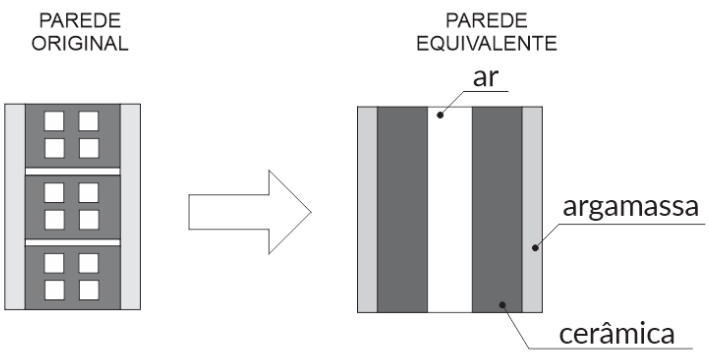
Fonte: Autores

3.1.3 Definição da parede equivalente

No mundo real os fechamentos, principalmente de alvenaria cerâmica são formados por camadas heterogêneas. Considerando que o software *EnergyPlus 8.3*, utilizado para simulação computacional, entende os fechamentos como compostos por camadas homogêneas, tiveram que ser feitas alterações nos modelos a serem simulados. Em ambos os casos, com e sem pontes térmicas, é necessário calcular uma parede equivalente, com as mesmas propriedades de transmitâncias e capacidade térmica da parede real.

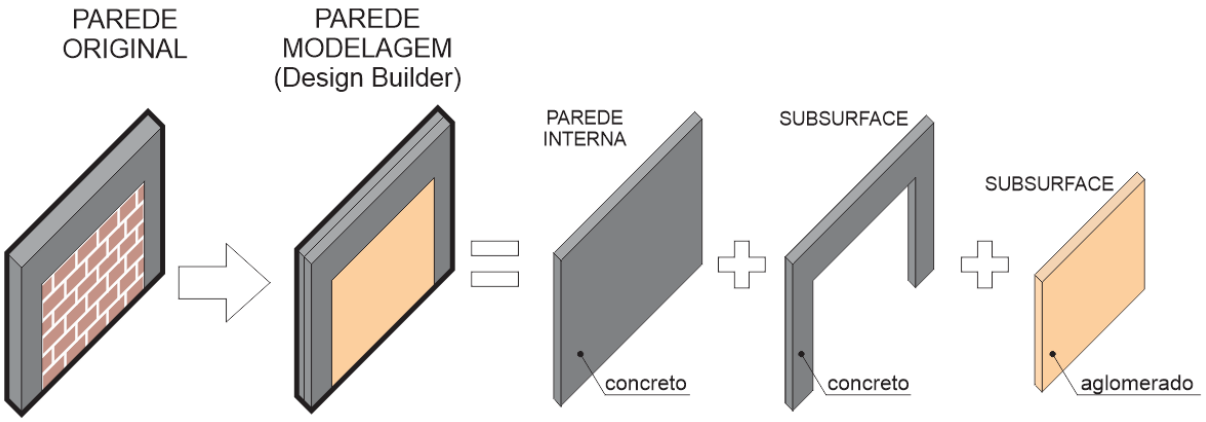
A transformação da parede real para a equivalente é exemplificada na Figura 3, cujas dimensões dos casos com e sem pontes térmicas são demonstradas nas Tabelas 1 e 2.

Figura 3: Parede equivalente



Fonte: Autores

Figura 4: Parâmetros para simulação



Fonte: Autores

Nos modelos com pontes térmicas, houve uma maior complexidade em relação à modelagem computacional, já que o programa *DesignBuilder*, também não reconhece fechamentos verticais heterogêneos ao utilizar os recursos básicos que esse oferece. No entanto, conseguiu-se simular o efeito do sistema estrutural de concreto armado e com isso, simular a presença de pontes térmicas que ocorrem nesse caso, quando a direção do fluxo térmico é alterada por condutividades térmicas diferentes presentes na envoltória. Para tanto, foi utilizado elementos nomeados *subsurfaces*, que permitem sobrepor elementos, no caso o concreto, às paredes, de modo a recriar o efeito de uma estrutura de concreto armado com fechamento em alvenaria. A parte que representa a alvenaria de fechamento aparece representada como uma *subsurface* de aglomerado sobreposta à parede de concreto. Foi escolhido um aglomerado de baixa transmitância térmica, a fim de evitar os efeitos do acúmulo de calor na estrutura externa do edifício.

As paredes, tanto a equivalente como a modelada, são consideradas no modelo como um conjunto, apesar de serem compostas por diversos elementos. As Tabelas 1 e 2 mostram apenas as alterações que ocorrem nos elementos. No caso da parede equivalente a camada de ar permanece inalterada 2cm, assim como a espessura de reboco 2cm para cada lado. No caso da parede modelada, com pontes, a parede interna de concreto permanece com a mesma espessura 8cm, variando os demais elementos. As absortâncias foram alteradas nos elementos em contato com o exterior, da parede como um todo e não de elementos isolados.

3.2 Definição dos parâmetros e geração dos casos

Para evitar a tarefa de configurar todos os casos manualmente a solução prática encontrada foi implementar um algoritmo, que dado um arquivo de entrada no formato idf – formato exportado pelo *DesignBuilder* – fosse

possível gerar um total de 32 configurações para a análise, com suas respectivas modificações indicadas nas tabelas a seguir.

Tabela 1- Casos sem pontes térmicas

	Transmitância	Espessura Total	Espessura da Cerâmica	Densidade da Cerâmica	Absortância do Revestimento
Caso 01	2,49 W/m²K	0,11 m	0,026 m	457,31 Kg/m³	0,2
Caso 02					0,4
Caso 03					0,6
Caso 04					0,8
Caso 05	2,26 W/m²K	0,15 m	0,03 m	396,34 Kg/m³	0,2
Caso 06					0,4
Caso 07					0,6
Caso 08					0,8
Caso 09	2,08 W/m²K	0,17 m	0,04 m	297,25 Kg/m³	0,2
Caso 10					0,4
Caso 11					0,6
Caso 12					0,8
Caso 13	1,92 W/m²K	0,20 m	0,06 m	198,17 Kg/m³	0,2
Caso 14					0,4
Caso15					0,6
Caso 16					0,8

Fonte: Autores

Tabela 3- Casos com pontes térmicas

	Transmitância	Espessura do Aglomerado	Densidade do Aglomerado	Absortância do Revestimento
Caso 17	2,49 W/m²K	0,011 m	553,35 Kg/m³	0,2
Caso 18				0,4
Caso 19				0,6
Caso 20				0,8
Caso 21	2,26 W/m²K	0,015 m	405,79 Kg/m³	0,2
Caso 22				0,4
Caso 23				0,6
Caso 24				0,8
Caso 25	2,08 W/m²K	0,017 m	358,05 Kg/m³	0,2
Caso 26				0,4
Caso 27				0,6
Caso 28				0,8
Caso 29	1,92 W/m²K	0,020 m	304,34 Kg/m³	0,2
Caso 30				0,4
Caso 31				0,6
Caso 32				0,8

Fonte: Autores

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

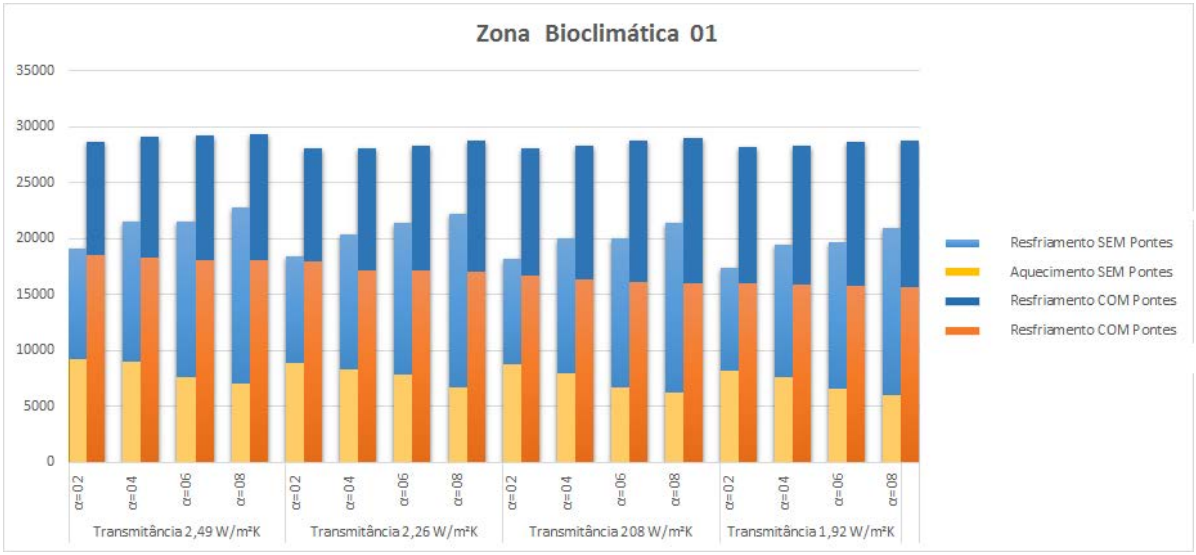
O processo de análise dos resultados obtidos foi desenvolvido através de comparações das edificações com que consideravam e que não consideravam a presença de pontes térmicas na composição da parede. Para estas comparações foram considerados, segundo o RTQ-R, os mesmos

valores para uso e ocupação, equipamentos, iluminação e densidade. Em ambas as edificações simuladas, o valor encontrado para o consumo de energia em iluminação em todos os casos foi de 5487,1 kWh/ano e para equipamentos o valor obtido como consumo foi de 4198,2 kWh/ano. Embora os valores de consumo em iluminação e equipamento apresentados sejam expressivos dentro do consumo de energia da edificação, por apresentarem valores constantes em todos os casos simulados, esses dados não foram considerados nas comparações apresentadas a seguir. Destaca-se inicialmente, que o modelo não é sensível à variação da transmitância térmica entre o caso mais isolado (1,92 Wm²/K) e o menos isolado (2,49 Wm²/K). Embora trabalhos como o de Pacheco (2012) evidenciem que envelopes super isolados com transmitância térmica baixa (0,10 Wm²/K, paredes, 0,13 Wm²/K, cobertura e 0,11 Wm²/K, piso) apresentam desempenho termoenergético superior a fechamentos menos isolados (1,86 Wm²/K, paredes, 3,47 Wm²/K, cobertura e 1,31 Wm²/K, piso). A pequena variação de transmitância térmica é relacionada às possíveis posições do tijolo furado na parede, na sua menor e maior dimensão.

4.1 Zonas bioclimáticas 1 e 2

A análise envolvendo as zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 2, zonas que possuem temperaturas baixas no inverno, apresentam um comportamento relacionado ao consumo de energia muito semelhante em ambos os casos, representados neste trabalho pela zona bioclimática 1 (Figura 4). Em todos os casos, edificações que não consideram a presença de pontes térmicas na composição da parede apresentam um consumo total de energia, para aquecimento e resfriamento, menor quando comparado às edificações que possuem pontes térmicas. Analisando o gasto de energia com aquecimento, os fechamentos sem a presença das pontes térmicas seguem mais econômicos, no caso mais extremo há uma diferença de 67% no consumo de energia entre casos com e sem pontes térmicas na zona bioclimática 1. Para avaliação do resfriamento ocorre o contrário, a maior parte dos casos com a presença de pontes térmicas possuem um consumo menor, apresentando uma diferença de até 81% no caso mais extremo na zona bioclimática 1. Esse valor elevado é compensado pela grande diferença no consumo de aquecimento entre todos os casos.

Figura 4: Zona Bioclimática 1



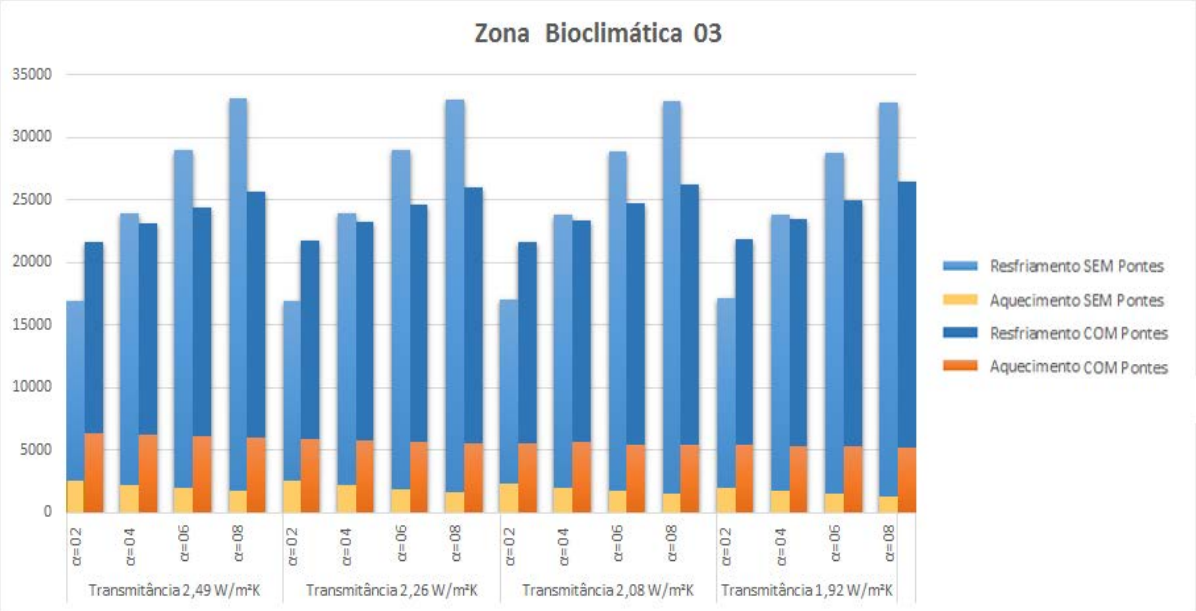
Fonte: Autores

Pode-se observar também que em todos os casos, independentemente do nível de isolamento, quando a absortância solar é menor o consumo energético é menor, subindo gradativamente conforme o aumento da absortância. Em uma média de todos os casos simulados nas zonas bioclimáticas 1 e 2, edificações sem pontes térmicas podem representar 13% de redução no consumo de energia total de uma edificação residencial.

4.2 Zona bioclimática 3

A análise da zona bioclimática 3, que possui um rigor climático no inverno menor do que as zonas bioclimáticas 1 e 2, mas ainda com estação fria bem definida, apresenta um comportamento distinto, quando comparado às situações analisadas nas primeiras zonas bioclimáticas. Na maioria dos casos, o edifício residencial simulado com a presença de pontes térmicas na composição da parede apresenta um consumo menor de energia, considerando aquecimento e resfriamento, se comparado aos casos sem a presença de pontes térmicas, exceto para quando a absortância solar apresenta o seu menor valor (Figura 5). Para avaliação do consumo com aquecimento, percebe-se o mesmo padrão discutido nas zonas bioclimáticas 1 e 2, onde os casos sem a presença das pontes consomem menos energia, proporcionando uma economia de até 75% no caso mais extremo. Com relação ao resfriamento, os casos com a presença de pontes são mais econômicos, apresentando 59% de economia no consumo de energia.

Figura 5: Zona Bioclimática 3



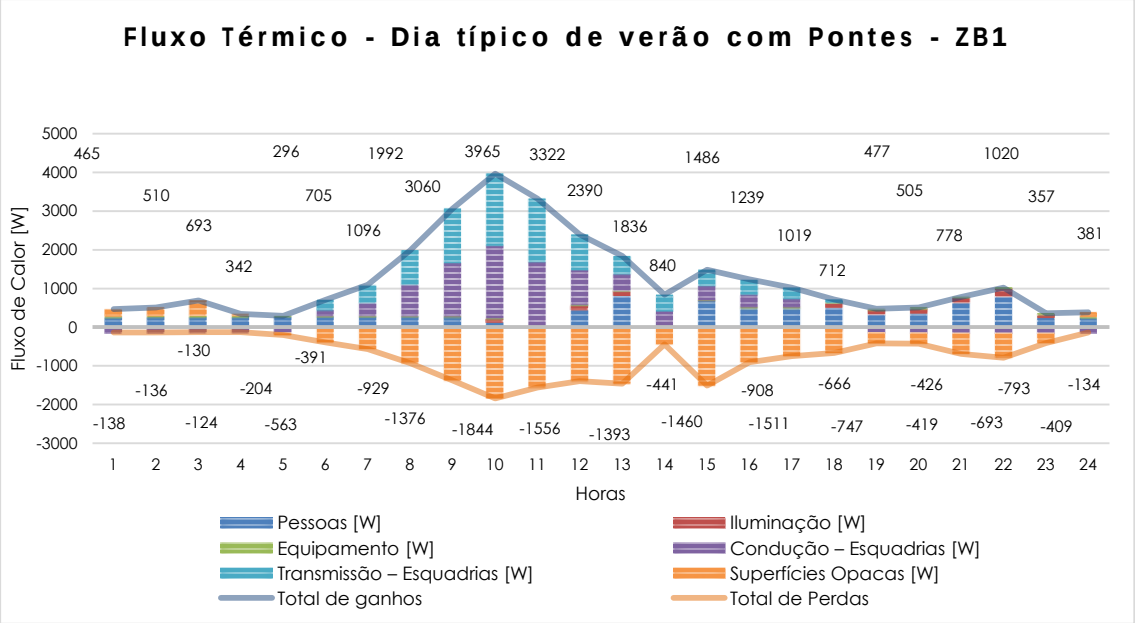
Fonte: Autores

A absortância solar continua sendo um parâmetro relevante no consumo de energia, em todos os casos com menor absortância, independente de nível de isolamento, o consumo de energia é menor. Na média de todos os casos simulados para a zona 3, as edificações simuladas com a presença de pontes térmicas na composição da parede, apresentam 7% de redução no consumo de energia através da simulação computacional, em relação aos casos sem a presença de pontes térmicas, nesta zona.

4.3 Balanço térmico da edificação

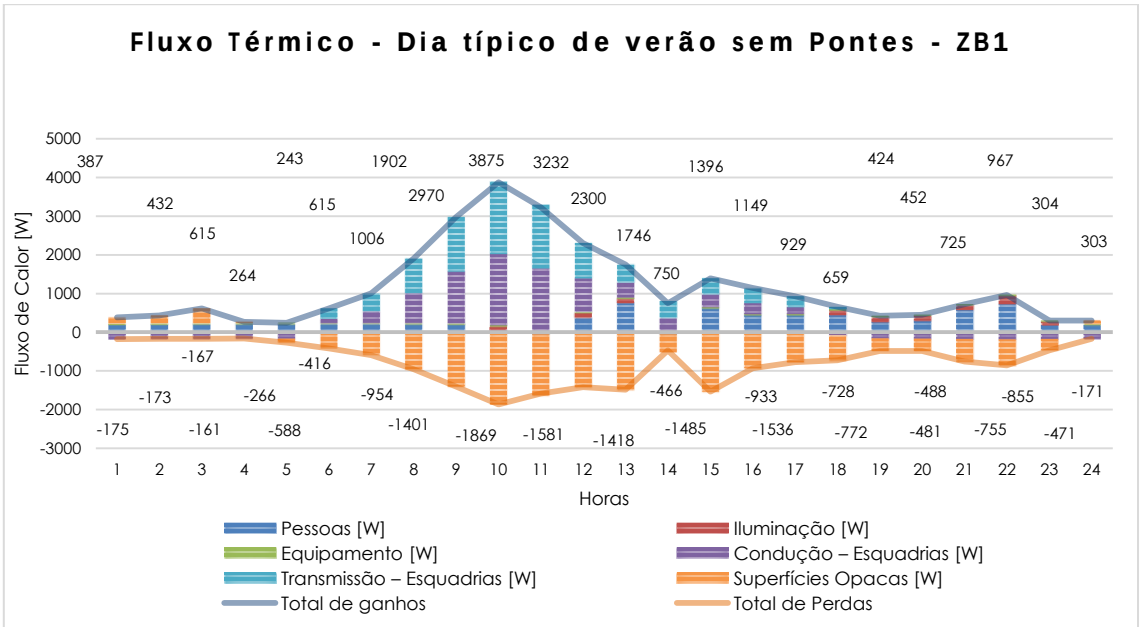
Para complementar a análise dos resultados discutidos anteriormente, optou-se por fazer um balanço do fluxo de perdas e ganhos de calor durante os dias típicos de inverno e verão da zona bioclimática 1 – representada neste trabalho por Curitiba – PR – para cada ambiente de permanência prolongada da edificação.

Figura 6: Fluxo Térmico para dia típico de verão Curitiba – PR, ZB1 Com Pontes Térmicas



Fonte: Autores

Figura 7: Fluxo Térmico para dia típico de verão Curitiba – PR, ZB1 Sem Pontes Térmicas



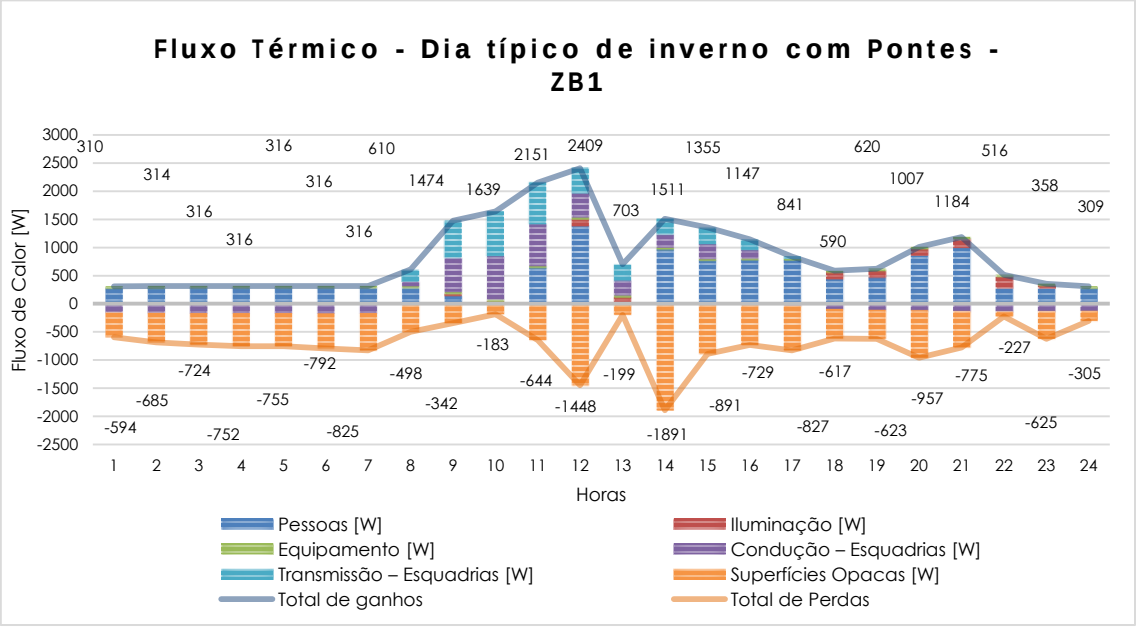
Fonte: Autores

É possível perceber uma similaridade no comportamento do fluxo de ganho e perda de calor na zona bioclimática 1, representada por Curitiba-PR (Figuras 6 e 7), tanto nas edificações com a presença de pontes térmicas na composição da parede, quanto nas edificações sem a presença de pontes térmicas.

Os índices que representam o ganho de calor por condução e transmissão das esquadrias, pessoas, iluminação apresentam a maior elevação nos

valores no período entre 6hrs e 13hrs nos dois contextos de paredes testados. Considerando a perda de calor nas superfícies opacas, a variação dos valores corresponde predominantemente ao período entre 6hrs e 23hrs, apresentando uma maior perda de calor do final da manhã ao início da tarde(das 10hrs às 13hrs).

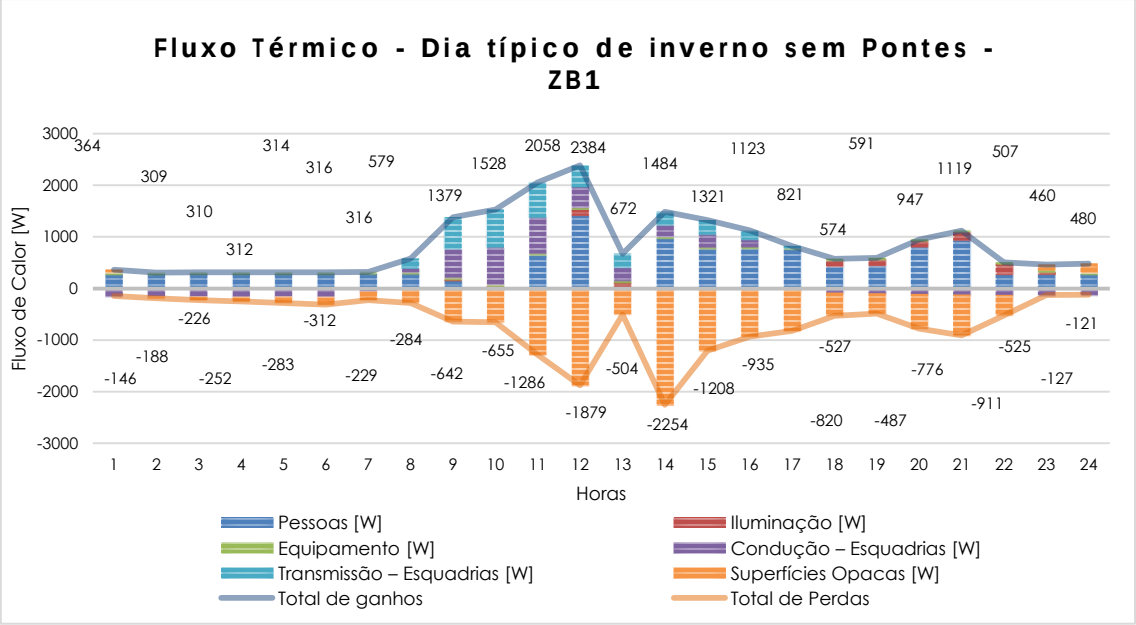
Figura 8: Fluxo térmico para dia típico de Inverno Curitiba – PR, ZB1 Com Pontes Térmicas



Fonte: Autores

No dia típicos de inverno para zona bioclimática 1, representada por Curitiba – PR (Figura 8), a presença das pontes térmicas na composição da parede com relação ao fluxo de ganho e perda de calor colaboraram para o aumento de calor na edificação (em especial no período entre às 8hrs e 21hrs) juntamente com os demais fatores presentes na análise. Além disso, as superfícies opacas influenciaram também na perda de calor da edificação durante boa parte do dia com picos as 11hs, 12 hs e 14hs.

Figura 9: Fluxo térmico para dia típico de Inverno Curitiba – PR, ZB1 Sem Pontes Térmicas



Fonte: Autores

No dia típico de inverno, para a mesma zona (Figura 9), na edificação sem a presença de pontes térmicas na composição das paredes, podemos perceber que, a ausência das pontes térmicas proporcionaram ganho de calor, principalmente no período das 9hs às 21hs e perda de calor no período das 9hs às 12hs e das 14hs às 21hs.

5 CONCLUSÕES

A elaboração deste trabalho contribuiu para ressaltar a importância da discussão envolvendo a consideração da presença das pontes térmicas na composição da estrutura da parede.

Comparando o efeito das pontes térmicas em edificações com fechamentos mais e menos isolados e diferentes absortâncias, verificou-se que a cor é a principal influência na alteração do consumo de energia. Observou-se também que a transmitância térmica (U) do envelope da edificação com as variações propostas no trabalho, não foi um dos fatores determinantes para alterações no consumo energético da edificação.

Quando a modelagem foi elaborada de maneira tradicional para simulação computacional, sem considerar a presença de pontes térmicas nos fechamentos verticais, para as zonas bioclimáticas 1 e 2 o consumo de energia foi menor quando comparado com os resultados do modelo simulado que considerou a presença de pontes térmicas. Já na análise de resultados da zona bioclimática 3, o modelo em que as pontes térmicas foram consideradas na modelagem para simulação, apresentou um consumo menor de energia, quando comparado com o modelo em que as pontes térmicas não foram consideradas.

De acordo com os resultados apresentados, para as zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 2 – zonas que possuem um clima frio no inverno – é possível observar que, quando não são consideradas na simulação as pontes térmicas, há uma previsão acima do consumo real de energia, visto que a presença das pontes térmicas nas edificações residenciais testadas nessas regiões apresentam um consumo de energia maior quando comparadas às edificações sem a presença de pontes térmicas. Já para zona bioclimática 3, com a inclusão das pontes térmicas na simulação computacional, é possível observar uma previsão abaixo do consumo real de energia, já que a presença das pontes térmicas colaborou para diminuir o consumo energético nesta zona.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro. 2005.

___**NBR 15575**: Desempenho de edifícios de até cinco pavimentos: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

BEN 2015 – **Balanço Energético Nacional 2015.** Disponível em < https://ben.epe.gov.br/ >. Acessado em abril de 2016.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NÖRMUNG. **DIN 4108** – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Alemanha, 2001.

GIOIELLI, B; ALMEIDA, A; CUNHA, E; FERRUGEM, A. Estudo do Efeito de Pontes Térmicas em Estruturas de Concreto Armado no Desempenho Energético de Edificio Hoteleiro Para 4 Zonas Bioclimaticas Brasileiras. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido. Anais do evento**. Alagoas, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14683** - Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — simplified methods and default values. Suiça: ISO, 2007.

__ **ISO 10211** - Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations. Suiça: ISO, 2007.

INMETRO - Instituto Nacional de Metereologia, Normalização e Qualidade Industrial**. RTQ-R.** Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Eletrobrás, 2012.

__ **IRAM 11605** – Condicionamento Térmico de Edifícios – Condições de Habitabilidade nos Edifícios – Valores máximos de transmitância térmica em fechamentos opacos. Argentina: IRAM. 1996.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulação no visual doe- 3.1.** Relatório de Pesquisa. Florianópolis, 2013.

PACHECO, Miguel Teixeira Gomes. **Ventilação Natural e climatização artificial: crítica ao modelo superisolado para residências de energia zero em Belém e Curitiba**. Tese de doutorado, UFSC. Florianópolis-SC, 2013.

PESSOA, Júlio Henrique Marques. **Análise da influência das pontes térmicas nos edifícios residenciais.** Dissertação de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2011.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE RESFRIAMENTO COM TUBOS ENTERRADOS EM AMBIENTE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2[1]

FREITAS, Julye M. R. (1); TREICHEL, Suzana Z. (2); DALBEM, Renata (3); BELTRAME, Carolina (4); CUNHA, Eduardo G. (5)

(1) UFPEL, e-mail: juramalhof@hotmail.com; (2) UFPEL, e-mail: suzanatreichel@gmail.com; (3) UFPEL, e-mail: renata_dalbem@hotmail.com; (4) UFPEL, e-mail: carolinabeltrame.arquitetura@gmail.com; (5) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais importantes no condicionamento natural.Uma das maneiras de utiliza-laé com o sistema de tubos enterrados, através dos quais circula o ar, funcionando para aquecimento e resfriamentodos ambientes.Para aquecimento o ar obtem ganho de calor através do solo,aquecendo o ambiente; para resfriamento o ar cede calor para o solo, resfriando o ambiente. O objetivo deste trabalho é determinar o quanto a utilização de tubos enterrados melhora o conforto térmico de um ambiente, na zona bioclimática 2, caracterizada por verões e invernos rigorosos, em relação ao mesmo ambiente apenas ventilado naturalmente pela ação do vento.O método consiste em simulações computacionaisde uma zona térmica, com 24m². Foram simulados três casos distintos: a) sistema de tubos enterrados com uma renovação de ar por hora; b)sistema de tubos enterrados com cinco renovações de ar por hora e c)ventilação calculada (Airflownetwork). Os resultados mostraram que o caso b com cinco renovações por hora, foi a que obteve mais horas de conforto, 50,33%. Assim concluiu-se que a utilização dos tubos enterrados como estratégia de climatização natural aumenta as horas de conforto térmico do ambiente em relação ao uso apenas da ventilação natural.

Palavras-chave: Tubos enterrados; Simulação computacional;Conforto térmico; Eficiência energética.

ABSTRACT

The natural ventilation is one of the most importans bioclimatic strategies. The buried pipes is a possible strategie to maximize the effects of the natural ventilation, working to heating and cooling. For heating the buried pipes gains heat from the soil, for cooling the internal air losses the heat to the soil. The aim of this paper is to present the performance of a thermal zone in bioclimatic zone 2(characterized by harsh summer and winter), with buried tubes as strategy to maximize the thermal comfort. The performance of the zone will be compared to another thermal zone with natural ventilation, by the wind. The method consists in computational simulation of a thermal zone with 24 m² located in bioclimatic zone 2, with the software Energy Plus 8.3. It was modelled three differents cases: a) system with buried tubes with one internal air renovation per hour; b) system with buried tubes with five internal air renovation

[1]FREITAS, Julye M.; TREICHEL, Suzana Z.; DALBEM, Renata; BELTRAME, Carolina; CUNHA, Eduardo G. Estudo de desempenho de sistema de resfriamento com tubos enterrados em ambiente na Zona Bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

per hour; c) calculated ventilation (airflownetwork). The results showed that the situation "B", with five renovations per hour, has more hours in thermal comfort, 50,33%. The utilization of buried tubes for this case showed itself as proper ventilation strategy

***Keywords**: Buried pipes; Computational simulation; Thermal comfort; Energy Efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia tem apresentado um crescimento desenfreado com o passar dos anos. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2015 as edificações são as principais responsáveis pelo consumo energético no país, representando 48,5% do consumo total (BEN, 2015). Em busca de amenizar o impacto energético causado pelas edificações e a redução nos gastos com energia, estratégias passivas vem sendo pesquisadas para a construção de edificações e também para os sistemas utilizados nelas. Busca-se a utilização de sistemas alternativos, com baixo consumo de energia para operação, principalmente para condicionamento térmico, levando em consideração que geralmente esse tipo de equipamento é o principal responsável pelo consumo de energia.

De acordo com Lamberts *et al.* (2014), a ventilação natural, após o sombreamento, é a estratégia bioclimática mais importante a ser utilizada no Brasil, sendo exigida para maioria das capitais brasileiras como estratégia de conforto no verão e também ao longo do ano.

Frotae Schiffer (1999) dizem que ventilação é a renovação ou reposição de ar sujo (ou contaminado) por ar limpo, sendo assim pode-se afirmar que um sistema de recirculação de 100% do ar não pode ser considerado um sistema de ventilação.

A ventilação nos espaços arquitetônicos pode ser produzida por meios mecânicos (ventiladores, exaustores, etc.), e por meios naturais. Entende-se por natural, aquela que não exige aporte de energia artificial para obter a renovação de ar, usualmente esse tipo de ventilação se consegue deixando as janelas e portas de um ambiente abertas e é suficiente em um ambiente quando não existem outros focos de contaminação, exceto a gerada pelas pessoas. A ventilação natural pode ocorrer por diferenças de pressão (estática ou dinâmica) ou diferença de densidade do ar (PROCEL EDIFICA, 2011).

Costa (1982) explica que para ocorrer transmissão de calor entre duas regiões do espaço, basta existir diferença de temperatura entre elas. Este fenômeno pode ocorrer de três formas, denominadas condução, convecção e radiação. Sendo assim, o autor descreve como condução o processo em que a passagem de calor ocorre de uma zona para outra de um mesmo corpo, ou então de corpos diferentes, mas em contato íntimo. Já a convecção acontece quando a transferência de calor ocorre de uma zona para outra de um fluido, através da diferença de pressão ocasionada pela própria diferença de temperatura.

Musskopf (2006) relata em sua pesquisa que o efeito dinâmico gerado pelo vento é dominante perante a movimentação de ar gerada pela diferença de pressão e temperatura. Ele observou que quando havia um aumento na velocidade do vento externo à edificação em estudo, a velocidade do ar no interior dos tubos também crescia, independente dos demais fatores. Todavia, em situações de calmaria do ar, as diferenças de temperatura entre o ar interno e externo dos tubos e da edificação são mais influentes na circulação do ar, gerando uma vazão com valores de magnitude equivalente à do efeito dinâmico do vento (até 0,6m/s).

Existem vários métodos para ventilar um ambiente de maneira passiva. Neste trabalho é avaliado por meio de simulação computacional o nível de conforto térmico de um ambiente, onde são utilizados tubos enterrados como sistema de ventilação passiva. Essesistema foi bastante pesquisado nos anos setenta e oitenta, porém não teve muita aceitação, devido as tecnologias que surgiram no período. No momento atual, com a preocupação em encontrar soluções passivas e alternativas mais sustentantáveis ressurgiu o interesse na utilização do conceito tubo enterrado, por ser uma alternativa passiva de ventilação que proporciona a renovação do ar nos ambientes de interesse (França, 2011).

O sistema de tubos enterrados é composto por tubos subterrâneos, de metal ou de polímero, através dos quais circula o ar.Uma de suas extremidades fica acoplada ao equipamento de captaçãoe a outra fica acoplada ao ambiente a ser climatizado. Durante o processo de arrefecimento, como o ar passa através do tubo, cede parte do seu calor para o solo e entra no ambiente mais frio. Da mesma forma, durante o período de aquecimento, o ar passa através do tubo e recebe uma parcela de calor do solo, entrando no ambiente mais quente. (*Input Output Reference*, *Energy Plus*, *2015*).

Uma avaliação teórica e prática realizada por Darkwa, *et al.* (2011) no Laboratório de Pesquisa do Centro de Tecnologias Sustentáveis de Energia (CSET) da Universidade de Nottingham – Ningbo, China, afirma que o sistema de tubos enterrados possui grande potencial para a economia de energia em edificações. Os resultados da avaliação apontaram que o sistema contribuiu até 62% como estratégia de aquecimento, em períodos mais frios, e até 86% como estratégia de resfriamento, nos períodos mais quentes. Além disso, notou-se uma redução de 10% na umidade relativa do ar no período de aquecimento, enquanto que, no verão, o nível médio da umidade relativa aumentou 15%. Os autores ressaltam que estes resultados foram encontrados em um local que possui clima típico quente e úmido, sendo recomendável realizar investigações mais profundas quanto ao impacto que as condições do solo da área a ser estudada, como a umidade e temperatura, podem ter sobre a eficácia termo energética do sistema.
Em estudo realizado por Mota *et al.*(2015), que utilizou simulação computacional para calcular o desempenho de sistema de tubos enterrados de PVC em habitações de interesse social para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 7, chegou-se a conclusão que a eficiência da utilização de tubos enterrados na zona bioclimática 7 é maior do que apenas a ventilação natural com

abertura das janelas, já na zona bioclimática 2 os tubos enterrados são mais eficientes somente no período de verão e na zona bioclimática 1 constatou-se que a ventilação natural pelas aberturas da casa seria mais eficiente do que o uso de tubos enterrados.

A simulação computacional é uma das mais poderosas ferramentas de análise na atualidade–pode simular, desde jogos, crescimento econômico e até problemas de engenharia (Hansen e Lamberts, 2011). Os autores afirmam também que analisar o comportamento do edifício antes da sua construção é mais econômico do que resolver problemas quando o edifício estiver pronto.

A possibilidade de ter um modelo com tubo enterrado simulado em um programa como o *EnergyPlus* é muito importante para definir se o sistema é ideal ou não para uma edificação específica, analisando a combinação entre fatores como a profundidade de instalação eo comprimento e raio dos tubos, por exemplo (LEE et al, 2008).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar, através de simulação computacional, o desempenho de um ambiente(zona térmica) localizada na zona bioclimática 2, representada pela cidade de Santa Maria, com a utilização do sistema de tubos enterrados com configurações diferentes e chegar ao resultado de horas de confortotérmico anual em que os ambientes teriam em cada configuração.

3 METODOLOGIA

A pesquisa possui uma ênfase quantitativa e utilizou a simulação computacionalcomo principal estratégia. O método deste trabalho foi dividido em cinco etapas, descritas abaixo:

1- Realização de revisão de literatura acerca das características básicas e configurações de tubos enterrados (*Earth Tubes)* a serem utilizadas no *software EnergyPlus*, por meio do manual *Input Output Reference* do software *EnergyPlus*.

2- Modelagem da zona térmica a ser analisada, utilizando o software *SketchUp15*, juntamente com o *plugin Legacy Open Studio*.

3- Configurações de *Earth Tubes*(tubos enterrados)utilizando *o IDF Editor.*

4- Simulações dos três casos distintos a serem analisados: a) sistema de tubos enterrados com uma renovação de ar por hora; b) sistema de tubos enterrados com cinco renovações de ar por hora e c) ventilação calculada (Airflownetwork).

5- Análise e discussão dos resultados.

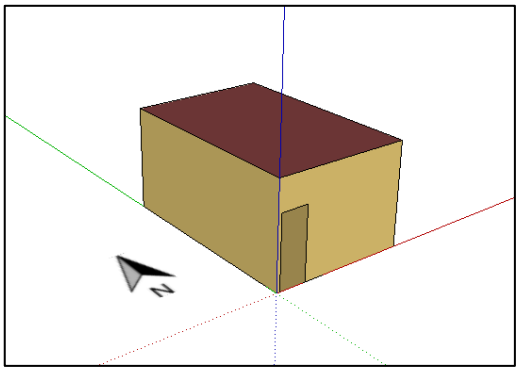
Para análise do conforto térmico do ambiente em cada caso, foi calculado o número de horas de conforto para o inverno, verão e para o ano todo, através da temperatura operativa para o nível de 80% de pessoas satisfeitas.

(ASHRAE Standard 55, 2010).

3.1 Descrição do Modelo

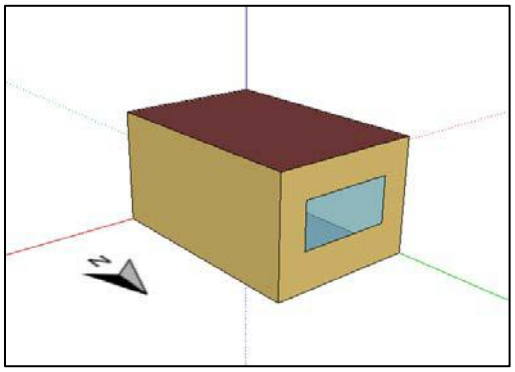
O estudo foi realizado utilizando o *software EnergyPlus*, versão 8.3.A modelagem da edificação foi feita na interface gráfica do *Sketchup 2015*, (Figuras1 e 2), com o *plugin Legacy Open Studio 1.0.13*. Trata-se de uma zona térmica com dimensõesde 4,00 x 6,00, possuindo uma janela voltada para fachada sul e porta de acesso voltada para a fachada norte.

Figura 1 – Vista frontal do modelo – Fachada Leste e Sul



Fonte: Autores

Figura 2 – Vista posterior do modelo – Fachada Oeste e Norte



Fonte: Autores

3.2 Configuração do Modelo

A equação básica utilizada pelo software*Energy Plus* para calcular a taxa de fluxo de ar de um tubo enterrado (*Earth Tube)* é:

$$\text{EarthTubeFlowRate} = \text{Edesign} \cdot \text{Fschedule}\,[\,A + B\,(\text{Tzone} - \text{Todb}) + \text{CWind Speed} + \text{D Wind Speed}]^2 \qquad (1)$$

Onde:
Edesign: vazão de ar no tubo em m³/s.
Fschedule:agenda de tarefas que modifica a vazão no tubo.
A: Constante térmica do solo, adimensional.
B: diferença de temperatura entre as temperaturas de bulbo seco do ar interior e exterior, dado em [C° ¹]
(*Tzone – Todb):* diferença de temperatura (° C) entre as temperaturas do ar de bulbo seco interior e exterior, abaixo do qual o *Earth Tube* nãoé utilizado.
C: velocidade do vento que está atuando fora do edifício. m/s
D: Coeficiente de fluxo vinculado ao quadrado da velocidade do vento, que é experimentada externamente ao edifício.
Wind Speed: velocidade do ar no tubo. m/s

As agendas (*schedules*) de ocupação foram definidas com base no RTQ-R-Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2010),como descrtito na Tabela 1.

Tabela 1 – Agenda de Ocupação

Horas	Dormitórios		Sala	
	Dia da Semana	Final de Semana	Dia da Semana	Final de Semana
1h - 7h	100%	100%	0%	0%
8h - 9h	0%	100%	0%	0%
10h	0%	50%	0%	0%
11h	0%	0%	0%	25%
12h	0%	0%	0%	75%
13h	0%	0%	0%	0%
14h	0%	0%	25%	75%
15h - 17h	0%	0%	25%	50%
18h	0%	0%	25%	25%
19h	0%	0%	100%	25%
20h	0%	0%	50%	50%
21h	50%	50%	50%	50%
22h-24h	100%	100%	0%	0%

Fonte: Autores

A transmitância térmica (U) dos sistemas construtivos foram calculados de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades Termofísicas dos Mateirias

	Material	Espessura	Transmitância Térmica
Paredes Externas	Placade concreto	10 cm	4,40 W/m².K
Laje de Piso	Laje concreto + Revest. Cerâmico	12 cm + 1 cm	4,02 W/m².K
Cobertura	Laje concreto + Cam. de ar + Telha Fibrocimento	12 cm	2,07W/m².K

Fonte: Autores

Na janela foi utilizado vidro duplo com 3 mm de espessura.Sua dimensão é de 1,20 x 2,50m. A área envidraçada corresponde a 5% da área da envoltória. A porta de acesso é em madeira, com 5 cm de espessura e transmitância térmica de 2,58W/m².K.

Para calcular as temperaturas do solo, foi utilizado o pré-processador CalcSoilSurfTemp, vinculado ao EnergyPlus. Nele foram definidos o tipo de solo, e tipo de cobertura do solo, para obter os resultados necessários.O solo da região é considerado saturado e úmido, onde a temperatura média do solo calculada foi de 21,21°C e a amplitude ao longo do ano foi de 7,27°C.

3.2.1Configuração dos tubos

Os tubos enterrados funcionam com ventiladores, onde sua diferença de pressão e eficiência devem ser informados. Tendo como diferença de pressão do ventilador 60 milímetros coluna d'água (m.m.c.a), ou seja 588 Pascais (Pa) e eficiência de 0,75. Os tubosestão enterrados a 4 metros de profundidade, possuem 15mde comprimento, 10cm de diâmetro, 0,3cm de espessura, com condutividade térmica de 0,2W/mK.
Foi definida uma temperatura mínima de resfriamento e uma temperatura máxima de aquecimento. Quando a temperatura interna está acima de 20ºC os tubos são ativados, quando a temperatura alcança30ºC, os tubos são desligados.Foram testadas a temperatura de desligamento entre 26ºC e 30ºC. Observou-se que os melhores resultados em termos de conforto térmico ocorreram quando o *setpoint* de desligamento foi de 30ºC.
Utilizando o arquivo climático da cidade de Santa Maria, foram simulados os 3 seguintes casos:

a) ventilação 1 Ren/h e sistema de tubos enterrados;
b)ventilação 5 Ren/h e sistema de tubos enterrados;
c)ventilação natural calculada (*Airflownetwork*).

3.3 Análise do conforto térmico

Para a análise do conforto térmico dos casos simulados adotou-se a metodologia do conforto adaptativo da ASHARE Standard 55 de 2010. Onde foi utilizado um nível de aceitação de 80%. Para essa análise foram coletados da simulação, os dados de temperatura operativa do ambiente, que juntamente comas temperaturas médias mensais externas possibilitaram calcular, com o auxilio do s*oftwareMicrosoft Excel*®, o nível de conforto térmico das três configurações analisadas.

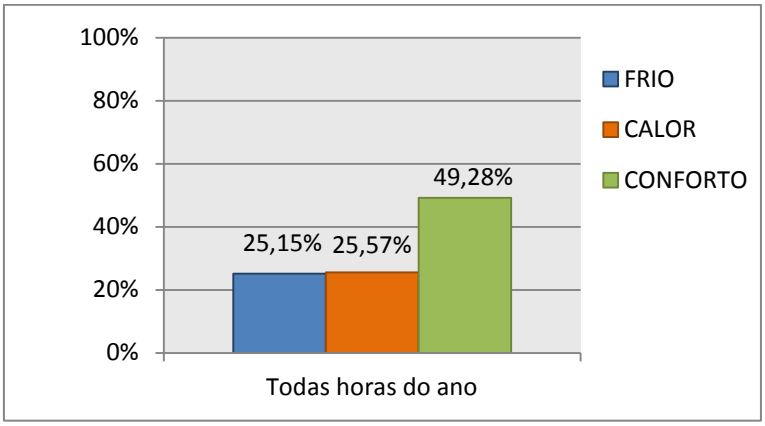
Com o objetivo de melhor verificar o comportamento da edificação, foram também realizadas análises separadas do nível de conforto térmico para o período de inverno, para o verão e para o ano inteiro. Para essa análise, primeiramente foi necessário caracterizaro periodo correspondente ao verão e ao inverno.Essesdados foram verificados no arquivo com extensão ".stat", o qual acompanha os arquivos climáticos, e apresenta dados estatísticos sobre o clima.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Através da simulação da situação 1, onde foram configurados os tubos enterrados com uma renovação de ar por hora, foram obtidos os resultados conforme aFigura 3. Nota-se que quase 50% de todas as horas do ano se classificam em conforto térmico.Já quanto à análise do desempenho dos tudos no inverno e no verão, observa-se que no verão são alcaçadas mais

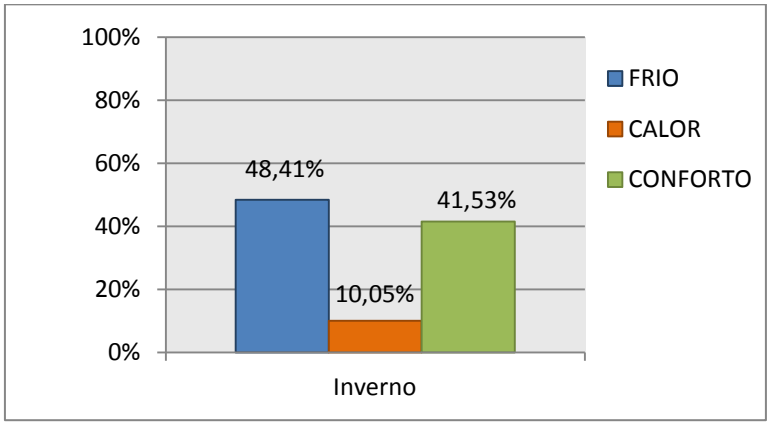
horas de conforto (50,37%), enquanto no inverno 49,28% das horas se clasificaram em conforto térmico, como ilustramas figuras 4 e 5.

Figura 3 – Resultados da Situação 1



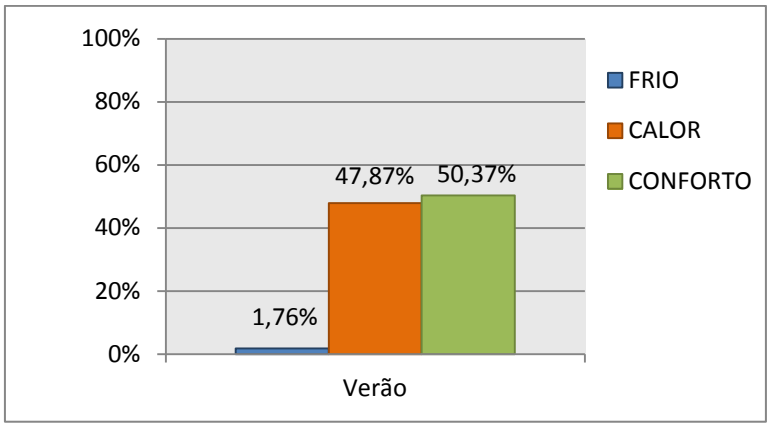
Fonte: Autores

Figura 4 – Resultados inverno Situação 1



Fonte: Autores

Figura 5 – Resultado verão situação 1

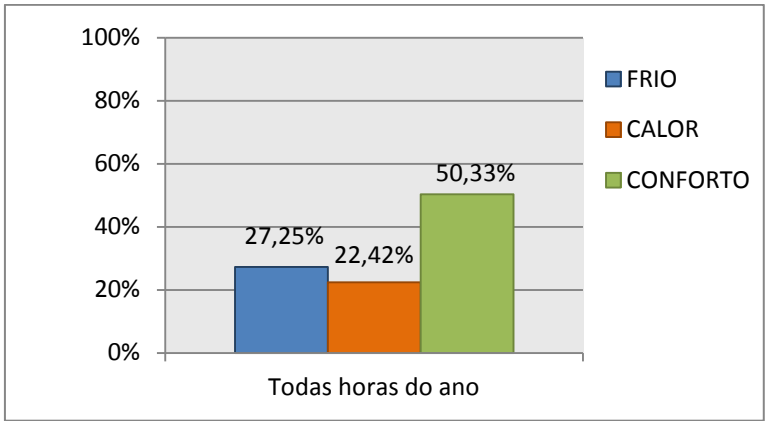


Fonte: Autores

Já com a simulação da situação 2, utilizando cinco renovações de ar por hora, nota-se uma pequena melhora em relação a situação 1. A quantidade de horas em conforto térmico foi para 50,33%, como pode ser observado na

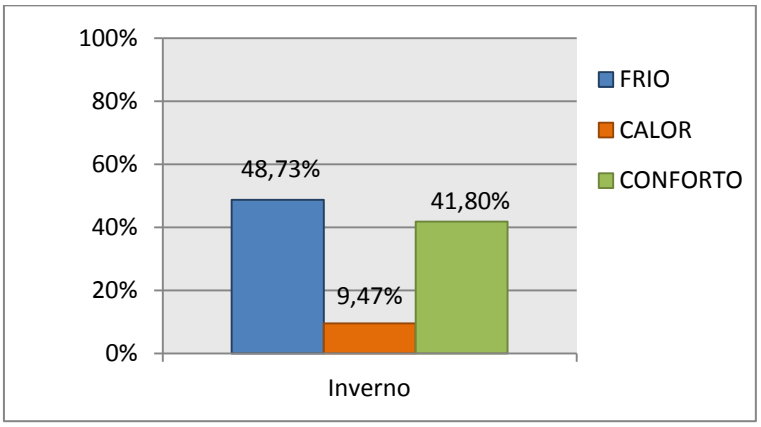
Figura 6. Essa melhora também é observada na análise de verão e inverno, porém continua com o mesmo comportamento, onde no verão apresenta mais horas de conforto em relação ao inverno (Figuras 7 e 8).

Figura 6 – Resultados da Situação 2



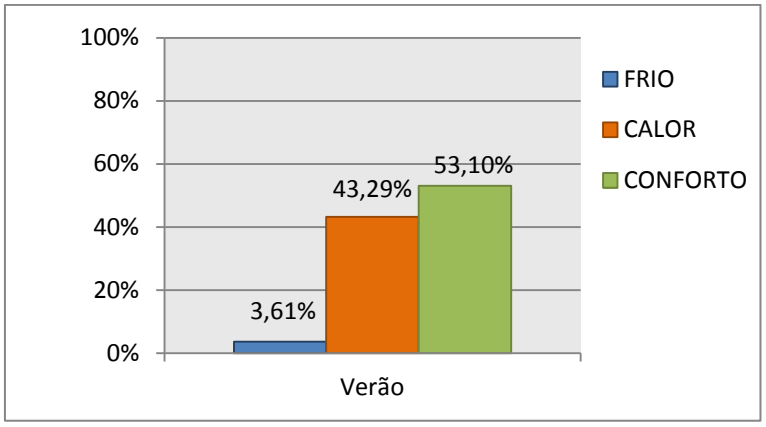
Fonte: Autores

Figura 7 – Resultados inverno situação 2



Fonte: Autores

Figura 8 – Resultados verão situação 2

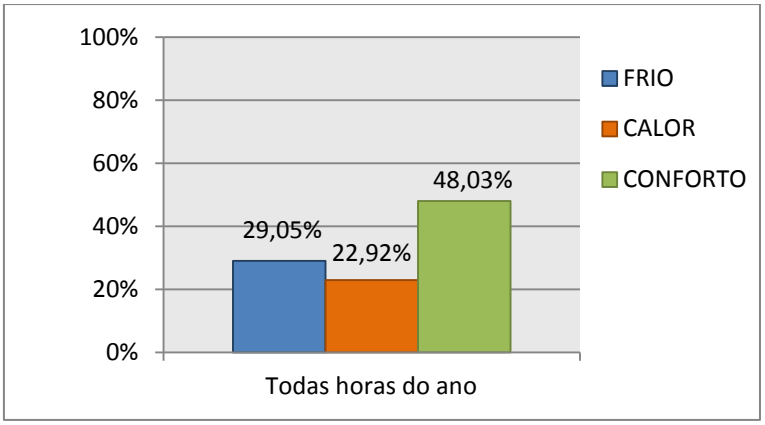


Fonte: Autores

A simulação da terceira situação, que foi configurada sem a presença de tubos enterrados e com ventilação natural calculada (*airflownetwork)*, resultou em menos horas de conforto térmico do que os outros dois

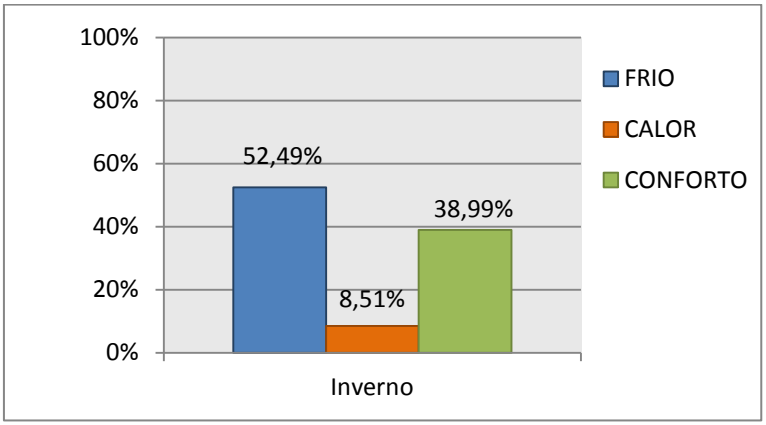
casos,tanto na analise anual, quanto nas análises de verão e inverno (Figuras 9, 10 e 11).Nesse sentido, observa-se que para esta edificação o uso dos tubos enterrados com 5 renovações por hora seria a melhor opção entre as analisadas quanto ao nível de conforto térmico da edificação.

Figura 9 – Resultados da Situação 3



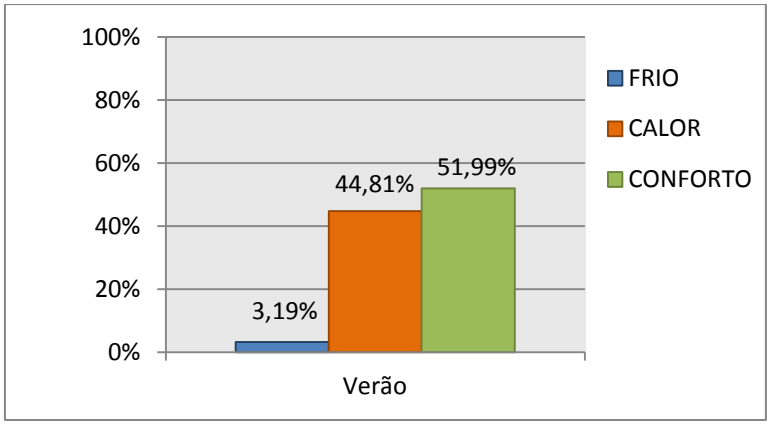
Fonte: Autores

Figura 10 – Resultados inverno situação 3



Fonte: Autores

Figura 11 – Resultado verão situação 3



Fone: Autores

5 CONCLUSÕES

Embora o nível de conforto térmico tenha sido próximo dos 50%, os resultados obtidos mostram um melhor nível de conforto na edificaçãocom a utilização do sistema de tubos enterrados nos dois primeiros casos.A ventilação calculada apresentou o menor indice de conforto no inverno, enquanto para o verão o menor índice foi encontrado para a situação com uma renovação de ar por hora. Podendo concluir que mesmo os tubos apresentando um bom desempenho para o ano inteiro, mostraram-se ligeiramente mais eficientes no inverno.

Esse sistema contribui para a economia de energia e também pode ser associado a outros sistemas de climatização, para a melhoria do desempenho térmico da edificação.

REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETYFOR HEATING, REFRIGEREATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING.Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE: Atlanta, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações,** Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

EPE Empresa de Pesquisa Energética BEN 2015– **Balanço Energético Nacional 2015.** Disponível em <www.ben.epe.gov.br> . Acessado em junho de 2016.

COSTA, Ennio Cruz. **Arquitetura Ecológica:** condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

DARKWA, J. G.; KOKOGIANNAKIS, C.L.; MAGADZIRE, K. Yuan. ***Theoretical and practical evaluation of an earth-tube (E-tube) ventilation system.****Energy and Buildings*, 2011.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Input and Output Reference, EnergyPlus Version 8.3.**, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regent of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 2015.

FRANÇA, Sergio Roberto. **Simulação visando a ventilação de residencias através de tubos enterrados.** Monografia. Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS. Porto Alegre. Brasil, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

HENSEN, Jan L. M., LAMBERTS, Roberto. Building Performance Simulation for Design and Operation. Abingdon: Spon Press, 2011.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalizacao e Qualidade Industrial. **Portaria n. 449/2010:** Regulamento Tecnico da Qualidade para o Nivel de EficienciaEnergetica de Edificios Residenciais - RTQ-R**.** INMETRO, 2010.

LAMBERTS, Roberto.; DUTRA, Luciano.; PEREIRA, Fernando. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Ed. Eletrobras/Procel, *2014.*

LEE, Kwang Ho; STRAND, Richard K.***The cooling and heating potential of an earth tube system in buildings.****Energy and Buildings*, 2008.

MOTA, R.; BAPTISTA, G.; WINKEL, L.; CUNHA, E**.; Avaliação do nível de conforto térmico de HIS com tubos enterrados para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 7.** In XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais,** 2015.

MUSSKOPF, Diego Boschetti. **Estudos exploratórios sobre ventilação natural por tubos enterrados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

PROCEL EDIFICA, **Ventilação natural em edificações**. Rio de Janeiro, 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CLIMA URBANO NA CIDADE DE PALMAS – TO: CONTRIBUIÇÕES AO CONFORTO AMBIENTAL URBANO[1]

FREITAS, Thyago Phellip França

(1) CEULP e SEDUC-TO, e-mail: thyagophellip@ceulp.edu.br

RESUMO

Palmas – TO, foi pensada na questão ambiental, como a proteção dos corpos hídricos e preservação da arborização e, apesar de ser uma capital planejada, vem sofrendo ações de desordem ambiental. Essa tem ocasionado pequenas mudanças microclimáticas, cabendo assim, a necessidade de investigar como o campo térmico da cidade se comporta, a influência da vegetação no clima urbano, bem como as alterações térmicas na cidade. Realizou-se recorte nos meses de agosto e setembro e nos horários de 9, 15, 21 e 03 horas. Caracterizou-se o entorno imediato, coletou-se as temperaturas em transectos móveis na cidade perpassando por áreas verdes e as vias principais da cidade, utilizaram-se fotos termossensíveis, análise rítmica do período de investigação e interpolação dos dados. Verificou-se que em alguns pontos da cidade com alta densidade de massa arbórea ocorreu à diminuição da temperatura local. Evidenciou-se que, além da necessidade de instalação de parques lineares em áreas de proteção ambiental da cidade, que podem constituir verdadeiros cinturões verdes que visem à diminuição da temperatura na cidade, deve-se pensar no replanejamento do plano arborístico dentro da malha urbana em ruas, praças e avenidas com o intuito de melhorar, sensivelmente, o desconforto térmico aos cidadãos.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Vegetação urbana. Clima Urbano. Palmas.

ABSTRACT

Palmas - TO, was thought in environmental issues such as the protection of water bodies and preservation of the trees, despite being a planned capital, has been suffering actions of environmental disorder. This has caused small microclimate changes and the need to investigate how the thermal field of the city behaves, the influence of vegetation on urban climate and the thermal changes in the city. It was held in cutouts in August and September at 9am, 3pm, 9pm and 03am. The immediate surroundings was characterized, collected temperatures in fixed transects in the city permeating by green areas and mobile transects in the main roads of the city, they used thermosensitive photos, rhythmic analysis of the research period and interpolation of data. It showed that in some parts of the city with high density tree mass occurred a decrease of the local temperature. It was evident that besides the need for installation of linear parks in environmental protection areas of the city, which may be true greenbelts aimed at lowering the temperature in the city, one should think of the redesign arboristic plan within the urban area in streets, squares and avenues to improve substantially the thermal discomfort to the citizens.

Keywords: *Thermal confort. Urban Landscaping. Urban Climate. Palmas.*

[1] FREITAS, Thyago Phellip França. A influência da vegetação no clima urbano na cidade de Palmas – TO: contribuições ao conforto ambiental urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Palmas foi fundada em 20 de maio de 1989 e, segundo Carvalhedo e Lira (2009), foi idealizada para satisfazer aos anseios de uma luta histórica pela emancipação do antigo norte goiano, hoje estado do Tocantins.

Como diversas outras cidades brasileiras, Palmas foi planejada com o intuito de ser a sede administrativa do mais novo estado do Brasil e oferecer aos seus munícipes uma melhor qualidade de vida. Em observação a Benévolo (2009), que ressalta a cidade como a mais expressiva manifestação do ser humano no planeta – habitar e morar satisfaz a uma necessidade primária, entretanto é preciso que esse nível de desenvolvimento progrida de maneira a atender às necessidades das pessoas, com o mínimo possível de desequilíbrio do meio ambiente.

Construída para ser uma cidade futurista, Palmas já nasceu dinâmica e pensada para o progresso, o que de acordo com Borja e Castells (1996) promove o bem estar de sua população e ainda ressalta que, a urbanização nas cidades é resultado de processos antrópicos de ocupação do solo de modo exponencial e, portanto, são subsídios contundentes para a formação do clima urbano.

Barbugli e Roriz (2005); Sathler (2014) destacam o homem interfere significativamente no ambiente climático ao construir e adequar-se as cidades, bem como essas mudanças já contraformaram partes das cidades. Neste pensamento, Almeida (2006) afirma que dependendo das decisões, os resultados dessas interferências serão favoráveis ou prejudiciais à vida.

Isso fica evidente quando se observa o planejamento e o crescimento de Palmas, onde a preservação e/ou retirada de árvores de determinadas áreas da cidade, bem como os diversos tipos de edificações e até mesmo a criação do lago que a circunda, intervém em suas condições climáticas, corroborando com Leal (2012).

Esse rápido crescimento vem promovendo e/ou acompanhado por alguns impactos ambientais visíveis, como a retirada da vegetação, acúmulo de lixo, impermeabilização do solo e desrespeito ao uso do solo movido pela especulação imobiliária (MORAIS, 2010). Tais fatores causam impactos nas condições microclimáticas no local e ocasionam aquecimentos de algumas áreas (PAZ, 2009).

Deste modo, esta pesquisa busca conhecer o clima urbano, especificamente, o campo térmico da cidade de Palmas, para problematizar aspectos de seu planejamento.

2 A CIDADE DE PALMAS

Carvalhêdo e Lira (2009) e Silva (2008) destacam que a cidade de Palmas, foi a última cidade brasileira planejada do século XX. Estrategicamente implantada, teve sua delimitação a oeste pelo rio Tocantins e a leste pela serra do Lajeado, ao norte pelo ribeirão Água Fria e ao sul pelo ribeirão

Taquaruçu Grande.

O crescimento populacional, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2014, assegura que a capital teve uma evolução populacional no período de 2000 a 2010, no tocante de aproximadamente 9.097 (nove mil e noventa e sete) habitantes ao ano, considerando a média, com um aumento de 90.977 (noventa mil novecentos e setenta e sete) habitantes em dez anos. Assim, a população da cidade que em 2000 era de 137.355 (centro e trinta e sete mil, trezentos e cinquenta e cinco) habitantes, passou em 2010 a ser de 228.332 (duzentos e vinte e oito mil, trezentos e trinta e dois).

Teixeira (2009) ainda destaca que a cidade foi desenhada com uma área urbana de 11.085 hectares e com capacidade para atender a 1,2 milhões de citadinos. O recurso hídrico e a proteção da massa arbórea foram alguns dos pontos determinantes na configuração urbana da cidade, conforme quadro 1.

Quadro 1: Quadro Síntese do Memorial do Projeto de Palmas- TO

Memorial do Projeto	**Princípios da Concepção Urbanística de Palmas – TO**
Ideal	Cidade Humanística e Ecológica.
Conceitos	Qualidade ambiental, flexibilidade e viabilidade.
Objetivo	Integração com a natureza através de traçado simples e lógico Promoção da consciência social e ecológica
Desenho	Implantação orientada conforme ventos dominantes Sistema viário hierarquizado Rotatórias nos cruzamentos viários Zoneamento das quadras Articulação multimodal Sistema de áreas verdes Área institucional centralizada
Diretrizes	Evitar desperdício com infraestrutura Programação de ocupação por fases Localização de equipamentos de acordo com as escalas Integração viária com a rede de cidades do Estado Proposição de usos de beirais e marquises Baixas densidades residenciais

Fonte: Adaptado de Velasques (2010).

A capital do Estado do Tocantins, segundo Silva (2008), é um território de bricolagem de vários elementos do desenho urbano pós-moderno, onde cada pessoa realizaria sua experiência na busca de identificação com o novo local, utilizando para isto a reterritorialidade.

Entretanto, esta não foi à realidade desenvolvida no ambiente da nova cidade. Xavier (2007) apresenta que o crescimento espraiado de Palmas foi proveniente de sua configuração, ou seja, os instrumentos que dariam legitimidade ao plano urbano acabaram provocando uma segregação dentro do espaço da cidade.

Assim, atualmente a expansão urbana da cidade atualmente tomou contornos de um grave problema socioambiental. De acordo com Silva

(2012), a relação homem/meio ambiente é recíproca, na medida em que há alteração antrópica no meio ambiente, pois este sofre as consequências da modificação imposta por ele mesmo, alterando a ordem microclimática nos espaços provenientes de tais urbanizações em massa.

Magnavita (2013) destaca que apesar de Palmas ter enfoque no "novo" não pode se apropriar deste destaque, uma vez que se está diante de uma "cidade possível", onde as referências do plano urbano que nortearam o projeto já estavam estabelecidas. Sendo assim, o autor afirma que esta é uma "cidade nova" e não uma "nova cidade".

A cidade de Palmas-TO está inserida numa região com altas temperaturas, praticamente o ano todo, sob a latitude 10º12' 46'' e longitude 48º21'37', com baixa umidade nos períodos secos, coincidente com a baixa pluviosidade neste período (Nascimento, 2009), sendo que a precipitação anual está em torno de 1900 mm (Guarda, 2006), portant o ano é divido em dois períodos bem definidos sob o ponto de vista pluvial: o período chuvoso, compreendido nos meses de outubro a abril, e o período seco, de maio a setembro (SEPLAN, 2012; SOUSA et al, 2011).

As normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) demonstram que a temperatura máxima média registrada gira em torno de 32,1 ºC e a mínima média de 19,4ºC, gerando uma temperatura média anual em torno de 25º C (RAMOS et al, 2009). Contudo, a temperatura, devido à baixa umidade, pode chegar a 40ºC no período seco.

3 METODOLOGIA

Para a mensuração dos dados, foram utilizados transectos móveis, por meio de duas estações portáteis da marca Kestrel, modelo 4000, ao longo da Av. JK e Av. Teotônio Segurado, pois são vias estruturais que recebem a maior carga de tráfego urbano, bem como são os eixos N-S e L-O provenientes da concepção do projeto de estrutura viária e do planejamento urbano. Fez-se ainda um transecto na Av. LO – 19, uma vez que, somente o transecto na Av. JK não abarcaria os pontos mais ao sul do desenho urbano de Palmas. Deste modo, optou-se pela mensuração ao longo de mais um eixo buscando um melhor ajuste espacial nas coletas dos dados.

Gartland (2010) ressalta que os aparelhos percorrerem as vias (transectos) devem ter tempo suficiente para entrar em equilíbrio com seus arredores antes da aferição, ou seja, os aparelhos precisam de um tempo para se ambientar e ter capacidade de mensurar o valor correto, sem haver influência de outras fontes de calor que não sejam as do espaço onde o mesmo está sendo coletado.

Para a distribuição e localização dos pontos de coleta dos dados dos transectos móveis, foi levado em consideração o bom senso do pesquisador, na busca de resposta ao seu questionamento principal (MONTEIRO, 1990). Deste modo, se estabeleceu 12 (doze) pontos na Av. Teotônio Segurado, 6 (seis) pontos da Av. JK e 6 (seis) pontos na Av. LO-19, conforme figura 1.

Figura 1 – Localização dos transectos móveis



Fonte: Google Earth adaptado pelo autor, 2015.

Todos os dados de temperatura coletados foram confrontados com os dados oficiais expedidos pelo INMET, por meio da Estação Climatológica de Palmas, sob o nº A009. As coletas foram às 9, 15, 21 e 03 horas, coincidindo com as dados coletados da Estação do INMET em Palmas. Ainda se utilizou as temperaturas horárias da Estação para mostrar a evolução da temperatura ao longo do dia e da noite.

Para a organização dos dados fez-se a Análise Rítmica, em um recorte temporal mensal, que deu subsídios para uma análise acerca da atuação das massas na escala regional. Segundo Monteiro (1971) é um mecanismo de abordagem dinâmico do clima, consistindo na representação contínua e simultânea do clima, que são apresentadas as variações diárias dos elementos climáticos e o decurso dos estados atmosféricos numa associação genética (ZAVATTINI, BOIN, 2013).

Nas tabelas 1 e 2 demonstra-se a localização dos pontos do transecto móvel, bem como suas características físicas.

Tabela 1: Características dos transectos móveis – Av. LO-19 e Av. JK

Ponto	Local	Características	Imagem
1	Quadra 709 Sul Fuso 22 UTM 789976 8867925 Altitude de 236 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
2	Quadra 705 Sul Fuso 22 UTM 790692 8867893 Altitude de 233 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	

3	Quadra 703 sul Fuso 22 UTM 791782 867882 Altitude de 251 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
4	Quadra 702 Sul Fuso 22 UTM 792540 8867914 Altitude de 265 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de média pavimentação e alta densidade populacional.	
5	Quadra 804 Sul Fuso 22 UTM 793125 8867887 Altitude de 275 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de média pavimentação e alta densidade populacional.	
6	Quadra 806 Sul Fuso 22 UTM 793829 8867889 Altitude de 284 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de média pavimentação e alta densidade populacional.	
7	Quadra 112 Norte Fuso 22 UTM 795086 8872981 Altitude de 290 m	O ponto apresenta uma média cobertura vegetal, presença de média pavimentação e alta densidade populacional.	
8	Quadra108 Norte Fuso 22 UTM 0795045 8872987 Altitude de 290 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
9	Quadra 104 Norte Fuso 22 UTM 792682 8872979 Altitude de 264 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
10	Quadra 103 Norte Fuso 22 UTM 791786 / 8873030 Altitude de 256 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
11	Quadra 107 Norte Fuso 22 UTM 790724 / 8872981 Altitude de 226 m	O ponto apresenta uma baixa cobertura vegetal, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
12	Quadra 109 Norte Fuso 22 UTM 789753 8872980 Altitude de 226 m	O ponto apresenta uma alta cobertura vegetal, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 2: Características dos transectos móveis - Av. Teotônio Segurado

Ponto	Local	Características	Imagem
1	Quadra 1502 Sul Fuso 22 UTM 0792186 8862485 Altitude de 257 m	O ponto apresenta cobertura vegetal rasteira, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
2	Quadra 1302 Sul Fuso 22 UTM 0792131 8863786 Altitude de 259 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
3	Quadra 1102 Sul Fuso 22 UTM 0792190 8865187 Altitude de 263 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
4	Quadra 902 Sul Fuso 22 UTM 0792190 8866566 Altitude de 264 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
5	Quadra 702 Sul Fuso 22 UTM 0792188 8867967 Altitude de 260 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal densa, presença de média pavimentação e baixa densidade populacional.	
6	Quadra 402 Sul Fuso 22 UTM 0792205 8870119 Altitude de 255 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
7	Quadra 102 Sul Fuso 22 UTM 0792206 8872500 Altitude de 256 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
8	Quadra 102 Norte Fuso 22 UTM 0792203 8873450 Altitude de 263 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de alta pavimentação e alta densidade populacional.	
9	Quadra 302 Norte Fuso 22 UTM 0792222 8874385 Altitude de 256 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de média pavimentação e média densidade populacional.	

10	Quadra 402 Norte Fuso 22 UTM 0793099 8875533 Altitude de 277 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de média pavimentação e média densidade populacional.	
11	Quadra 502 Norte Fuso 22 UTM 0793374 8875742 Altitude de 274 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de média pavimentação e média densidade populacional.	
12	Quadra 602 Norte Fuso 22 UTM 0793703 8876130 Altitude de 256 m	O ponto apresenta uma cobertura vegetal baixa, presença de média pavimentação e média densidade populacional.	

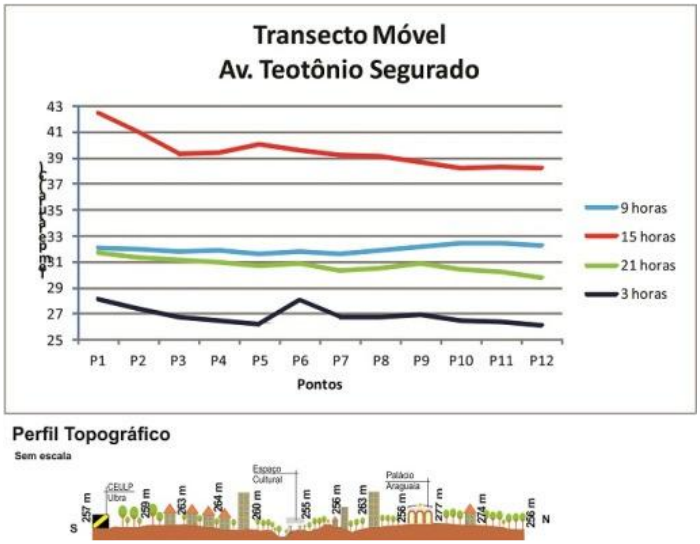
Fonte: Autor, 2015.

4 RESULTADOS

O transecto móvel foi realizado no dia 20 de setembro de 2014 em 3 períodos, sendo um às 9 horas, outro às 15 horas, e outro às 21 horas; e no dia 21 de setembro de 2014 às 3 horas, em trajetos que perpassaram 12 pontos tanto no eixo Norte-Sul (Av. Teotônio Segurado) quanto no eixo Leste-Oeste (Avenidas JK e LO-19).

Percebe-se que durante o período da coleta no horário das 15 horas, atingiu-se o ponto máximo de temperatura com valores superiores a 35 °C, e no horário das 3 horas atingiu-se as temperaturas mínimas. No ponto 6, que é localizado no cruzamento da Av. Teotônio Segurado com a Av. LO-11, e no ponto 11, localizado no cruzamento da Av. Teotônio Segurado com a LO-16, apresentam-se com amplitudes mínimas em 11,6 °C e 11,7 °C, respectivamente, e amplitudes máxima de 14,3 °C no ponto 01, localizado em frente ao CEULP (Centro Universitário Luterano de Palmas), conforme figura 2.

Figura 2: Dados Térmicos do transecto móvel na Av. Teotônio Segurado

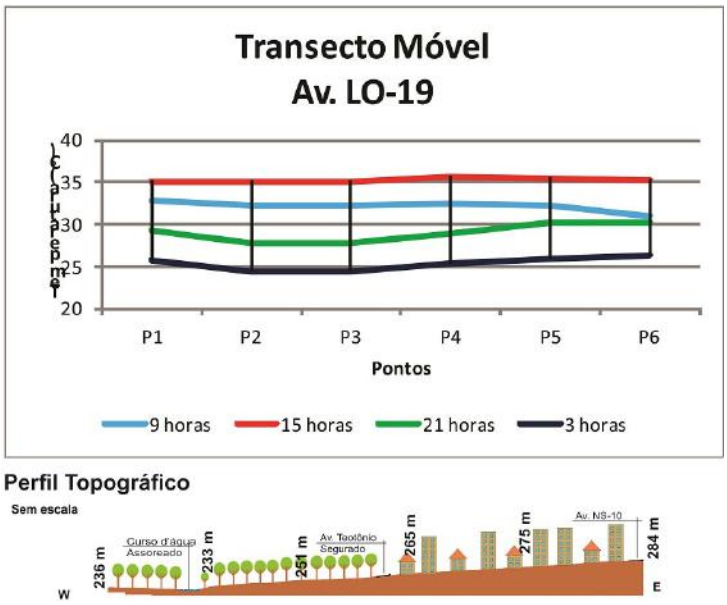


Fonte: Autor, 2015

Os pontos 5 e 7, que apresentam menores temperaturas, estão localizados respectivamente, no Espaço Cultural José Gomes Sobrinho e na Av. LO-2. Tais locais apresentam uma massa arbórea no entorno, o que aumenta a umidade do local e, consequentemente, a temperatura tende a minimizar-se nesses espaços. Os pontos 4 e 6 apresentam elevações resultantes do mesmo princípio dos pontos 7, 8, 9, 10,11 e 12,

Observa-se no transecto móvel na Av. LO-19 e Av. JK que a oscilação de temperatura é alta em virtude dos variados entornos dos pontos. No ponto 7, localizado próximo ao cruzamento da Av. JK com a Av. NS-10, tem-se a menor amplitude térmica com 6,3 °C e no ponto 3, localizado na Av. LO-19 antes do cruzamento com a Av. Teotônio Segurado, a maior amplitude com 10,77 °C,

Figura 3: Dados Térmicos do transecto móvel na Av. LO-19

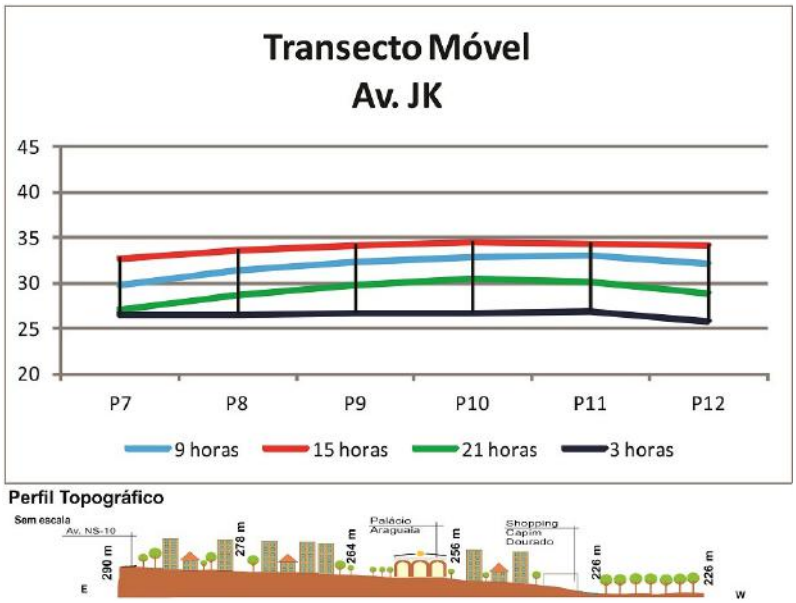


Fonte: Autor, 2015

No que tange aos transectos realizados na Av.LO-19 ás 9 horas, percebe-se um declínio da temperatura de 0,6 °C no ponto 2 que se encontra em um local com concentração de massa arbórea e sem nenhuma densidade ocupacional no entorno Esta condição diminui a temperatura e conforme vai se aproximando do ponto 4, localizado em uma área de baixa concentração e média concentração de vegetação, bem como a proximidade com tráfego de veículos na Av. Teotônio Segurado, esta se eleva em 0,3 °C.

Já na Av. JK as 15 horas, no ponto 7, localizado próximo ao Museu Palacinho, a temperatura apresentou o valor de 32,7 °C, abaixo das demais. Tal ponto se localiza próximo à massa arbórea, o que implica afirmar que esta tende a minimizar os efeitos dos materiais do tipo asfalto e concreto

Figura 5: Dados Térmicos do transecto móvel na Av. JK



Fonte: Autor, 2015

5 CONCLUSÕES

A temperatura do ar no eixo central do encontro das Av. JK e Av. Teotônio Segurado apresentou-se mais elevada, proporcionando elementos com alta densidade de ocupação e pouca presença de massa arbórea, implicando em um estresse térmico. Estes resultados corroboram com o estudo de Dumke (2007) para a cidade de Curitiba, onde estes mesmos elementos proporcionam um possível desconforto térmico causado pelo acúmulo de calor.

Entretanto, ressalta-se que as áreas mais arborizadas, como o Museu Palacinho, o Espaço Cultural José Gomes Sobrinho (Unidade de Conservação do Brejo Comprido) e na Av. Teotônio Segurado área norte (Unidade de Conservação do Sussuapara) são locais que tendem a promover a conservação ecológica e vegetal do espaço.

Desta forma, o planejamento urbano da cidade de Palmas deve priorizar a formação de novos parques lineares próximos aos córregos ou em áreas de proteção ambiental, que busca aglomerar as massas arbóreas aumentando a umidade deste local, principalmente no período do outono-inverno.

Destaca-se a necessidade de se rever a legislação do uso de solo da cidade com vistas a reduzir as áreas impermeáveis e a supressão da vegetação nos lotes, tendendo assim a conservação da vegetação existente e a elevação da umidade.

Ressalta-se a necessidade de arborização nas vias estruturais de coleta da cidade, com vistas a possibilitar melhorias significativas de diminuição térmica e, consequentemente, melhorias para os usuários do espaço urbano.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Tocantins, ao Centro Universitário Luterano de Palmas, e seus laboratórios respectivamente, Laboratório de Análises Geo-Ambientais – LGA/UFT e ao Laboratório de Conforto Acústico, Lumínico e Térmico – LACALT/CEULP. Ao Governo do Estado do Tocantins e a Prefeitura Municipal de Palmas, por meio des suas Secretarias de Educação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.A. **Configuração urbana sua relação com os microclimas: estudo de frações urbanas na cidade de Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006

BARBUGLI, R. A.; RORIZ M. **Mapeamento das temperaturas do ar na cidade de Araraquara, São Paulo, Brasil**. Encontro Nacional Sobre Conforto Do Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió, AL; Encontro Latino-Americano Sobre Conforto Do Ambiente Construído, 4., 2005, Maceió, AL,2005, Maceió, AL, 2005. p. 112-122.

BENEVOLO, L. **A história da cidade**. 3º ed., São Paulo: Perspectiva, 2009.

BORJA, J; CASTELLS, M. A cidade como atores políticos. **Revista Novos Estudos**, CEBRAP, nº 45 jul. 1996, p. 152-166 Disponível em < http://www.novosestudos.com.br/v1/files/uploads/contents/79/20080626_as_cidades_como_atores.pdf>. Acesso em 20 maio 2013.

CARVALHÊDO, W.S; LIRA, E.B. Palmas ontem e hoje: do interior do cerrado ao portal da Amazônia. **OBSERVATORIUM:** Revista Eletrônica de Geografia, v.1, n.2, p.51-73, jul., 2009

DUMKE, E.M.S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade: uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da Região Metropolitana de Curitiba (AU-RMC)**. 2007. 431f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** Tradução Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 28 dez 2013.

LEAL, L. **A influencia da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba/PR**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2012.

MAGNAVITA, P.R. Palmas do Tocantins: por uma percepção rizomática da cidade. Anais: **Encontros Nacionais da ANPUR**, v. 9, 2013.

MORAIS, M.R. **Avaliação contingente dos benefícios econômicos locais aa cobertura arbórea urbana do município de Palmas – TO**. 2010. 142f. Dissertação

(Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2010.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976 (Série Teses e Monografias, n. 25).

NASCIMENTO, J. Tocantins: **História e geografia**. Goiânia: Bandeirante, 2009. 141 p

_____. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, v. 5, n. 9, p. 61-79, 1990.

PAZ, L.H.F**. A influência da vegetação sobre o clima de Palmas - TO**. 2009. 169f. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura), Faculdade de Arquitetura, UNB, Brasília, 2009.

PITTON, S.E.C. **As cidades como indicadoras de alterações térmicas**. 1997. 272f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade de São Paulo – USP, 1997.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (org.) **Normais Climatológicas do Brasil** 1961-1990. Brasília: INMET, 2009.

SATHLER, D. Repercussões locais das mudanças climáticas globais: urbanização, governança e participação comunitária. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 15, n. 51 Set/2014 p. 01–19.

SILVA, C. U. T. **Planejamento e gestão ambientais urbanos do município de Palmas (TO): uma abordagem fenomenológica a partir do poder público municipal**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente), Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2012.

SILVA, V.C.P. **Girassóis de pedra: Imagens e metáfora de uma cidade em busca do tempo**. 2008. 239f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, 2008.

SOUSA, E.S; SILVA, R.A;MACIEL, G.F;NUNES, R.G;BORGES,F.W.L. **Estudo da variabilidade interanual da temperatura do ar e precipitação pluviométrica na cidade de Palmas – TO no período de 1995 a 2009**. XVII Congresso Brasileiro de Agrometereologia. Anais. 2011.

SONDA. **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em < http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/palmas.html>. Acesso 28 dez 2013.

TEIXEIRA, L. F. C. A formação de Palmas. Dossiê Cidades Planejadas na Hinterlândia. **Revista UFG**. Ano XI, n. 6, p. 91-99, 2009.

TOCANTINS (Estado). Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 5 ed. Palmas: SEPLAN, 2012.

VELASQUES, A.B.A. **A concepção de Palmas (1989) e sua condição moderna**. 2010. 245 f. Tese (Doutorado em Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2010.

XAVIER, F.O.R**. Palmas, uma capital para todos?** 2007. 132f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ZAVATTINI, J.A; BOIN, M.N. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas (SP): Ed. Alínea, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

REFLEXÕES SOBRE O USO DO SIMULADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (S3E) PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, PÚBLICAS E DE SERVIÇO NO BRASIL[1]

GARCIA, Marina (1); SOUZA, Roberta (2)

(1) UFMG, e-mail: marinagarcia.arq@gmail.com (2) UFMG, e-mail: robertavgs2@gmail.com

RESUMO

A simulação computacional é utilizada mundialmente para avaliar níveis de eficiência energética em edificações, mas o alto nível de complexidade dos softwares torna este processo dispendioso em termos financeiros e de tempo. Dispositivos de simulação simplificada possuem o potencial de tornar este processo mais acessível, apresentando resultados de forma mais rápida do que as simulações detalhadas e mais precisa se comparados aos métodos prescritivos. O objetivo deste artigo é investigar os avanços da interface S3E e analisar sua potencial utilização oficial para obtenção de ENCEs junto ao RTQ-C. Para isto, foram pesquisados estudos realizados com esta interface, além de sua utilização prática e comparação com interfaces de mesmo conceito - CE3, CE³X e Atmospheres. A partir da análise de dados, percebeu-se que o S3E apresentou modificações importantes após a publicação dos estudos analisados neste artigo que têm o potencial de maximizar sua precisão, e que as ferramentas de princípio semelhante possuem características que podem indicar um direcionamento de desenvolvimento do S3E. Os resultados obtidos apontam oportunidades de pesquisas relacionadas ao desenvolvimento desta interface brasileira para utilização frente ao RTQ-C, além de apresentar suas principais atualizações, auxiliando em sua melhor compreensão.

Palavras-chave: Simulação computacional simplificada. Eficiência energética. S3E. RTQ-C.

ABSTRACT

Computational simulation is widely used for evaluation of buildings energy efficiency levels, but software's high level of complexity makes this process costly in both financial and time terms. Simplified simulation tools have the potential to make it more accessible, presenting results faster than detailed simulations and more precise than prescriptive methods. This article aims to investigate the advances of S3E tool, developed by the LabEEE of Federal University of Santa Catarina, analyze its potential for its official utilization to obtain the energy certification according to Brazilian regulation RTQ-C. A literature review about this interface was made, besides its practical utilization and comparison with interfaces of same concept CE3, CE3X and Atmospheres. From the analysis of data, it was noticed that the Brazilian interface presented important modifications after the publication of related studied analyzed in this article, that have potential to maximize its precision; and that the other tools have characteristics that may indicate a development path for S3E. The results obtained in this

[1] GARCIA, Marina; SOUZA, Roberta. Reflexões sobre o uso do simulador de eficiência energética em edificações (S3E) para avaliação do nível de eficiência energética em edificações comerciais, públicas e de serviço no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

study revealed research opportunities related to the development of the Brazilian tool for its use regarding RTQ-C regulation, and presented S3E main updates, helping in its better comprehension.

***Keywords**: Simplified computational simulation. Energy efficiency. S3E. RTQ-C.*

1 INTRODUÇÃO

A simulação computacional é utilizada internacionalmente para avaliação dos níveis de eficiência energética em edificações, e muitas vezes é necessária para garantir o cumprimento de normas e obtenção de etiquetas ou selos ambientais. No Brasil, este processo é indicado como um dos métodos para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2009), podendo ser utilizado de forma individual ou de forma complementar ao método prescritivo.

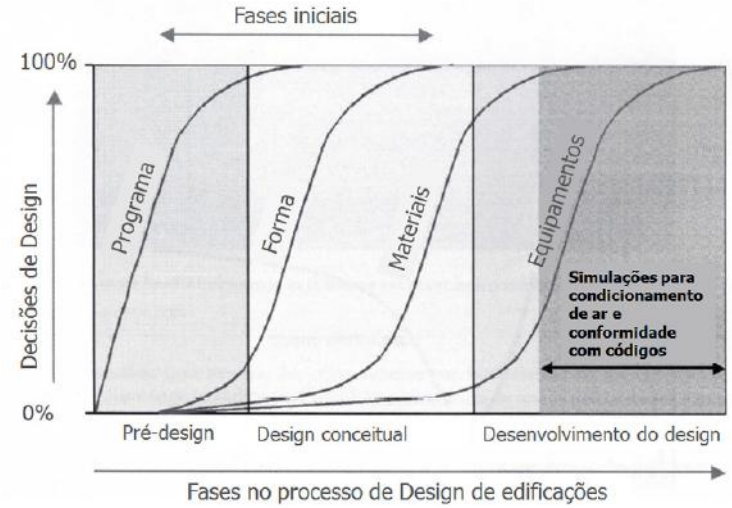
Carlo e Lamberts (2010a) apontam que a simulação computacional, embora não represente a realidade em sua totalidade, é a forma mais flexível e completa de observar aspectos relacionados à eficiência energética de edificações. Entretanto, Hensen e Lamberts (2011) e Zhang (2013) indicam a necessidade de mão-de-obra altamente qualificada e experiente no domínio de softwares de alta complexidade para que haja confiabilidade nos resultados obtidos através da simulação, além do maior investimento financeiro e de tempo. No Brasil, um indício da dificuldade de utilização da simulação é que ela foi utilizada em menos de 16% das edificações etiquetadas até abril de 2016 (INMETRO, 2016).

Já o método prescritivo indicado pelo RTQ-C é um procedimento simplificado para obtenção da ENCE, formado por equações derivadas de simulações realizadas com o software EnergyPlus (CARLO; LAMBERTS, 2010b). Apesar de sua aplicação mais rápida e barata do que as simulações computacionais, este método possui importantes limitações na apreensão de informações dos edifícios, o que já foi abordado em trabalhos, como de Carlo e Lamberts (2010b), Melo *et al*. (2012) e Rosa, Brandalise e Silva (2013).

Se por um lado as simulações computacionais são mais completas, mas exigem grande *know-how* e investimento; e por outro o método prescritivo, apesar de rápido e barato, apresenta restrições consideráveis; os dispositivos de simulação simplificada possuem o potencial de alcançar resultados de forma mais rápida do que as simulações detalhadas e mais precisos se comparados aos métodos prescritivos. São ferramentas que podem auxiliar as fases iniciais do projeto arquitetônico, além de poderem tornar o processo de obtenção das certificações de eficiência energética mais acessível, seja para fins educativos ou oficiais.

Interfaces para simulação simplificada já estão sendo desenvolvidas na Espanha, EUA, países do Reino Unido e Brasil (LÓPEZ, 2014; DOGAN e REINHART, 2013; BRE, 2015; LABEEE, 2015), demonstrando que sua utilização é uma tendência internacional. Dogan e Reinhart (2013), apontam o potencial dessas ferramentas como auxílio às fases iniciais de projeto por sua fácil utilização, alterando o hábito existente de utilização da simulação computacional apenas para avaliar conformidades de desempenho de projetos em fase final de concepção (Figura 1).

Figura 1 - Uso da simulação na prática projetual.



Fonte: Torcellini e Ellis (2006) *apud* Hensen e Lamberts (2011). Tradução própria.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é investigar os avanços da interface web de simulação computacional simplificada para avaliação de eficiência energética em edificações, S3E, e estabelecer comparações entre ela e os programas espanhóis CE3 e CE³X e o americano, Atmospheres. Isto será realizado para a observação das possibilidades de melhora da ferramenta brasileira, assim como seu potencial como objeto de estudo para avaliação da utilização oficial no processo de etiquetagem junto ao RTQ-C.

3 MÉTODO

A metodologia envolveu pesquisa acerca dos estudos já realizados com o S3E, utilização da interface atual para apreensão de sua estrutura e comparação com pontos observados nos estudos já publicados, além de análise de características de interfaces de simulação simplificada desenvolvidas em outros países: Atmospheres, CE3 e CE³X, a partir de pesquisas publicadas em periódicos.

4 TRABALHOS RELACIONADOS – APRESENTAÇÃO BÁSICA DAS FERRAMENTAS

4.1 CE3 e CE³X

O CE3 e CE³X são disponibilizados pelo Ministério de Industria, Energia e Turismo (MIET) da Espanha. Ambos são uma opção básica ao principal software de simulação utilizado no país, o CALENER (LÓPEZ, 2014). CE3 e CE³X foram elaborados pelo trabalho conjunto de universidades e instituições espanholas, sob encomenda do MIET, e possuem validade legal para obtenção da qualificação energética do país (COSTAS; SÁNCHEZ-GUEVARA; ACHA, 2014).

A simplificação dos dois programas é diferente: enquanto o CE3 simula dados climáticos simplificados de acordo com informações do modelo; o CE³X compara uma parametrização de variáveis em relação a uma base de dados anteriormente simulada no CALENER. Esta base de dados contém informações simuladas para 12 cidades representativas das diferentes zonas climáticas espanholas. Caso o projeto não esteja em uma destas cidades, será aplicada a esta localização uma "escala de qualificação", o que supõe mais uma simplificação(COSTAS; SÁNCHEZ-GUEVARA; ACHA, 2014).

No CE3 é possível **importar arquivos DXF ou CALENER**; assim como configurar padrões de utilização (*schedules*) (LÓPEZ, 2014). Ele permite entrada de percentuais de aberturas em relação às paredes externas e interpreta este dado geometricamente. Os efeitos das sombras externas para superfícies opacas não são computados. Pontes térmicas são obtidas por meio de fator de correção simplificado(COSTAS; SÁNCHEZ-GUEVARA; ACHA, 2014).

Segundo López (2014), o CE³X baseia-se em uma base de dados pré-estabelecida. Ele permite a definição precisa das dimensões das aberturas e das proteções solares. É possível criar máscaras de sombras externas, cujas influências serão computadas nas superfícies translúcidas e nas opacas. As pontes térmicas podem ser definidas individualmente, com base em uma lista pré-definida ou em valores de catálogos (COSTAS; SÁNCHEZ-GUEVARA; ACHA, 2014).

Costas, Sánchez-Guevara e Acha (2014), observaram diferença na qualificação de eficiência energética entre as duas ferramentas de até 2 níveis. Isto implica a necessidade de que os técnicos obtenham conhecimento dos conceitos de eficiência energética de ambos os programas para que, de acordo com os dados do projeto, decidam qual o mais adequado (LÓPEZ, 2014)

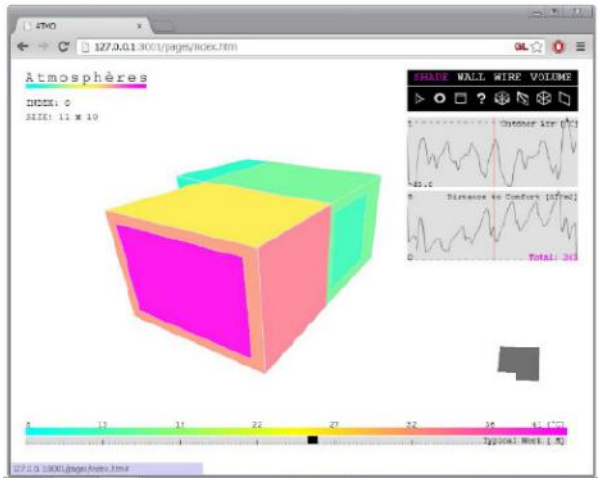
4.2 Atmospheres

O Atmospheres é um protótipo americano de ferramenta para a modelagem e avaliação de parâmetros energéticos, apresentado por Dogan e Reinhart, do Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 2013. É uma interface Web de uso intuitivo que utiliza o programa EnergyPlus para fazer as simulações. Ele pode auxiliar o processo de criação de projetos

arquitetônicos, facilitando a acessibilidade à simulação para que haja melhoria de qualidade projetual. A desnecessidade de instalação e download facilita este processo, já que fornece acesso imediato ao sistema (DOGAN; REINHART, 2013).

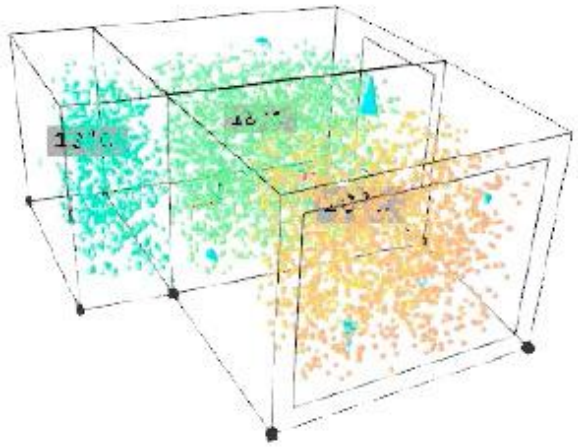
A entrada dos dados pode ser feita individualmente ou em trabalho conjunto, sendo possível inserir arquivo IDF (EnergyPlus). As informações são então enviadas ao servidor, simuladas, e então o usuário recebe os resultados via web. Este protótipo oferece, além de um arquivo IDF, a visualização espacial intuitiva dos resultados da simulação para favorecer a percepção de como eles se relacionam com a volumetria do edifício simulado e assim facilitar o entendimento por parte dos usuários (DOGAN; REINHART, 2013). As Figuras 2 e 3 mostram exemplos de resultados espaciais obtidos pela interface.

Figura 2 - Temperaturas externas de superfícies.



Fonte: Dogan e Reinhart (2013)

Figura 3 - Nuvem de pontos com temperaturas internas.



Fonte: Dogan e Reinhart (2013)

Os resultados de temperaturas externas representadas pelas cores das superfícies podem ser vistos ao longo do ano (barra horizontal inferior), além da temperatura externa do ar e distância para conforto [$\Delta T/m^2$] (gráficos laterais Figura 2). Também pode-se obter nuvem de pontos com temperaturas internas radiantes, calculadas aproximadamente a partir da simulação do EnergyPlus (Figura 3) (DOGAN; REINHART, 2013).

Por ser um serviço Web, a manutenção por parte dos operadores é facilitada, além de haver a possibilidade de implementar funcionalidades referentes à questão de projeto colaborativo, onde mais de um usuário poderia realizar alterações em um mesmo modelo (DOGAN; REINHART, 2013).

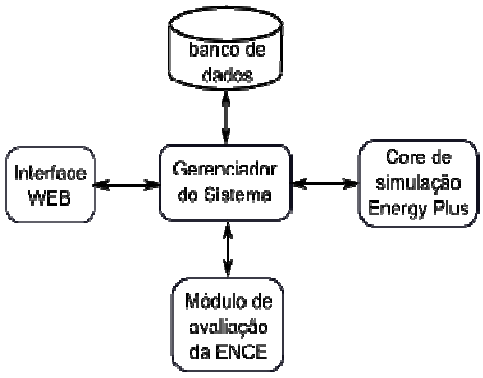
Uma das fragilidades do sistema é a sobrecarga do servidor, no caso da utilização simultânea de muitos usuários. Entretanto, isto não é visto pelos pesquisadores do MIT como problema grave, já que haverá disponibilidade de infra-estrutura nesta área, de acordo com o crescimento da demanda.

4.3 S3E

A interface brasileira S3E foi desenvolvida por meio de parceria entre o Ministério de Minas e Energia e o LabEEE com recursos financeiros da FINEP e CNPq, com seu início em 2009. Ela tem o objetivo de tornar as simulações energéticas mais simples e acessíveis, para auxiliar no desenvolvimento de projetos mais responsáveis no que diz respeito à eficiência energética no cenário brasileiro. É uma interface gratuita, tem a web como modo de acesso e é vinculada ao *core* de simulação EnergyPlus (LABEEE, 2015).

Os dados de entrada estabelecidos na interface são enviados ao gerenciador do sistema, processados, simulados e os resultados são disponibilizados para o usuário via web (Figura 4). As simulações e os resultados, que envolvem avaliação junto aos parâmetros do RTQ-C, ficam armazenados e podem ser acessados por meio do gerenciador do sistema. Também, é gerado um arquivo IDF que pode ser salvo e utilizado como base para simulações detalhadas (LOPES *et al*. 2011).

Figura 4 - Funcionamento S3E



Fonte: LabEEE (2015)

A inserção de dados no S3E envolve a definição da cidade, que irá configurar automaticamente o arquivo climático a ser utilizado - EPW ou TRY (*Test Reference Year*); o uso típico, que definirá *schedules* do modelo, dentre outros. Em alguns campos, são oferecidas duas opções de formas de entrada de dados – a simples e a avançada – onde a segunda oferece maior detalhamento do que a primeira. Nestes campos, dados relacionados à geometria, aberturas, componentes construtivos, iluminação, ocupação, equipamentos, infiltração de ar e condicionamento de ar devem ser adicionadas (LOPES *et al*. 2011).

Em termos de geometria, Lopes *et al*. (2011) aponta a disponibilização dos padrões retangular, H, T, U e L. A definição de zonas é automática de acordo com a geometria (zonas perimetrais por fachada e zona central), sendo possível a determinação da largura das zonas perimetrais (LOPES *et al*. 2011).

Para a simulação no EnergyPlus, são necessárias informações adicionais pré-programadas de acordo com as opções selecionadas no S3E, pois o volume de dados fornecidos nestes campos é insuficiente (LOPES *et al*. 2011). O

relatório final disponibiliza a classificação da edificação segundo parâmetros do RTQ-C, além de dados de consumo energético da edificação. Estes resultados não possuem validade oficial para a obtenção das etiquetas (S3E, 2015).

Rosa, Brandalise e Silva (2013) comparam resultados do S3E, método prescritivo e simulação junto às classificações do RTQ-C. Apesar de não ser especificado, infere-se a utilização da versão 1.1 da interface.

A consideração da orientação solar das edificações foi citada como grande vantagem do S3E frente ao método prescritivo,aumentando sua precisão. O tempo necessário para a obtenção dos resultados foi mais baixo do que para os métodos prescritivo e de simulação. O principal entrave foi a impossibilidade do estabelecimento de *schedules* dos espaços, o que gerou grande distorção no resultado em relação ao consumo energético anual, gerando valores duas vezes maiores do que o obtido pelo método de simulação (ROSA; BRANDALISE; SILVA, 2013). Esta informação contrapõe-se com a de Lopes *et al*. (2011), que já indicava haver possibilidade de configuração de *schedules* de ganhos internos e iluminação.

Em relação à volumetria, a impossibilidade de estabelecimento de volumetrias diferentes entre pavimentos é outra limitação. A pequena biblioteca de componentes construtivos dificultou a composição da envoltória. Para a criação de novos componentes, a quantidade de camadas foi referida como obstáculo, já que no estudo este limite foi facilmente alcançado. A impossibilidade de inserção de novos materiais gerou dificuldades, já que foi necessário calcular a espessura e densidades de materiais equivalentes para efetuar a simulação. Também não foi possível estabelecer a absortância de superfícies, tampouco os fatores solares dos vidros, além de haver impossibilidade de separação de dados de ar condicionado por zonas térmicas (ROSA; BRANDALISE; SILVA, 2013).

5. RESULTADOS

5.1. Apresentação do S3E em sua versão atual (1.2) e principais atualizações

A partir da utilização prática da ferramenta com uma simulação-teste (versão disponibilizada em outubro de 2015), foi possível apreender as entradas necessárias para a realização da simulação, assim como os resultados obtidos por meio dela. O Quadro 1 traz em detalhe a estruturação de inserção de dados para avaliação energética de uma edificação, elaborada a partir da utilização da ferramenta.

Quadro 1: Estrutura de dados de entrada do S3E

DADOS GERAIS		
Nome, uso típico e cidade		
DADOS ESPECÍFICOS		
Envoltória	**Geometria**	
	Edição simples	Edição avançada
	Nº de pavimentos (até 50)	Nº de pavimentos (até 50)
	Orientação solar	Orientação solar
	Dimensões (geometria retangular)	Dimensões (de acordo com padrões volumétricos - retângulo, L, T, H U, + e retângulo com pátio interno)
	Pé direito uniforme para todos os andares	Pé direito (térreo, pavimento tipo e ático)
		Sombreamento externo do entorno, por fachada
	Aberturas	
	Edição simples	Edição avançada
	Percentual de abertura de fachada total	Percentual de abertura de fachada, por fachada e por pavimento tipo
	Ângulos verticais e horizontais gerais	Ângulos verticais e horizontais, por fachada e por pavimento tipo
		Percentual de abertura zenital
	Componentes construtivos	
	Envoltória -Absortância – Clara (a=0,3), Média (a=0,5) e Escura (a=0,8) -Componentes (**44** sistemas construtivos / op. Criar Novo de até 7 camadas) Janelas -**Diversos tipos de vidro, inclusive os de alto desempenho.**	
Ganhos internos	**Iluminação**	
	Edição simples	Edição avançada
	Para todos os pavimentos:	Para cada pavimento:
	Densidade de potência instalada (W/m²)	Densidade de potência instalada (W/m²)
	Padrão de uso – pré definido	Tipo de montagem (5 tipos)
		Padrão de uso – opção de **Criar Novo**
	Ocupação	
	Edição simples	Edição avançada
	Para todos os pavimentos:	Para cada pavimento:
	Densidade (m²/pessoa)	Densidade (m²/pessoa)
	Padrão de uso – pré definido	Padrão de uso – opção de **Criar Novo**
	Equipamentos	
	Edição simples	Edição avançada
	Para todos os pavimentos:	Para cada pavimento:
	Densidade de potência instalada (W/m²)	Densidade de potência instalada (W/m²)
	Padrão de uso – pré definido	Padrão de uso – opção de **Criar Novo**
	Infiltração de ar	
	Edição simples	Edição avançada
	-	Trocas por hora (m³/h)
		Padrão de uso – opção de **Criar Novo**
Condicionamento de ar	**Condicionamento de ar**	
	Edição simples	Edição avançada
	Para todos os pavimentos:	Para cada pavimento:
	Modelo predefinido - Split	Modelo de aparelho (7 opções)
	Refrigeração:	Informar capacidade (kW) (Sim/Não)
	COP	Refrigeração:
	Temperatura setpoint (°C)	COP
	Padrão de uso pré-determinado	Temperatura setpoint (°C)
	Aquecimento (Sim/Não)	Padrão de uso - opção de **Criar Novo**
	Renovações de ar	Aquecimento (Sim/Não)
	Vazão por pessoa (m³s/pessoa)	Renovações de ar
	Vazão por área de piso (m³/s.m²)	Vazão por pessoa (m³s/pessoa)
		Vazão por área de piso (m³/s.m²)

Fonte: autoria própria

Dentre as principais atualizações percebidas após leitura dos trabalhos supracitados e a utilização da ferramenta, destacam-se a adição de opção de geometria com área não-condicionada retangular e formato de cruz (Figura 5), especificação de absortância da envoltória, aumento de biblioteca de componentes construtivos (incluindo vidros de alto desempenho) e atualização da versão do EnergyPlus. A complementação da biblioteca de componentes construtivos, no quesito absortância, se deu

pela possibilidade de escolha entre as categorias: superfícies claras (α=0,3), intermediárias (α=0,5) e escuras (α=0,8) (Quadro 1).

Figura 5 - Geometrias e divisão de zonas térmicas



Fonte: S3E (215)

A definição de zonas térmicas continua automática de acordo com a geometria (Figura 5). Entretanto, a possibilidade de definição da largura das zonas perimetrais apontada por Lopes *et al.* (2011) não ocorre na versão 1.2.

Um importante ponto percebido foi a disponibilização de configuração de *schedules* para iluminação, ocupação, equipamentos gerais e condicionamento de ar, tanto para resfriamento quanto para aquecimento(na edição avançada). É possível estabelecer *schedules* para dias úteis, sábados e domingos, e feriados. Caso este agrupamento de dias não atenda às necessidades do usuário, o S3E permite que sejam criados novos padrões.

Para a criação de novos componentes construtivos, é possível adicionar até sete camadas de materiais diferentes, com diversas opções em cada um dos grupos: materiais sólidos; tijolos e blocos de concreto; isolantes e impermeabilizantes; e revestimentos. Entretanto, a adição de materiais novos pelo usuário ainda não é permitida.

Apesar da disponibilidade de variadas geometrias, na versão 1.2 ainda não é possível estabelecer diferenciação entre pavimentos de uma mesma edificação.As configurações de ar condicionado também continuam sendo divididas, no máximo, por tipo de pavimento.

O relatório de resultados do S3E fornece informações referentes a etiqueta geral da edificação segundo RTQ-C, sumário de dados gerais, avaliação da envoltória e do sistema de condicionamento de ar, ganhos internos e gráficos de consumo energético anual e mensal. Estão presentes no relatório dois ícones ainda sem funcionamento: "método prescritivo" e "submeter para organismo de inspeção" (S3E, 2015). Este último está acompanhado da informação de que tal funcionalidade ainda está em desenvolvimento, o que evidencia o potencial e a intenção concreta de utilização desta ferramenta como forma de auxiliar a obtenção de ENCEs.

6 DISCUSSÃO

De acordo com as informações supracitadas, infere-se que os resultados obtidos por novas simulações feitas no S3E terão valores mais aproximados àqueles dos softwares de simulação detalhada do que aos obtidos pelo método prescritivo.

Com relação às ferramentas Atmospheres, CE3 e CE³X, nota-se que o S3E tem princípio de funcionamento semelhante: interface de uso facilitado cuja simulação é efetuada em software de simulação detalhada. A usabilidade destas ferramentas é uma característica que sugere maior adoção da simulação de desempenho energético pelos atores da construção civil, conforme observado nos trabalhos de Hensen e Lamberts (2011) e Dogan e Reinhart (2013), seja para a obtenção de etiquetagem de nível de eficiência energética ou apenas para auxiliar na análise de desempenho energético nas fases iniciais de projetos arquitetônicos.

A principal característica dos programas espanhóis que poderia ser incorporada ao S3E é a possibilidade de importação de arquivos DXF para o estabelecimento da volumetria - que é considerada por Carlo e Lamberts (2010b) a maior limitação do método prescritivo, e por Rosa, Brandalise e Silva (2013), uma das limitações da interface brasileira. Da mesma forma, a metodologia de definição de da volumetria de zonas térmicas realizada no Atmospheres indica novas possibilidades para o S3E. Os métodos espanhóis e americano sanariam as dificuldades de delimitação de volumetrias diferenciadas entre pavimentos citada por Rosa, Brandalise e Silva (2013).

A possibilidade de configuração de *schedules* de ganhos internos e iluminação foi observada na versão 1.2 do S3E. Se, por um lado, Lopes *et al*. (2011) já indicavam esta opção, Rosa, Brandalise e Silva (2013) apontaram a impossibilidade de configuração destes *schedules* como uma das principais limitações da interface.

As diferentes formas de inserção de dados observadas nas interfaces estudadas, como sombreamento, pontes térmicas, aberturas, etc., demonstram a possibilidade de simplificar o procedimento de simulação computacional de maneiras distintas. Conforme observado por Costas, Sánchez-Guevara e Acha (2014) por meio de testes com as interfaces espanholas, isto gera diferenças significativas de resultados. Portanto, o conhecimento das simplificações realizadas por cada interface é essencial para que se tenha domínio sobre seus resultados obtidos.

7 CONCLUSÕES

A simulação computacional simplificada gera resultados mais precisos do que os obtidos pelo método prescritivo, e cuja utilização é mais acessível e rápida do que os *softwares* convencionalmente utilizados. Estas ferramentas podem auxiliar fases iniciais de projetos arquitetônicos ou facilitar a avaliação de níveis de eficiência energética. EUA, Espanha, países do Reino Unido, além do Brasil, estão desenvolvendo este tipo de interfaces, demonstrando que sua utilização é uma tendência internacional.

O objetivo deste trabalho foi investigar os avanços alcançados na interface web de simulação computacional simplificada brasileira para avaliação de eficiência energética em edificações segundo o RTQ-C, o S3E; e estabelecer comparações entre esta ferramenta e os programas espanhóis CE3 e o CE³X e americano Atmospheres, de forma a observar possibilidades de melhora,

assim como seu potencial como objeto de estudo para utilização oficial no processo de etiquetagem brasileiro.

O principal avanço observado entre a versão atual e a utilizada no estudo de Rosa, Brandalise e Silva (2013) foi a disponibilização de configuração de *schedules*, o que tende a reduzir de forma significativa as imprecisões de valores de consumo geral anual. A baixa flexibilidade para definir volumetrias e zonas térmicas é uma limitação da interface. Outra limitação seria a impossibilidade de definição da composição da envoltória separada por fachadas. Sobre esse aspecto, as interfaces americana e espanholas demonstraram possibilidades de desenvolvimento do S3E.

Apesar das limitações observadas, infere-se que a versão atual da interface brasileira apresente resultados mais próximos aos da simulação computacional detalhada do que aos do método prescritivo. A realização de trabalhos futuros com simulações do mesmo objeto pela interface S3E, método prescritivo e método de simulação detalhada são necessários para que esta hipótese seja consolidada. Sua confirmação irá reforçar a validade do S3E como ferramenta oficial para o processo de obtenção da ENCE no RTQ-C.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES e FAPEMIG pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 140-2004**: standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta, 2004.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Portaria 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf >. Acesso em: 08 nov. 2015.

_____. **Tabela de edificações comerciais, de serviços e públicos**. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **SBEM:** Simplified Building Energy Model. Disponível em: <https://www.bre.co.uk/page.jsp?id=706>. Acesso em: 30 nov. 2015.

CARLO, J.C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais. 2008.**Tese** (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Florianópolis, 2008.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010a.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010b.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). **Nota técnica Nº 07/2014.** Nota técnica referente à etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas em blocos, 2014. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Nota_Tecnica_07_Edif_Blocos_20151029_0.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

COSTAS, E.; SÁNCHEZ-GUEVARA, C.; ACHA, C. Estudio comparativo de losprocedimientosactuales de certificación de edificios existentes. In: I Congreso Internacional Sobre Investigación em Construcción y TecnologíaArquitectónicas (CONSTEC), n. 1, 2014, Madri. **Anais...**UniversidadePolitécnica de Madri. ETSAM. Madri, 11-13 jun. 2014. P. 352-356.

DOGAN, T.; REINHART, C. Atmosphères: proof of concept for web-based 3D energy modeling for designers with webgl/html5 and modern event-driven, asynchronous server systems. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA), 2013, França. **Anais...**Chambéry: IBPSA, 26-28 ago. p. 1039-1044. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1440.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2015.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R (Ed.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Londres: Spon Press. ISBN: 978-0415474146, 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Projeto S3E**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/s3e/conceito>. Acesso em: 08 nov. 2015.

LOPES, M.; IWAMOTO, G.; RIELLA, H.; LAMBERTS, R.; CAMPOS, L. Development of computational tool to evaluate the Building energy efficiency level according to the Brazilian labeling. In: 12th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 2011, Sydney. **Proceedings of Building Simulation 2011…** Sydney, 14-16 nov. 2011.

LÓPEZ D. J. Procedimientosfrente a frente: Certificaciónenergética para edificiosexistentes. **Cercha, Revista de losAparejadores y ArquitectosTécnicos**. Espanha, vol. 119, p. 72-77, 2014.

MELO, A. P; CÓSTOLA, D.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Avaliação comparativa entre o método prescritivo e o método de simulação para determinação do nível de eficiência da envoltória de edificações comerciais. In: XI ENCONTRO NACIONAL E VII ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO AMBIENTAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. **Anais...**tópico 5.

ROSA, C.; BRANDALISE, M.; SILVA, A.C. Análise da eficiência energética de dois prédios pelo RTQ-C: comparação entre o método prescritivo e o método de simulação através do software Design Builder e da interface S3E. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC) / VIII ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). 2013, Brasilia. **Anais...** Brasília: 25-27 set. 2013.

S3E. **Simulador de Eficiência Energética em Edificações**. Disponível em: < http://www.s3e.ufsc.br/>. Acesso em: 08 nov. 2015.

ZHANG, I. Impact of model simplification on energy and comfort analysis for dwellings. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 2013, França. **Anais...**Chambéry: IBPSA, 26-28 ago. p. 1184-1192. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1502.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2015.

USO DO RESFRIAMENTO EVAPORATIVO EM CLIMAS ÚMIDOS: ESTUDO DE CASO EM PAVILHÃO INDUSTRIAL NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS[1]

GARLET, Liége (1); CUNHA, Eduardo Grala (2); Santos, Joaquim C. Pizzutti (3)

(1) UFSM, e-mail: liegeg9@gmail.com; (2) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br; (3) UFSM, e-mail: joaquimpizzutti@hotmail.com

RESUMO

A falta de renovação de ar em um ambiente de trabalho provoca queda no rendimento dos trabalhadores, favorecendo o aparecimento de doenças devido à exposição ao calor. Como alternativa, sistemas de resfriamento evaporativo produzem aumento da umidade, reduzindo temperatura ambiental, não aconselhado para climas úmidos como o da cidade de Santa Maria/RS. Nesse sentido, este trabalho avaliou a utilização do resfriamento evaporativo direto em pavilhão industrial, na cidade referida, analisando-se o conforto térmico. Na análise, utilizaram-se simulações termodinâmicas com software EnergyPlus, baseadas na operação real da indústria ventilada naturalmente, comparada ao acréscimo do resfriamento evaporativo e, por último, aumentando a ventilação em 5 ren/hr junto ao resfriamento. A avaliação demonstrou melhora de 8,47% no conforto térmico em relação à condição real quando utilizados os resfriadores, sendo mais expressiva na combinação do resfriamento com ventilação com 5 ren/h, que reduziu o desconforto por calor em 27,8%. Observando-se as temperaturas internas, há redução de até 2°C na UR acima de 80% e até 3°C na UR próxima aos 50%. Quando inserida ventilação em 5 ren/h, há redução de 7°C na alta umidade e 12°C na baixa, revelando a importância do projeto arquitetônico e da estratégia de ventilação natural com controle e dimensionamento.

Palavras-chave: Resfriamento evaporativo. Conforto térmico adaptativo. Pavilhão industrial.

ABSTRACT

The lack of air renewal in a work environment causes drop in workers' productivity, favoring the onset of diseases due to exposure to heat. Alternatively, evaporative cooling systems produce increased humidity, reducing environmental temperature, not suitable for humid climates such as the city of Santa Maria / RS. Thus, this study evaluated the use of direct evaporative cooling in industrial building in that city, analyzing the thermal comfort. In the analysis, we used EnergyPlus software thermodynamic simulations, based on actual operation naturally ventilated industry, compared to the increased evaporative cooling and, finally, increasing the ventilation 5 ren/hr by the cooling. The assessment showed improvement of 8,47% in the thermal comfort of the actual condition when used chillers, being more significant in combination with cooling ventilation 5 ren/h, which reduced discomfort by heat in 27,8%. Observing the internal temperature, is decreased by 2 ° C at RH above 80% and up to 3 ° C in the next 50% RH. When inserted ventilation 5 ren / h, there is a reduction of 7° C in high humidity and 12 ° C in low, revealing the importance of architectural design and natural ventilation strategy with control and dimensioning.

Keywords: Evaporative cooling. Adaptive thermal comfort. Industrial building.

1 INTRODUÇÃO

[1] GARLET, Liége; CUNHA, Eduardo Grala; SANTOS, Joaquim C. Pizzutti. Uso do resfriamento evaporativo em climas úmidos: estudo de caso em pavilhão industrial na cidade de Santa Maria/RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

A falta de renovação do ar em um ambiente interno de trabalho provoca queda no rendimento do trabalhador, principalmente nos períodos mais quentes e úmidos, favorecendo o aparecimento de doenças devido à exposição ao calor em excesso. De acordo com Scigliano e Hollo (2001), há perda da eficiência humana de 1,8% a cada grau de temperatura que ultrapassar os 27° C, aumentando os acidentes de trabalho por sobrecarga térmica na proporção que o conforto térmico baixa, podendo chegar a 40% quando a temperatura estiver 10°C acima do nível de conforto (Tabela 1).

Tabela 1 – Consequências do aumento da temperatura no ambiente de trabalho

Temperatura do ambiente	Consequências
> 27°C	Perda na eficiência humana de 1,8% (a cada 1°C)
10°C acima do nível de conforto	Risco de acidentes de até 40%

Fonte: Adaptado de Scigliano e Hollo (2001).

Por vezes, os sistemas de condicionamento de ar convencionais demandam muita energia para que se possam conceber ambientes de trabalho em condições de conforto térmico. Como alternativa mais econômica, está se utilizando, em pavilhões industriais, aparelhos resfriadores evaporativos.

O resfriamento evaporativo é um sistema utilizado para aumentar a umidade do ar e diminuir a sua temperatura. Seu funcionamento está fundamentado na evaporação da água, ou seja, na mudança da fase líquida para a fase vapor, podendo ser obtido de forma direta ou indireta. Os resfriadores mais utilizados nas indústrias são os de resfriamento evaporativo direto e, conforme Masiero (2006), consistem em um dispositivo eletromecânico de ventilação forçada que insufla ar externo, fazendo-o passar para o interior da edificação através de um filtro umedecido de celulose conhecido como *pad cooling* e chamado de painel resfriador.

Para Lamberts et. al (2014), a evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente, sendo recomendada apenas quando a temperatura de bulbo úmido (TBU) máxima não exceder os 24° C e a temperatura de bulbo seco (TBS) máxima não ultrapassar os 44 °C para países em desenvolvimento. O resfriamento, segundo o mesmo autor, é também indicado quando a umidade relativa for muito baixa e a temperatura inferior a 27 °C, devido ao desconforto gerado pelo ar seco, em que a umidificação irá melhorar a sensação de conforto.

A Carta Bioclimática de Santa Maria/RS (FLORES, 2014) recomenda como uma das estratégias de projeto para edifícios residenciais, a utilização do resfriamento evaporativo no período quente do ano. Porém, segundo a classificação climática de Köppen, Santa Maria/RS apresenta clima temperado úmido com verão quente, possuindo estações bem definidas e inverno ameno, com chuvas distribuídas em todos os meses, não

apresentando nenhuma estação seca, ou seja, sendo úmido o ano todo (MORENO, 1961). A Agência de Desenvolvimento de Santa Maria (2015) contém dados das normais climatológicas da cidade, para o período entre 1961 a 1990, no qual a umidade relativa do ar aparece acima de 69% em todos os meses do ano e na média dos 76,5%.

Uma das maneiras de se verificar a funcionalidade do resfriamento evaporativo é a avaliação pelo índice de desempenho do resfriamento evaporativo (FI). Este índice avalia, de forma aproximada, o potencial do resfriamento evaporativo, que é obtido subtraindo a depressão de bulbo úmido (ΔT = TBS – TBU; sendo TBS e TBU, respectivamente, temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido) da temperatura de bulbo úmido. O índice será menor quanto maior for a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido, ou seja, quanto menor a umidade relativa do ar (CAMARGO, 2008).

Watt (1963 apud CAMARGO, 2008) adverte que, de modo geral, índices menores ou iguais a 10 indicam resfriamento para conforto, entre 11 e 16 resfriamento lenitivo (alívio) e índices acima de 16 classificam o local como não recomendado para utilização de sistemas de resfriamento evaporativo.

Outra maneira de atestar o funcionamento do sistema para os climas quentes e úmidos é a verificação das condições de conforto térmico dos usuários do local, como foi aferido neste trabalho.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de um sistema de resfriamento evaporativo direto para condicionamento térmico de pavilhão industrial instalado em local de clima temperado úmido e verão quente.

3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu na caracterização do objeto de estudo, definição dos parâmetros para a simulação computacional e análise da melhoria do conforto térmico avaliado pelo método adaptativo, utilizando-se a comparação entre simulações da condição real e com o uso do resfriamento evaporativo. Ao final, foi definida uma última análise com ventilação em 5 renovações de ar por hora mais o resfriamento, relacionando o sistema de resfriamento ao uso da ventilação natural.

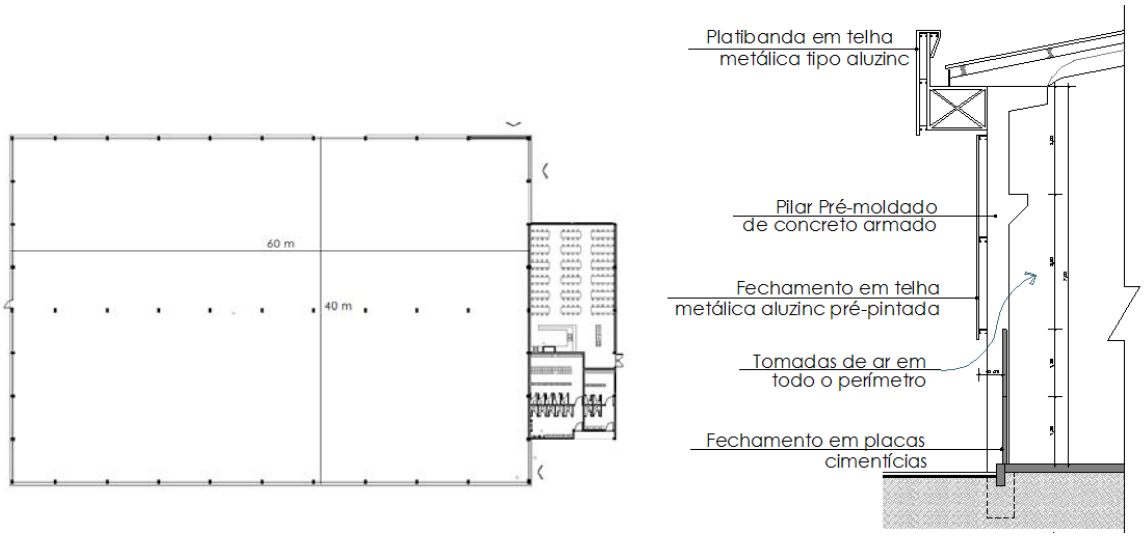
3.1 Objeto de estudo

A edificação objeto de estudo, localizada na cidade de Santa Maria - RS, Zona Bioclimática Brasileira 2, com área de 2.392,00 m² e pé-direito de 7,25m, caracteriza-se por ser um pavilhão industrial e aloca uma indústria metalomecânica, principal tipologia industrial encontrada na cidade.

Para o estudo do resfriamento evaporativo foram comparados modelos diferentes da edificação: o primeiro considerou a condição real do pavilhão, com uso de ventilação natural nas 24h do dia, e o segundo, mantido o uso da ventilação natural, acrescentado um sistema de resfriamento evaporativo nos períodos de funcionamento da edificação. Ao final destas análises, configurou-se um novo modelo com aumento na taxa de ventilação para 5 ren/h, além do resfriamento evaporativo, avaliando a condição de ventilação no projeto.

As características construtivas de ambos os modelos são as mesmas. O pavilhão apresenta estrutura pré-moldada de concreto revestida por placas cimentícias (Δ = 0,7) até meia-altura, e o restante composto por fechamento de telhas metálicas na cor azul escuro (Δ = 0,7) com espaçamento entre os dois materiais para a ventilação (Figura 1). A iluminação natural no pavilhão é feita através de fechamentos laterais translúcidos que substituem uma das fileiras do fechamento metálico na parte próxima à cobertura. Esta última também utiliza telhas metálicas da mesma cor das utilizadas na parede (Δ = 0,7).

Figura 1 – Planta Baixa do Pavilhão Industrial e corte detalhando a ventilação entre os fechamentos



Fonte: Empresa proprietária do pavilhão industrial

As características termofísicas dos materiais e fechamentos estão expressas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Materiais componentes da edificação objeto de estudo e suas características termofísicas

Materiais utilizados	Características Termofísicas

Materiais	Espessura Total (cm)	Condutiv. Térmica (W/m²-K)	Densidade (kg/m³)	Calor espec. (J/kg-K)	Absort. Térmica	Absort. Solar
Laje de Concreto	10	1,75	2200	1000	0,90	0,70
Telha: aço galv.	0,5	55	7800	460	0,25	0,70
Placa cimentícia	8	1,75	2200	1000	0,90	0,70

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005

Tabela 3 – Propriedades térmicas dos fechamentos

Fechamento	Transmitância térmica (W/m².K)	Capacidade térmica (kJ/m².K)
Parede cimentícia	5,118	176
Parede telha galvanizada	6,676	17,94
Cobertura telha galvanizada	7,275	17,94

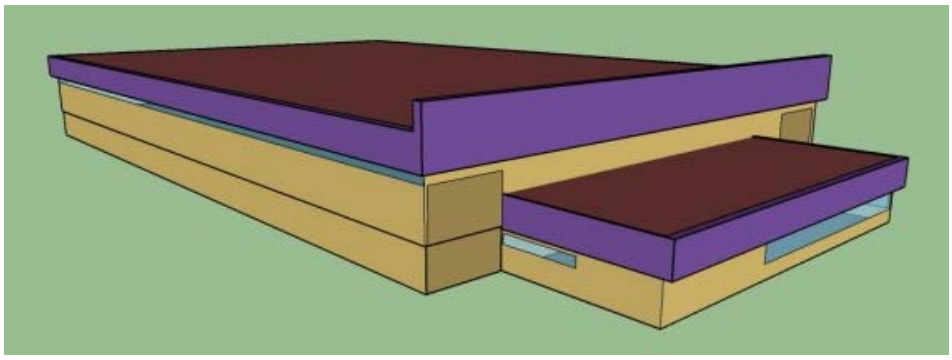
Fonte: Os autores

3.2 Parâmetros da Simulação Computacional

Para a avaliação comparativa dos sistemas de resfriamento evaporativo e da edificação ventilada naturalmente, utilizou-se de simulação computacional realizada através do programa EnergyPlus versão 8.3.0 com auxílio do software Sketchup 15 Make com plugin Legacy Open Studio para a interface gráfica.

A modelagem (Figura 2) baseou-se nas características construtivas do edifício e dados climáticos da cidade de Santa Maria/RS, representados pelo arquivo climático TRY. Aos parâmetros atribuídos ao modelo do pavilhão, além de materiais, estrutura e dimensionamento, somam-se os padrões de comportamento do edifício e dos ocupantes (schedules), e o cálculo da temperatura do solo que foi realizado com auxílio do Pré-processador Slab.

Figura 2 – Modelagem do pavilhão com a interface do software Skecthup



Fonte: Os autores

3.2.1 Condições de uso, ocupação e iluminação

As condições de uso nos modelos elaborados referem-se à condição real da indústria. Quanto à atividade metabólica, considerou-se a atividade relacionada à indústria mecânica de trabalho em máquina ferramenta, do tipo pesado, com taxa metabólica de 210 W/m² (3,6 Met), de acordo com o definido na ASHRAE 55 (2010). Foram considerados 56 trabalhadores com Schedule de ocupação de 100% no período das 07h30min às 12h00min e das 13h00min às 17h18min e 5% de ocupação das 12h00min às13h00min.

O mesmo parâmetro é usado para as *schedules* de iluminação e de equipamentos. A iluminação é feita por lâmpadas de vapor metálico, suspensas, de 250 W cada, totalizando a carga de 28.000 W de potência. Os equipamentos elétricos juntos somam a carga de 175.000 W de potência e foram configurados com fração radiante de 0,5 e 0 para fração latente.

3.2.2 Configuração da situação real

O método de simulação com uso do *software* EnergyPlus considerou para o pavilhão industrial na situação real, os parâmetros de uso do *AirflowNetwork:Simulation Control.* Nesta situação, as esquadrias foram configuradas para abrir 100% ao longo de todo o dia, no campo *Ventilation Control Mode* do *AirflowNetwork:MultizoneSurface* para ventilação constante, determinada pela Schedule *AlwaysOn* (sempre ligada) que é inserida como objeto do *AirflowNetwork: MultizoneZone.*

3.2.3 Configuração do resfriamento evaporativo

Para a configuração do resfriamento evaporativo considerou-se um sistema de resfriamento evaporativo direto com parâmetros de uso do *EvaporativeCooler:Direct:CelDeckPad*. Segundo o Manual de uso do EnergyPlus, o sistema apresenta uma esponja rígida que faz a recirculação de água a partir de um reservatório, provendo a saturação adiabática do ar, fornecendo uma menor temperatura de bulbo seco enquanto que o teor de umidade do ar que sai é maior do que do ar que entra.

O uso do resfriamento evaporativo foi configurado para funcionar apenas nos horários de ocupação do edifício.

3.2.4 Configuração da situação de ventilação com 5ren/h

Esta última configuração foi utilizada para verificar as condições de ventilação na situação real em relação ao resfriamento evaporativo. Para realizá-la, consideraram-se os parâmetros de uso do *ZoneVentilation:DesignFlowRate*, com taxa de ventilação em 5 renovações de ar por hora (5 ren/h) nas 24h do dia, como é a situação do caso real, porém com mais renovações.

3.3 ANÁLISE DE CONFORTO TERMICO

A análise do conforto térmico foi realizada pelo método adaptativo seguindo o modelo de De Dear e Brager (1998), para a ASHRAE 55 (2010). O modelo relaciona as temperaturas médias mensais externas com as temperaturas internas para estabelecer limites aceitáveis de conforto em edificações naturalmente ventiladas, com atividade próxima à sedentária. Para estabelecer limites de 80% de aceitabilidade, a temperatura neutra deve estar entre -3,2°C ≤ Toc ≤3,5 °C. A Equação 1 define a temperatura operativa de conforto.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255T_{ext} \quad (1)$$

Em que:

T_{oc} = temperatura operativa de conforto

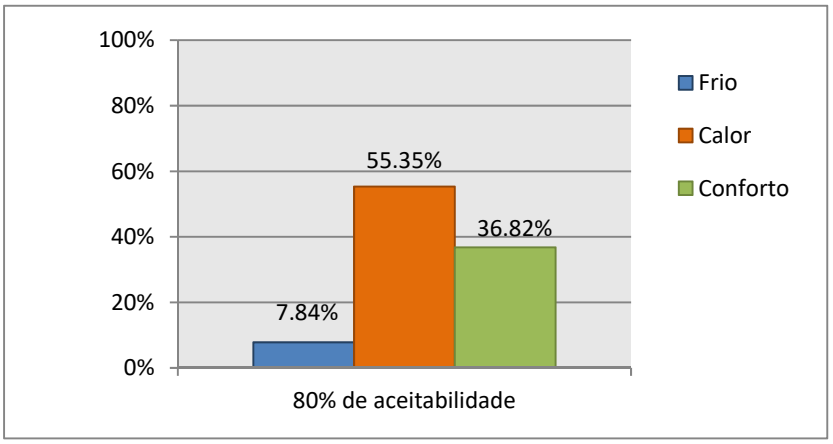
T_{ext} = temperatura mensal média externa

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A simulação computacional dos modelos, com características distintas de ventilação, gerou dados para a análise do conforto adaptativo realizada a partir de gráficos que apresentam o percentual de horas ocupadas em conforto térmico.

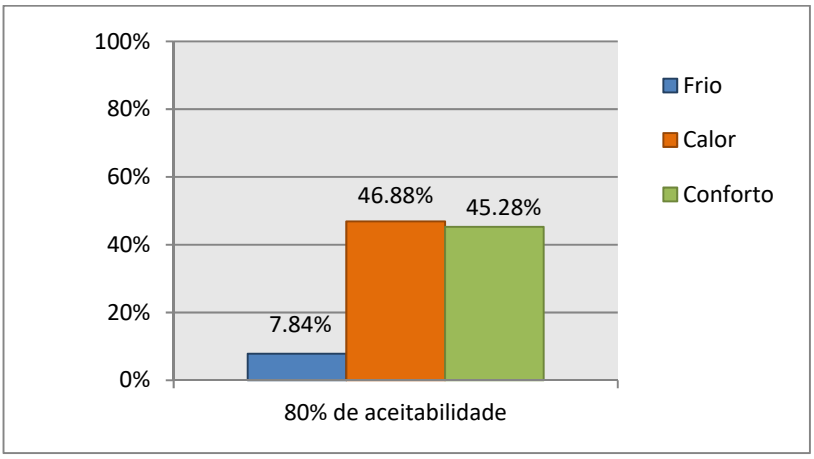
A Figura 3 apresenta a análise para o modelo na situação real de uso da ventilação natural e a Figura 4, a situação real acrescida do resfriamento evaporativo. Na figura 5, o resfriamento evaporativo é configurado junto à ventilação natural com taxa de renovação de ar de 5ren/h.

Figura 3 - Análise do conforto adaptativo para a situação de ventilação natural no pavilhão



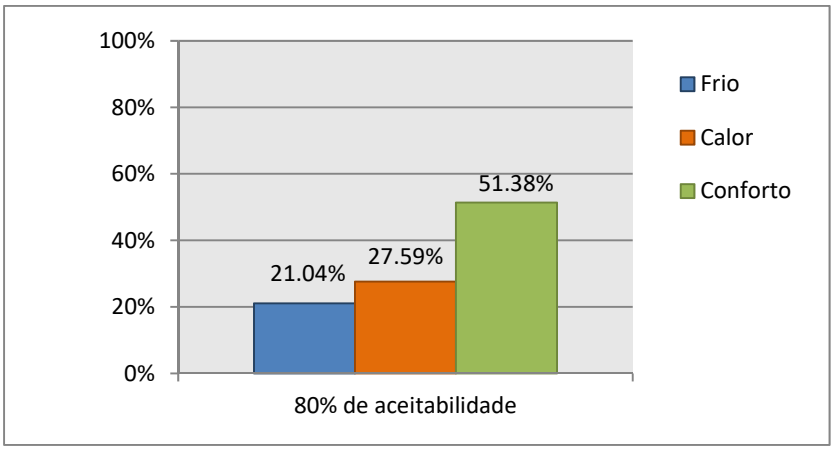
Fonte: Os autores

Figura 4 - Análise do conforto adaptativo para a situação de ventilação natural + resfriamento evaporativo.



Fonte: Os autores

Figura 5 - Análise do conforto adaptativo para a situação de ventilação com 5ren/h + resfriamento evaporativo.

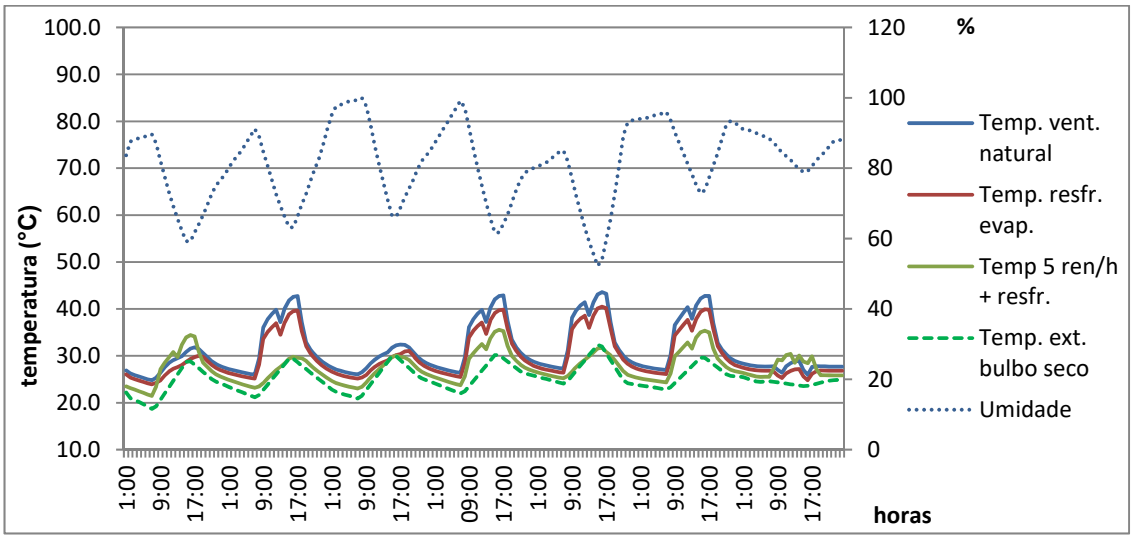


Fonte: Os autores

Observa-se que o percentual de horas ocupadas em conforto térmico é 8,47% maior para a situação do uso do resfriamento evaporativo comparada à situação do caso real. Esta relação é ainda mais expressiva, quando o resfriamento é combinado a uma ventilação com 5 ren/h, reduzindo o desconforto por calor em 27,8%. Nesta última situação, o desconforto por frio aumentou devido à configuração de abertura das esquadrias em 100% durante as 24h do dia.

A melhora no conforto térmico também é perceptível quando observadas as temperaturas internas do local (Figura 6), na análise da semana do dia típico de verão no nível 2,5%, de 17/2 a 23/2, com base no dia 20/2, abordado no trabalho de Flores (2014) e localizado no ano de referência do arquivo climático TRY de Santa Maria/RS.

Figura 6 – Análise da Ventilação Natural X Resfriamento Evaporativo para a semana do dia típico de verão



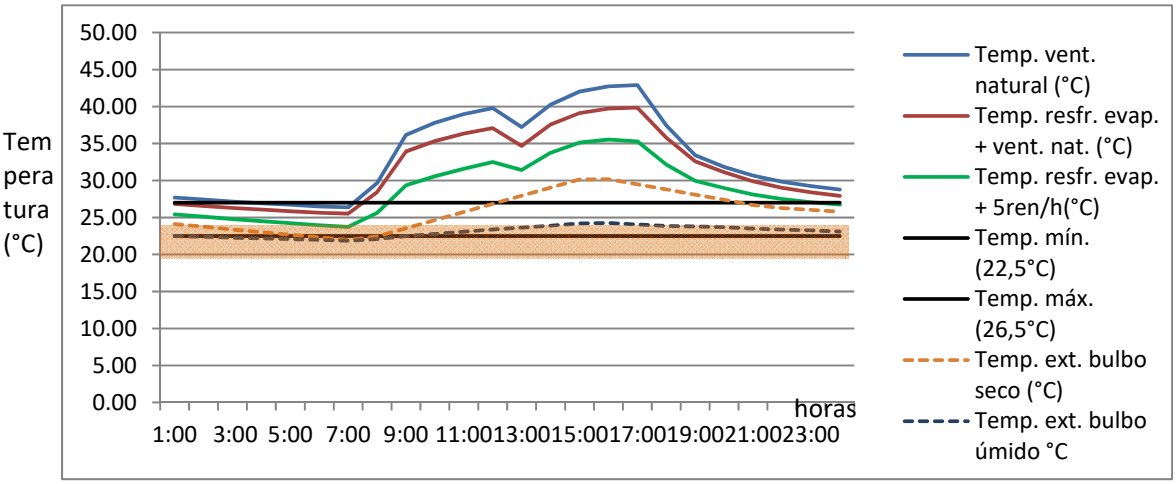
Fonte: Os autores

Na Figura 6, observa-se a redução que ocorre com a temperatura interna quando do uso do resfriamento evaporativo. O pico de temperatura ocorre simultaneamente à redução da umidade relativa, momento em que o funcionamento do sistema de resfriamento é mais eficiente.

Nota-se que a temperatura interna em ambos os casos é maior que a externa e apresenta uma pequena queda no horário de intervalo dos funcionários (entre 12 e 13h), no momento em que a geração interna de calor é diminuída.

O comportamento da edificação se repete ao longo dos dias analisados, tendo o perfil baseado no dia típico (20/2), como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Análise da Ventilação Natural X Resfriamento Evaporativo para o dia típico de verão 2,5% (dia 20/2)



Fonte: Os autores

Na análise do dia típico, a temperatura interna com uso apenas da ventilação natural (condição real), chegou ao seu pico em torno das 17h, alcançando 42,91°C. Quando adicionado o resfriamento evaporativo à situação de ventilação natural, esta temperatura baixa para 39,84 °C e, na situação do resfriamento evaporativo com a ventilação em 5 ren/h, a temperatura passa para 35,30 °C, considerando a umidade relativa de 64% e temperatura de bulbo úmido em 23,90 °C.

O gráfico também demonstra que as temperaturas internas da edificação raramente encontram-se na faixa de conforto (destacada na Figura 7) entre os 22,5 °C e 26,5 °C.

Apesar das falhas do projeto arquitetônico em relação à ventilação no ambiente, o que pode ser percebido quando inserida uma taxa maior de renovações de ar, a competência do resfriamento evaporativo, de maneira geral, demonstra que a relação de funcionamento na situação de elevada umidade relativa do ar (acima de 80%) é de redução em torno de 2°C na temperatura interna. Para os períodos em que a umidade está próxima aos 50%, ocorre redução de até 3°C, como observado para a análise da semana típica de verão apresentada na Figura 6.

Para a conjuntura de uso do resfriamento mais a ventilação em 5 ren/h, a redução na temperatura é mais significativa, alcançando quase 12°C na baixa umidade (em torno de 50%) e até 7°C na alta umidade relativa.

O pico de temperatura na semana típica é representado pelo dia 21/2, em torno de 16h, em que na condição real de uso da ventilação natural, a temperatura é de 43,56 °C, e quando acrescido o resfriamento evaporativo, baixa para os 40,5 °C. Na situação do resfriamento evaporativo com a taxa de ventilação de 5 ren/h, chega aos 31,72 °C, para uma umidade relativa de 54% e temperatura de bulbo úmido de 24,36 °C (Tabela 4).

Ao contrário do que aponta a bibliografia (LAMBERTS, 2014) citada no início do trabalho, mesmo nas situações com a temperatura de bulbo úmido acima de 24°C, o resfriamento evaporativo mostrou-se efetivo na redução da temperatura, embora não tenha sido possível a verificação em temperaturas de bulbo seco acima dos 44°C, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise do resfriamento evaporativo relacionado às altas e baixas UR do ar e Temp. de bulbo úmido

Data/Hora	Temp. c/ vent. natural (°C)	Temp. vent. nat + resfr. evap. (°C)	Temp. vent. 5 ren/h + resfr. evap. (°C)	Umidade relativa (%)	Temp. ext. bulbo seco (°C)	Temp. ext. bulbo úmido (°C)
...	...	...	...	...	...	...
20/02 14:00	40,25	37,57	33,74	66	29,04	23,90
20/02 15:00	42,02	39,12	35,13	62	30,14	24,19
20/02 16:00	42,74	39,73	35,54	62	30,19	24,25
20/02 17:00	42,91	39,84	35,30	64	29,49	24,05

...	...	...	...	...	...	...
21/02 14:00	41,34	38,56	30,69	56	31,24	24,06
21/02 15:00	43,08	40,10	31,58	52	32,34	24,34
21/02 16:00	43,56	40,50	31,72	54	31,98	24,36
...	...	...	...	...	...	...
22/02 15:00	42,23	39,41	35,03	73	29,63	25,60
22/02 16:00	42,78	39,90	35,34	74	29,59	25,71
22/02 17:00	42,77	39,85	35,01	77	28,89	25,62
22/02 18:00	36,98	35,69	31,51	81	28,19	25,48
...	...	...	...	...	...	...

Fonte: Os autores

Realizando a análise do índice de desempenho do resfriamento evaporativo (IF) e seguindo o exposto por Camargo (2008), que avalia as temperaturas externas de bulbo seco e bulbo úmido, constatou-se que em 99,3% dos horários do ano, segundo o arquivo climático TRY de Santa Maria, o uso do resfriamento evaporativo se encontra em situação de resfriamento para conforto e o restante em situação de alívio.

Porém, apesar da redução das temperaturas internas devido ao resfriamento evaporativo, em raros momentos a temperatura interna do ar esteve menor que a temperatura externa.

5 CONCLUSÕES

Os resultados das simulações permitiram observar que o uso do sistema de resfriamento evaporativo como estratégia de climatização do pavilhão industrial amenizou a temperatura do ar e gerou um nível de conforto térmico maior do que no ambiente apenas sendo ventilado naturalmente. As análises relacionadas ao índice de resfriamento também atestaram para o uso da estratégia, confirmando o indicado na carta bioclimática de Santa Maria/RS.

Porém, as temperaturas internas do pavilhão na semana típica analisada encontram-se acima dos 27° C, chegando aos 43,56 °C, o que configura risco de ocorrência de acidentes de trabalho por sobrecarga térmica (mais de 10°C acima dos 27°C). Com o uso do resfriamento aliado à ventilação natural existente, embora reduzindo a temperatura para os 40,5 °C, esta condição não muda. No entanto, na situação de aumento da taxa de renovações de ar para 5 ren/h, a temperatura passa para 31,72 °C, saindo da faixa crítica de risco de acidente e entrando na faixa anterior, de perda da eficiência humana, conforme a Tabela 1.

Tal constatação aponta que o resfriamento evaporativo direto, como um sistema isolado, não se configura como a alternativa ideal de implantação ao pavilhão industrial estudado, devido às falhas no projeto arquitetônico que não fazem um bom uso da estratégia de ventilação natural. A estratégia de ventilação natural é determinante para climas como o de Santa Maria/RS, melhorando o aproveitamento do sistema de resfriamento

evaporativo e do conforto térmico de seus usuários, quando utilizada de forma controlada e bem dimensionada.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA. Santa Maria em dados. Disponível em: <http://santamariaemdados.com.br/1-aspectos-gerais/1-2-localizacao/>. Acesso: 17 dez. 2015.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55:** thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA, 2010.

CAMARGO, J. R. Evaporative cooling: water for thermal comfort. **Revista Ambiente e água.** Taubaté –SP, 2008. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/download/118/510>. Acesso em: 25 jan. 2016.

FLORES, M. G. **Geração da base climática de Santa Maria - RS – Para Análise de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Preservação Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3 ed. Eletrobrás/Procel, Rio de Janeiro, 2014.

MASIERO, E. Resfriamento evaporativo e condicionamento de ar convencional: Estudo experimental comparativo. Dissertação (mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

SCGLIANO, S. e HOLLO, V. **Conforto térmico em edifícios comerciais e industriais em regiões de clima quente.** Ed. Pini. São Paulo, 2001.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EXPLORING LIFECYCLE ZERO ENERGY DEFINITIONS AND CUMULATIVE ENERGY DEMAND OF BUILDINGS[1]

SILVA, Vanessa Gomes (1); SAADE, Marcella R. M. (2); LIMA, Bruno W. (3); SILVA, Maristela G. (4); BARROS, Natália Nakamura (4)

(1) DAC/FEC/UNICAMP, e-mail: vangomes@fec.unicamp.br; (2) PPG-EC UNICAMP, marcelarms@hotmail.com; (3) Solsticio Energia, email: bruno.lima@solsticioenergia.com; (4) DEC/Centro Tecnológico/UFES, email: margomes.silva@gmail.com; (5) PPG-ATC UNICAMP, email: natalianakamura.arq@gmail.com

RESUMO

O conceito de edifícios net zero (balanço neutro de energia) surgiu há alguns anos como uma referência para estabelecer metas e descrever sucesso na busca de redução agressiva do uso de energia em edificações. Como apenas a energia operacional é considerada, as entradas de energia para produção da edificação e incorporadas em outros estágios do ciclo de vida da edificação são negligenciadas. Este artigo tem por objetivo identificar o limite de viabilidade para neutralização da demanda cumulativa de energia (CED) para um edifício de demonstração, através de geração renovável onsite. A motivação é prover uma descrição mais completa do desempenho energético do edifício, pela modelagem detalhada de cada estágio do ciclo de vida e exploração de diferentes cenários para compensação. Os ciclos de produção valeram-se de dados secundários coletados ou adaptados de bases de dados internacionais. Energia secundária operacional foi obtida por simulação utilizando o software EnergyPlus. Componentes renovável e não-renovável de energia foram calculados utilizando o método CED. Simulações para dimensionamento dos arranjos PV foram realizadas utilizando o software Homer Energy. Neutralização da eletricidade operacional total mais a parcela não renovável da CED incorporada nos produtos de construção [NZ(E)B Plus status] foi considerada a meta mais alta possível de ser alcançada para o desenho atual do Living Lab.

Palavras-chave: Avaliação de ciclo de vida. Ciclo de vida de edificações. *NZEB. CED.*

ABSTRACT

The Net Zero concept emerged some years ago as an exciting - and challenging - reference to establish goals and describe success towards aggressive energy use reduction. As only the building operation is considered, the energy input to deliver the building and its components or involved in any other building lifecycle stage is not accounted for. This paper aims at exploring energy compensation scenarios beyond operation stage to identify the feasibility threshold for compensating the cumulative energy demand (CED) over a demo building's lifecycle, and at providing a more meaningful energy performance description by detailed CED modelling in every lifecycle stage. Production cycle modelling used secondary data collected or adapted from SimaPro 7.3 built-in datasets. Operational energy consumption was simulated using Energy Plus software. Renewable and non-renewable embodied energy

[1] SILVA, Vanessa G.; SAADE, Marcella R. M. ; LIMA, Bruno W.; Silva, Maristela G.; BARROS, Natália N. Exploring lifecycle zero energy definitions and cumulative energy demand of buildings. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

components were calculated using the CED method. Homer Energy software simulations supported sizing of different PV arrays. Raw material supply and product manufacturing (43%) and the use stage (52%) clearly dominate lifecycle CED. Neutralization of the total operational electricity plus the non-renewable CED embodied in building products - NZ(E)B Plus status - w as the highest achievable goal allowed by the current Living Lab design.

***Keywords**: Net zero energy. Lifecycle assessment. Building life cycle. NZEB. CED.*

1 INTRODUCTION

This paper has the International Energy Agency (IEA) Annex57 as backdrop, which investigates embodied energy and CO_{2eq} in building construction. The Net Zero concept emerged some years ago as an exciting - and challenging - reference to establish goals and describe success towards aggressive energy use reduction. As only the building operation is considered, the energy input to deliver the building and its components or involved in any other building lifecycle stage is not accounted for. NZ concept also depend on distributed renewable energy generation. From all renewable energy sources, photovoltaic (PV) energy currently shows the fastest growth rate. Considered as one of the cleanest sources of energy available, PV's environmental impacts are basically restricted to manufacturing and disposal (Fthenakis; Kim, 2011). From literature reviewed, this embodied impact fraction is seldom acknowledged in neutralization calculations.

The past decades have focused on increasing operational energy efficiency levels. As top operational performance became mainstream, focus has shifted to the proportional share of (grey) energy embodied in the products stage and in end of life processes. Existing databases and much of the literature provide data for the embodied impacts in product stage. In fact, there seems to be a consistent shortage of data across the construction sector on the energy used during all lifecycle stages (Moncaster; Song, 2012).

Description of transport to site is a big grey area and demands continuous and close interaction with logistics and transport sectors. Prediction of energy use during standard site operations becomes a fundamental part of the whole life embodied energy equation, which has been hampered by a lack of general data on energy intensity of construction equipment and activities, as well as on energy savings related to optimized site management operations. Finally, a clear understanding of the service life of individual components is necessary to support calculations of maintenance, repair, replacement and refurbishment as part of the use stage. There is also limited data on the energy used by demolition, reuse and recycling processes at the end of life of a building.

This paper aims at exploring energy compensation scenarios beyond operation stage to identify the feasibility threshold for compensating the cumulative energy demand (CED) over a demo building's lifecycle, and at providing a more meaningful energy performance description by detailed CED modelling in every lifecycle stage.

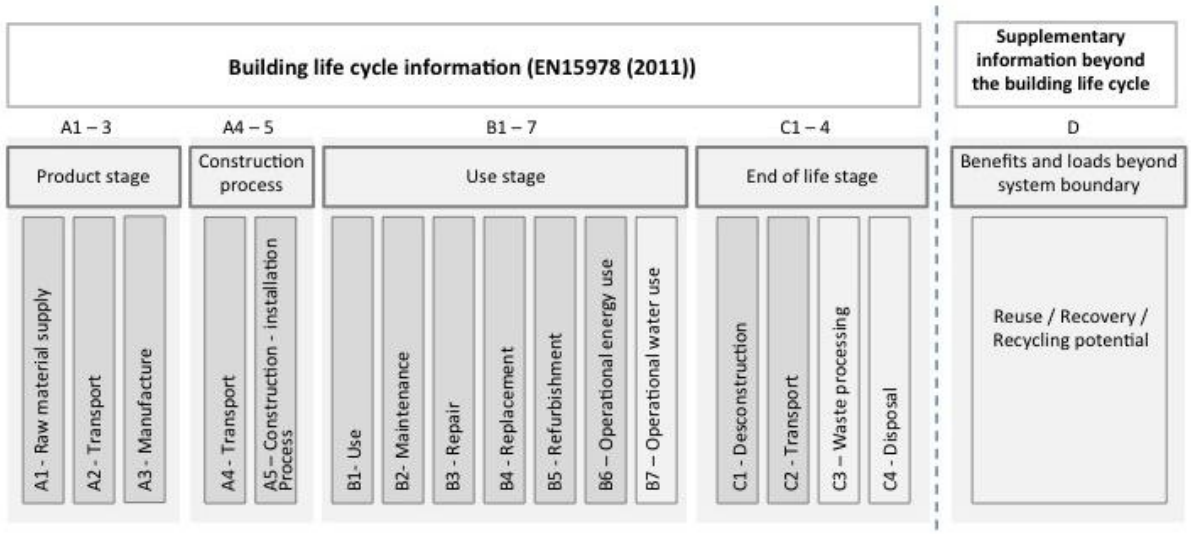
2 PURPOSE AND METHODOLOGICAL APPROACH

2.1 Overview

This research was developed in four main parts: (i) modeling production cycles of building products used in the selected case study; (ii) detailed modeling of the building lifecycle; (iii) calculation of cumulative energy demand (CED) for the different lifecycle phases, using the CED method and SimaPro 7.3 LCA support platform; (iv) modeling of PV systems comprising four different technologies, using Homer Energy software simulations.

The selected case study building is the (minLCee) Living Lab, designed for the University of Campinas – Brazil. The building's design incorporated low-energy strategies, integrated design process, resource use optimization, onsite renewable energy technologies and storm water management, low energy refrigerating system, online resource use and indoor monitoring, among other best practices. The overall system boundary established for lifecycle modeling in this study spans between Modules A1 and C2, shaded in Fig. 1.

Figure 1 - Building life cycle information stages and respective modules



Source: Adapted from BS EN 15978 (2011)

Operational energy consumption was simulated using Energy Plus. Ten neutralization scenarios (Table 1) using four different PV technologies were preset. NZ(CED)B Plus status (i.e.: compensation of total operational electricity - net zero (NZ) - *plus* non-renewable CED of building products) was originally targeted, and neutralization goals incrementally added compensation of the non-renewable primary energy embodied in raw material supply and manufacturing of building products. Finally, requirements to achieve two LC(CED) scenarios were also checked.

Table 1 - Compensation scenarios analyzed

Building lifecycle stage		**Renewable energy generation targets**
Operation (net zero, NZ) statuses		*The PV system must produce enough energy to compensate*
Operational Eletricity (NRen)	NZ(Emission) B (Torcellini et al, 2006)	The building annual non-renewable operational energy consumption
Operational Eletricity (Total)	NZ(E)B (Torcellini et al, 2006)	The total building annual operational energy consumption
CED of Operational Eletricity (NRen)	NZ(CED_{NRen}) Building	The non-renewable portion of the cumulative energy demand of Brazilian mix, grid-supplied operational electricity
CED of Operational Eletricity (Total)	NZ(CED) Building	The total cumulative energy demand of Brazilian mix, grid-supplied operational electricity
Beyond Operation *Plus* statuses (+ CED_{NRen}PROD)		*The PV system must produce enough energy to compensate…*
Operational Eletricity (NRen) + CED (NRen) of Building Products	NZ(Emission)EB Plus	The building annual non-renewable operational energy consumption *plus* the non-renewable portion of the cumulative energy demand of building products
Operational Eletricity (Total) + CED (NRen) of Building Products	NZ(E)B Plus	The total building annual operational energy consumption *plus* the non-renewable portion of the cumulative energy demand of building products
CED of Operational Eletricity (NRen) + CED (NRen) of Building Products	NZ(CED_{NRen})B Plus	The non-renewable portion of the cumulative energy demand of Brazilian mix, grid-supplied operational electricity *plus* the non-renewable portion of the cumulative energy demand of building products
CED of Operational Eletricity (Total) + CED (NRen) of Building Products	NZ(CED)B Plus	The total cumulative energy demand of Brazilian mix, grid-supplied operational electricity *plus* the non-renewable portion of the cumulative energy demand of building products
Lifecycle statuses		*The PV system must produce enough energy to compensate…*
Lifecycle CED (NRen)	LCNZ(CED_{NRen})	The non-renewable cumulative energy demand *over the whole building's lifecycle*
Lifecycle CED (Total)	LCNZ(CED)	The total cumulative energy demand *over the whole building's lifecycle*

Source: the authors

2.2 Building lifecycle modeling

The CED calculation is based on the method published by Ecoinvent version 1.01 (Frischknecht; Jungbluth, 2000). As implemented in SimaPro (PRé, 2008),

characterisation factors are given for the energy resources in five impact categories, expressed by the renewable (biomass, wind/solar/geothermal and water) and non-renewable (fossil and nuclear) CED components. The CED, expressed in MJ, of each stage of the building's lifecycle was calculated by using Equations 2a to 6a and aggregated for whole lifecycle figures (Equation 1a).

$$\mathrm{CED_{LC}} = \mathrm{CED_{PROD}} + \mathrm{CED_{TR}} + \mathrm{CED_{CON}} + \mathrm{CED_{OP}} + \mathrm{CED_{EOL}} \quad (1)$$

Where $\mathrm{CED_{LC}}$ stands for lifecycle CED, in MJ; $\mathrm{CED_{PROD}}$ is the CED of extraction/manufacturing of the building products, in MJ (Equation 2); $\mathrm{CED_{TR}}$ is the CED of transport activities, in MJ (Equation 3); $\mathrm{CED_{CON}}$ is the CED of construction activities, in MJ (Equation 4); $\mathrm{CED_{OP}}$ is the CED of operation activities, in MJ (Equation 5); $\mathrm{CED_{EOL}}$ is the CED of end of life (EOL) treatment activities, in MJ (Equation 6).

- **Product stage (Modules A1 and A3)**

$\mathrm{CED_{PROD}}$ (Modules A1 and A3) was calculated using Equation 2.

$$\mathrm{CED_{PROD}} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{Q\ x\ CED_i} \quad (2)$$

Where $\mathrm{CED_{PROD}}$ stands for CED of extraction/manufacturing of the building products, in MJ; Q is the consumed quantity of a given building product (in mass, volume or area); n is the number of building products; $\mathrm{CED_i}$ is the specific CED, in MJ, per building product functional unit (kg, m^3 or m^2).

Based on the construction drawings and bases of design (BODs) documented for the Living Lab, the materials and components included in the design were quantified and inventory data sourced for the best possible match. With the exception of concrete (authors' data) and the green roofing system (manufacturer's brochure), materials and components production processes were adapted from Ecoinvent v.2.2, ELCD v.2.0, Industry Data v.2.0 and US LCI v.1.6 databases (PRé, 2008). Ecoinvent database v.2.2 (Ecoinvent, 2007) offered information for most items and was preferred for consistency sake, but merging different inventory databases and secondary sources was unavoidable.

- **Construction process stage - Freight and CDW transport**

$\mathrm{CED_{TR}}$ of freight transport registered within the supply chain (Module A2) and later on in the construction process stage (Module A4) was calculated using Equation 3.

$$\mathrm{CED_{TR}} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{M\ x\ D\ x\ CED_i} \quad (3)$$

Where $\mathrm{CED_{TR}}$ stands for CED of transport activities, in MJ; M is the transported mass, in tones; D is the travel distance, in km; n is the number of freight modals used per transport functional unit; $\mathrm{CED_i}$ is the specific CED, in MJ, per transport functional unit (tkm) of the used type of fuel and modal autonomy.

$\mathrm{CED_{CON}}$ of construction activities (Module A5) was calculated using Equation 4.

$$\mathrm{CED_{CON}} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{C\ x\ CED_i} \quad (4)$$

Where CED_{CON} stands for CED of construction activities, in MJ; C is the construction item/activity considered, in respective functional unit; n is the number of construction items/activities; CED_i is the specific CED, in MJ, per construction item/activity functional unit.

Transported mass and transportation distances were included either accurately based on actual travel distances or on best of knowledge estimations in case of missing information. Data from Ecoinvent v.2.2 and ELCD v.2.0 databases were used for modals and fuel types. The original material mass and corresponding transportation and material usage impacts were corrected using wastage factors derived by Agopyan et al (n.d.) or observed in actual construction practice. Since the case study is not built yet, construction equipment fuel use was estimated using data for consumption per m^2 of gross floor area (Yan et al, 2010) for a high-rise building in Hong Kong. Even though construction practices may differ significantly from the original context, as well as the fuel intensity for high and low-rise building construction, Brazilian data for construction activities separated from materials usage are not readily available, and a potentially more suitable figure was not found in the literature reviewed.

- **Use stage (Modules B1-B6)**

CED_{OP} of the use stage was calculated using Equation 5, by adding contributions from maintenance/repair/replacement (Modules B1-B5, i.e. material intake and transportation to the building, as well as corresponding CDW transport to EOL treatment) and operational use of energy (Module B6, 100% electricity).

$$\mathrm{CED_{OP}} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{Op} \ \mathrm{x} \ \mathrm{CED_i} \quad (5)$$

Where CED_{OP} stands for CED of use and operation activities, in MJ; Op is the operation item/activity considered, in respective functional unit; n is the number of operation items/activities; CED_i is the specific CED, in MJ, per operation item/activity functional unit.

Operational energy consumption was simulated using Energy Plus. Data from Ecoinvent v.2.2 (Ecoinvent, 2010) for low voltage electricity in the Brazilian mix were used for operational electricity impact calculation. Substitution of building products during the building's service life (Use stage, in Figure 1), was planed in accordance with the Brazilian performance standard (ABNT NBR 15575, 2013), which establishes minimum design service lives (DSL) for major building subsystems.

- **End of life stage (Modules C1-C2)**

CED_{EOL} of the end of life stage was calculated using Equation 6, by adding contributions from demolition/dismantling equipment energy use (Module C1) and from CDW transport to end of life treatment facilities (Module C2).

$$\mathrm{CED_{EOL}} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{EOL} \ \mathrm{x} \ \mathrm{CED_i} \quad (6)$$

Where CED_{EOL} stands for CED of end of life (EOL) treatment activities, in MJ; EOL is the end of life item/activity considered, in respective functional unit; n is the number of

end of life items/activities; CED_i is the specific CED, in MJ, per end of life item/activity functional unit.

Two EOL scenarios were considered): (1) demolition as usual (BAU, 0% reuse | 76% recycling | 23%landfill), with 90% of material recovery rate, followed by crushing of concrete, recycling of metals as scrap and incineration of wooden material without energy recovery and landfilling of the remaining CDW; and (2) 90%-recovery efficient selective dismantling (19% reuse | 60% recycling | 20%landfill), followed by partial (40%) reuse of steel frame, crushing of concrete, recycling of steel rebar and 60% of the structural frame and incineration of wooden material without energy recovery and crushing of uncoated glass, and landfilling of the remaining CDW.

2.3 Energy demand scenarios and photovoltaic (PV) system modelling

Four crystalline silicon (single-Si, multi-Si) and thin film (amorphous-Si and CIGS) PV technology generations were simulated. a-Si is the most efficient technology in terms of system power demanded and could be a good alternative for projects with more surface available, whereas single-Si PV technology is the most efficient alternative in terms of area needed to deliver each kWp.

PV system sizing procedure using Homer Energy software discounted generation losses (1) as the orientation and exposure angle of the envelope surfaces varied for facade- and rooftop-mounted applications; (2) when the panel is subjected to outdoor temperatures above the standard test conditions[2] (Table 2); and (3) over time. To account for the latter, a degradation factor of 0.5% per year was applied, assuming a 25-year panel service life (Lima et al, 2012) to ensure that the desired performance is maintained over the whole period of study.

Table 2 - Characteristics of the different PV modules simulated here

PV technology	Module Efficiency	γP_{MPP}
single-Si	**12% to 19%**	**-0.42%/K to -0.56%/K**
multi-Si	**11% to 15%**	**-0.40%/K to -0.49%/K**
a-Si	**4% to 8%**	**-0.19%/K to -0.20%/K**
CIGS	**7%** to **12%**	**-0.36%/K to -0.42%/K**

Source: the authors (adapted from Fthenakis; Kim, 2011; EPIA, 2011; Makrides et al, 2009: Ito et al, 2008; Bravi et al, 2011)

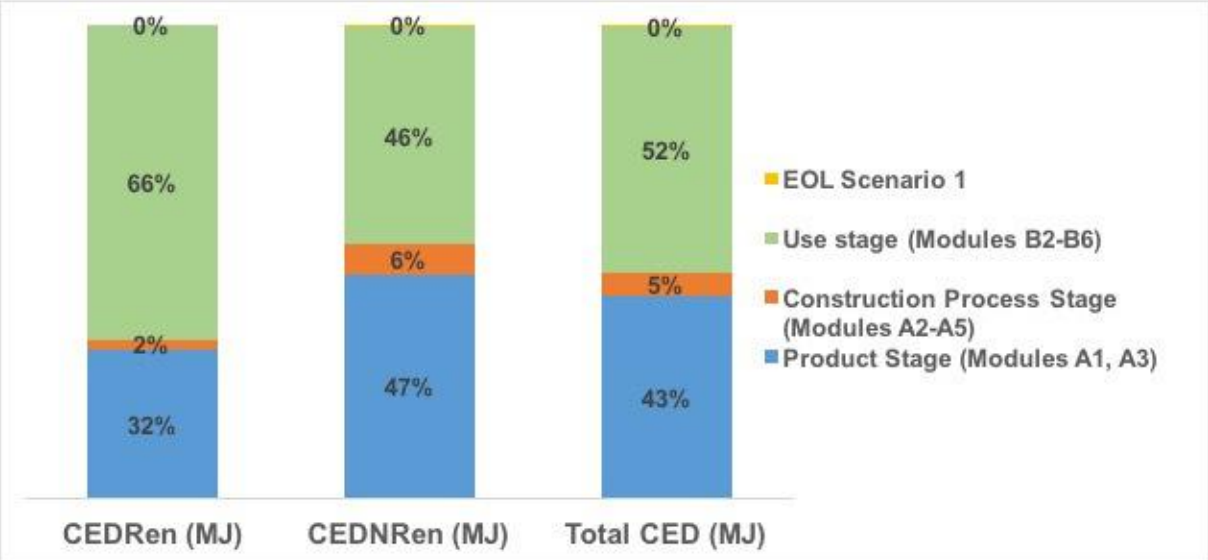
3 RESULTS PRESENTATION AND DISCUSSION

Raw material supply and manufacturing (43%) and the use stage (52%) are almost even regarding lifecycle CED (Figure 2), proving the importance of pre-use stages in energy assessment of high efficient energy buildings.

[2] Solar cell temperature of 25 ± 2℃; radiation level of 1,000 W/m ^{2} normal to the surface and solar spectrum of 1.5 AM (Ruther, 2004)

The structural system (41%), partitions (34%, particularly from galvanized steel frame), the PV system plus BOS (16%) and façade panels (7%) were the major contributors to CED embodied in building products. Material replacement and transportation of the corresponding CDW mass increase the CED during use stage by a factor of over four. EOL treatment scenario simulations, though highly speculative, had negligible effect on overall CED (<1% CED_{LC}).

Figure 2 – Contribution of the different stages to the life cycle CED of case studied



Source: the authors

Table 4 shows the results for the ten energy balance scenarios simulated, which ranged from net zero to complete building life cycle. Offsetting Scenarios 1, 2, 3 and 4 (ranging from the non-renewable portion [Scenario 1] to total operational electricity CED [Scenario 4] are potentially achievable using all technologies but a-Si, in the last case. This brings important flexibility to decision-making, particularly in terms of costs and smooth integration to architecture.

In fact, addition of the non-renewable CED embodied in building products to the neutralization targets ('Plus' statuses) basically rule out surface-intensive PV technologies. NZ(Emission)EB Plus status [Scenario 1a] is still achievable by using single-Si or multi-Si, but all remaining scenarios would only be accomplished if single-Si PV is used.

Table 4 - Energy balance scenarios simulated and respective system power and effective area requirements for the four PV technologies tested

PV Technology/ scenarios	System power (kWp)	Effective generation area (m^2)	PV Technology/ scenarios	System power (kWp)	Effective generation area (m^2)
1. Operational electricity (NRen) [NZ(Emission)EB]			**1a. Operational electricity (NRen) + CED (NRen) PROD [NZ(Emission)EB Plus]**		
single-Si	3.5	**20.59**	**single-Si**	64.47	**379.10**
multi-Si	3.49	24.94	multi-Si	64.29	459.06
a-Si	3.41	48.73	a-Si	62.77	897.03
CIGS	3.47	28.87	CIGS	63.81	531.52
2. CED Operational Eletricity (NRen) [NZ(CED_{NRen})B]			**2a. CED Operational Eletricity (NRen) + CED (NRen) PROD [NZ(CED_{NRen})B Plus]**		
single-Si	12.61	**74.14**	**single-Si**	**73.58**	**432.65**
multi-Si	12.57	89.78	multi-Si	73.38	523.9
a-Si	12.28	175.44	a-Si	71.64	1023.75
CIGS	12.48	103.95	CIGS	72.82	606.6
3. Operational electricity (total) [NZ(E)B]			**3a. Operational electricity total + CED (NRen) PROD [NZ(E)B Plus]**		
single-Si	22.74	**133.72**	**single-Si**	**83.71**	**492.22**
multi-Si	22.68	161.92	multi-Si	83.48	596.04
a-Si	22.14	316.41	a-Si	81.51	1164.71
CIGS	22.51	187.48	CIGS	82.85	690.13
4. CED Operational Eletricity (total) [NZ(CED)B]			**4a. CED Eletricity Operational total + CED (NRen) PROD [NZ(CED)B Plus]**		
single-Si	40.24	**236.62**	single-Si	101.21	**595.13**
multi-Si	40.13	286.53	multi-Si	100.93	720.65
a-Si	39.18	559.9	a-Si	98.54	1408.21
CIGS	39.83	331.76	CIGS	100.17	834.41
5. LC CED (NRen) [LCNZ(CED_{NRen})]			**5a. LC CED (total) [LCNZ(CED)]**		
single-Si	129.28	**760.17**	single-Si	180.56	**1061.69**
multi-Si	128.92	920.51	multi-Si	180.06	1285.63
a-Si	125.87	1798.73	a-Si	175.8	2512.21
CIGS	127.95	1065.81	CIGS	178.7	1488.57

Source: the authors

All net zero (NZ) energy and CED statuses would be easily reached through PV onsite generation, so that no electricity would have to be drawn from the grid during operational phase on an annual basis, as established for net zero definitions. Sizing of the PV array sufficient to cover the NZE Emission building [Scenario 1] makes it very evident that such concept does not stimulate much progress in contexts with high renewable content electricity mixes, like in Brazil.

The desired NZ(CED)B Plus goal (Scenario 4a) was missed by little, and could possibly be achieved upon slight design or modeling improvement. Optimized usage of the current envelope area met the requirements for offsetting the total operational electricity plus the non-renewable CED embodied in Product stage [NZ(E)B Plus status, Scenario 3a]. This is understood as the practical feasibility limit for the present design, given by the envelope surface available for PV mounting while keeping its architectural coherence. The

corresponding 674.30 m^2 of installed single-Si PV was inserted in the building's CED lifecycle calculations (Table 3). Beyond this threshold, all scenarios simulated would require extra land use, which depend on effective generation areas larger than the building's footprint and envelope area added together.

4 CONCLUSIONS AND FINAL REMARKS

For being a demo building, the maximum generation capacity was basically limited by the available surface for applying traditional rooftop - and façade-mounted PV. The use of BIPV was not explored and could bring further material intake benefits. Ubiquitous use of visible PV panels sends a powerful message for passersby and is tuned with this particular building's mission, but would not necessarily suit other construction types. Furthermore, in real-life implementation studies, cost would still probably be a more important aspect restricting aggressive energy and GWP reducing goals.

All that said, this experience indeed helps to ground concepts and shows that they are achievable in our context, as well as the major gaps and challenges to turn NZ e CED budgeting goals into mainstream practice.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank CPFL Energia, CAPES, CNPq and FAPESP for their generous funding.

REFERENCES

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 19 de Julho de 2013. Part 1 – Requisitos gerais. (in Portuguese)

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra**. Available at: http://habitare.infohab.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/104.pdf. (in Portuguese).

BRAVI, M.; PARISI, M. L.; TIEZZI, E.; BASOSI, R. Life cycle assessment of a micromorph photovoltaic system. **Energy**, v. 36, n. 7, p. 4297-4306, 2011. ISSN 0360-5442.

BSI. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 15978:2011**: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. London: BSI. 2011.

EPIA. EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Solar Generation 6 - Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World**. European Photovoltaic Industry Association: 100 p. 2011.

FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N. (editors). **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods.** Final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Dubendorf, CH, www.ecoinvent.org. 2003.

FTHENAKIS, V.; KIM, H. C. Photovoltaics: Life-cycle analyses. **Solar Energy**, v. 85, n. 8, p. 1609-1628, 2011. ISSN 0038-092X.

ITO, M.; KATO, K.; KOMOTO, K.; KICHIMI, T.; KUROKAWA, K. A comparative study on cost and life-cycle analysis for 100 MW very large scale PV (VLS-PV) systems in deserts using m-Si, a-Si, CdTe, and CIS modules. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 16, n. 1, p. 17-30, 2008. ISSN 1099-159X.

LIMA, B. W. F.; JANNUZZI, G. M.; SILVA, V. G. Evaluation of the Performance of a Theoretical BIPV System Installed into Building´s Façade. In: 4th CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Enviroments, São Paulo, 27-29 jun. 2012. **Proceedings…** São Paulo: FUNCAMP, 2012.

MAKRIDES, G.; ZINSSER, B.; GEORGHIOU, G. E.; SCHUBERT, M.; WERNER, J. H. Temperature behaviour of different photovoltaic systems installed in Cyprus and Germany. **Solar energy materials and solar cells**, v. 93, n. 6, p. 1095-1099, 2009. ISSN 0927-0248.

MONCASTER, M.; SONG, J-Y. A comparative review of existing data and methodologies for calculating embodied energy and carbon of buildings, **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development,** 3:1, 26-36. 2012. Available at http://dx.doi.org/10.1080/2093761X.2012.673915.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro Database Manual.** Methods library. Report version 2.2. Amersfoort: PRé Consultants. May 2008.

RÜTHER, R. **Edificios Solares Fotovoltaicos.** Florianópolis: Editora UFSC / LABSOLAR 2004.

THE ECOINVENT CENTRE - SWISS CENTRE FOR LIFE CYCLE INVENTORIES. **Ecoinvent data v.2.2.** Saint Gallen: The Ecoinvent Centre. April 2010.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M.; CRAWLEY, D. **Zero energy buildings: A critical look at the definition.** National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US, 2006.

YAN, H.; SHEN, Q.; FAN, L. C.H.; WANG, Y., ZHANG, L. Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. **Building and Environment** 45 (2010) 949–955.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO[1]

ANDRADE, Fabia Kamilly Gomes (1); CORDEIRO, Matheus Souza (2); LORDSLEEM JR., Alberto Casado (3)

(1) POLI/UPE, e-mail: fabiakamilly@hotmail.com; (2) POLI/UPE, e-mail: matheuscordeiro22@hotmail.com; (3) POLI/UPE, e-mail: acasado@poli.br

RESUMO

Este artigo objetiva avaliar as vedações verticais de salas de aula de instituição educacional em relação ao desempenho acústico, cuja metodologia contempla a coleta de dados em 26 salas de aula de 3 edifícios, conforme as especificações das normas ISO 16283-1 (ISO, 2014) e ISO 717-1 (ISO, 2013). A compilação dos dados foi realizada através do software dBBati e os resultados foram analisados comparativamente às referências internacionais (decreto-lei 96/2008 de Portugal, BB93 do Reino Unido, ANSI 12.60 dos EUA, AS/NZ 2107), bem como analisados em relação à geometria do ambiente e as esquadrias. Os resultados totalizaram 46 medições, sendo 17 para vedação interna e 29 para externa, cujos valores obtidos variaram de 41 até 49 dB e 22 até 34 dB, respectivamente. Pôde-se notar que 59% das vedações internas e 76% das externas possuem valores abaixo do desempenho mínimo exigido; além da influência direta das esquadrias no desempenho, considerando suas dimensões e abertura. Estes resultados indicam que parcela expressiva das vedações de sala de aula de uma instituição educacional não apresenta desempenho acústico satisfatório, o que pode comprometer a inteligibilidade da fala e o processo de aprendizagem dos alunos.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Vedações verticais. Salas de aula.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the wall partitions of classrooms of an education institution as to acoustic performance, whose methodology includes data collection in 26 classrooms in three buildings, according to the specifications of standard ISO 16283-1 (ISO, 2014) and ISO 717-1 (ISO, 2013). The compilation of the data was performed using the dBBati software and the results were analyzed comparatively to international references (from Portugal, BB93 UK, ANSI 12.60 US, AS / NZ 2107); and analyzed in relation to the geometry of the environment and frames. The results amounted to 46 measurements, 17 for internal walls and 29 for external walls, which obtained values ranged from 41 to 49 dB and 22 to 34 dB, respectively. It might, therefore, to note that 59% of internal walls and 76% of foreign have values below the minimum required performance; beyond the direct influence of frames in performance, considering its size and openness. These results indicate that a significant portion of the classroom wall partitions of education institution has not acoustic performance suitable, which may compromise the intelligibility of speech and the process of learning students.

***Keywords**: Acoustic performance. Walls partitions. Classrooms.*

[1] ANDRADE, Fábia Kamilly Gomes; CORDEIRO, Matheus Souza; LORDSLEEM JR., Alberto Casado. Análise do desempenho acústico das vedações verticais em instituição de ensino. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Os resultados de uma abordagem míope estão presentes nas construções, dentre às quais é possível destacar o ruído e o seu poder de interferir no meio ambiente e na saúde e qualidade de vida da população (AZKORRA, 2014; SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015).

Rabelo et al. (2015) afirmam que o ruído pode interferir em atividades escolares exercidas pelo aluno, sobretudo no rendimento escolar e na compreensão do conteúdo abordado. Além disso, destacam a ocorrência de reclamações dos docentes em relação à elevação da voz para compensar o ruído interno e externo (corredores), causando irritabilidade, cansaço, dificuldades de concentração, dores de cabeça e zumbidos.

Dentro deste contexto, este trabalho contempla a avaliação experimental realizada em 26 salas de aula de 3 edifícios de universidade do nordeste brasileiro, cujo objetivo é analisar o desempenho acústico das vedações verticais externas e internas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fundamentos da acústica das construções

As condições acústicas mínimas de instituições de ensino consideram, sobretudo, a reverberação e o ruído de fundo existentes, tendo em vista que o excesso destes dificultam a comunicação entre professor e alunos, afetando todo o processo de aprendizagem (MENEZES, 2010).

A norma NBR 11957 (ABNT, 1988) define o tempo de reverberação (TR) como "o tempo necessário para que o nível de pressão sonora caia de 60 dB depois que a fonte cessou".

Este tempo é o maior responsável pela boa ou má acústica de um ambiente, pois quanto mais elevados em relação ao tempo ótimo, maiores os prejuízos na compreensão da fala ou inteligibilidade da fala. A inteligibilidade de fala é a capacidade de reconhecimento pelo ouvinte do sinal acústico emitido pelo orador (FAURO et al., 2011; RABELO et al., 2014).

O ruído de fundo, segundo a norma NBR 10151 (ABNT, 2000), é o nível de pressão sonora na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão. Este nível de pressão sonora é a média temporal das pressões sonoras medidas em resposta rápida (5s) durante o intervalo de medição.

2.2 O desempenho acústico das vedações verticais

Loordsleem Jr. (2012) afirma que as vedações verticais determinam grande parte do desempenho do edifício como um todo, controlando a ação de agentes indesejáveis, entre eles: o ruído aéreo.

Para avaliar estas vedações quanto ao desempenho acústico em campo, a norma ISO 717-1 (ISO, 2013) apresenta como parâmetros acústicos a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nt,w}$) e a Diferença

Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$) respectivamente, para vedações internas e externas.

Estes parâmetros de medição do desempenho dependem dos níveis de pressão sonora nos ambientes de recepção e emissão, do ruído de fundo e do tempo de reverberação (PENEDO; OITICICA, 2015).

Em se tratando de edificações habitacionais, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece critérios de avaliação destes parâmetros. No entanto, nos demais tipos de construções, dentre elas as instituições de ensino, não há normalização brasileira, sendo necessária a busca por referências internacionais.

A constituição e montagem das vedações determinam, em grande parte, os níveis de desempenho acústico no ambiente construído (OLIVEIRA; MITIDIERI FILHO, 2012; RIBAS et al., 2013).

Em relação as esquadrias, a utilização apenas de vidros mais espessos, não constitui isoladamente uma contribuição tão significativa em função do comportamento do conjunto dos componentes: persiana, sistema de vedação na caixa e mecanismo de fechamento das folhas (SCHVARSTZHAUPT; TUTIKIAN; NUNES, 2014).

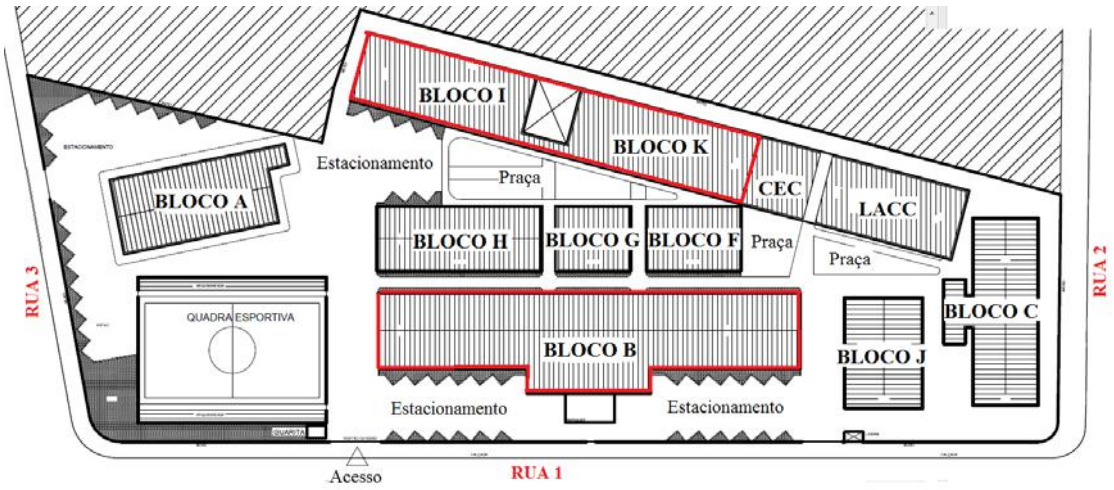
Outra variável importante é a forma do ambiente, que inclui um sentido de volume, possuindo propriedades como o formato, o tamanho e a textura que interferem na acústica (CHING, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objeto de pesquisa e caracterização

O presente estudo trata-se de uma pesquisa experimental, realizada em 1 instituição de ensino localizada na Região Metropolitana do Recife (RMR) a aproximadamente 2 km do centro da cidade, conforme apresenta a Figura 1.

Figura 1 - Planta baixa da instituição e identificação dos edifícios



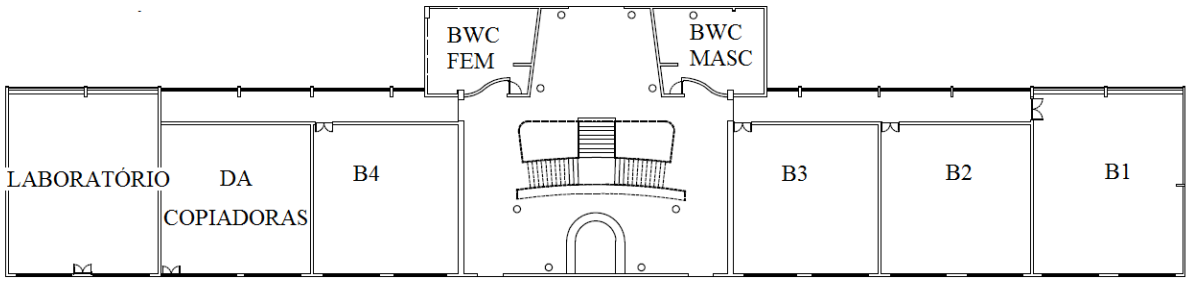
Fonte: Os autores

A escolha desta instituição considerou a acessibilidade do local, tendo em vista a proximidade com o centro da cidade, bem como o interesse da diretoria que autorizou a realização dos ensaios.

Foram selecionados os blocos B, I e K, pois possuem elevada frequência de utilização - usados tanto para aulas dos cursos de graduação, como também, para as atividades da pós-graduação (*lato* e *stricto sensu*) e cursos de idioma de língua estrangeira.

O bloco B possui 2 pavimentos com altura de forro 3,65 m, sendo 1 térreo e 1 superior, com salas de aula, setor administrativo, as copiadoras e o diretório acadêmico (DA). A planta baixa do pavimento térreo é apresentada na Figura 2.

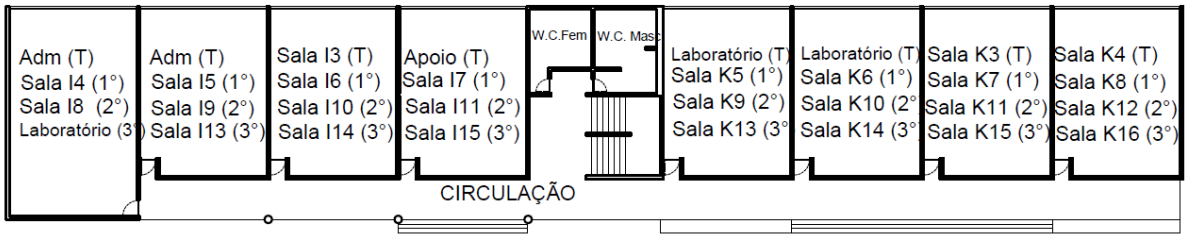
Figura 2 - Planta baixa do pavimento térreo do bloco B



Fonte: Os autores

Os blocos I e K são blocos interligados com altura de forro 2,5 m e possuem 4 pavimentos, sendo 1 térreo e 3 superiores, de igual padrão construtivo e de mesma disposição arquitetônica. Cada bloco dispõe de uma circulação principal que dá acesso às salas de aula, indicadas na Figura 3.

Figura 3 - Disposição das salas nos blocos I e K



Fonte: Os autores

As salas analisadas dos 3 blocos totalizaram 26 unidades e são em alvenaria tradicional, tijolos de 8 furos assentados com argamassa. As paredes são todas revestidas com argamassa e pintura, mas as salas dos blocos I e K possuem revestimento cerâmico até 1,20 m.

Vale ressaltar que não foram considerados laboratórios, o que restringiu os ensaios apenas as salas de aula.

As características das esquadrias por bloco e sala monitorada se encontram na Tabela 2.

Tabela 1 - Caracterização das esquadrias dos blocos

Bloco	Sala	Dimensão das esquadrias
B	B1	2 janelas fixas (2,90 m x 1,55 m) 1 porta de madeira com 2 folhas (2,25 m x 1,17 m)
	B2, B3 e B4	2 janelas fixas (2, 90 m x 1,55 m) 1 porta de madeira com 2 folhas (2,25 m x 0,98 m)
I e K	K3 até K16 I8 até I15, I3	1 janela de correr com 6 folhas (6,60 m x 1,60 m) 8 janelas maxim-ar (0,4 m x 0,4 m) 1 porta de madeira com 1 folha (2,10 m x 0,90 m)

Fonte: Os autores

3.2 Caracterização dos ensaios

3.2.1 O equipamento de medição

O equipamento de medição utilizado nas coletas de campo foi disponibilizado pelo laboratório da instituição de ensino, apresentado na Figura 4, que dispõe das seguintes partes integrantes, conforme a Tabela 3.

Figura 4 - Instrumento de medição e equipamentos



Fonte: Os autores

Tabela 2 - Equipamento de medição

Parte integrante	Função
Medidor de nível de pressão sonora	Coletar os ruídos de emissão, recepção e o tempo de reverberação em campo para posterior análise e compilação no software dBBati.
O calibrador acústico	Verificar a calibração do medidor, conforme as especificações do fabricante.
A fonte emissora de ruído	Formada por: 1 amplificador de potência; 1 haste elevatória; 1 fonte sonora dodecaédrica; 1 Controle remoto.
Software dBBati	Software responsável pela compilação dos dados de campo e geração dos resultados.

Fonte: Os autores

3.2.2 Procedimento de ensaio

Os ensaios foram realizados conforme os procedimentos das normas ISO 16283-1 (ISO, 2014) e ISO 717-1 (ISO, 2013) no período da tarde - entre 12h e 16h - à exceção do bloco B, que foi realizado entre 18h e 21h. A escolha dos horários considerou a disponibilidade das salas.

A norma ISO 16283-1 (ISO, 2014) recomenda as disposições do medidor durante o ensaio, bem como o número de medições efetuadas, devendo-se manter as distâncias mínimas de 0,5 m de qualquer superfície, 0,7 m entre leituras não alinhadas e 1 m da fonte emissora.

Em relação ao número de medições por ensaio, foram efetuadas 1 medição do ruído de emissão, 4 do ruído de recepção e do ruído de fundo; além de 2 tempos de reverberação para os ensaios nas vedações internas. Já para as vedações externas, apenas as medições do ruído de recepção e de fundo foram alteradas, que totalizaram 3 medições por ensaio.

O *software* dBBati exige uma diferença mínima de 6 dB entre o ruído de fundo e o ruído de recepção, conforme especificações da norma mencionada. Caso contrário, não será possível compilar os dados e gerar os resultados.

3.3 Análise dos resultados

Os resultados foram comparados com os critérios estabelecidos em referências internacionais, entre as quais: o decreto-lei 96/2008 do Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios (RRAE) de Portugal; o guia de referência para *design* de escolas do Reino Unido – Building Bulletin 93 (BB93) publicado em 2003; a norma americana para arquitetura escolar, ANSI S12.60 (2009); a norma neozelandesa, AS/NZ 2107 (2000).

A Tabela 4 apresenta um resumo dos citados critérios.

Tabela 3 - Critérios segundo as referências internacionais

Indicador	Portugal	Reino Unido	EUA	Nova Zelândia
Dnt,w	45 dB	45 dB	48 dB	48 dB
D2m,nt,w	30 dB	45 dB	43 dB	-

Fonte: Adaptado de Menezes (2010)

Os resultados também foram analisados em relação às seguintes variáveis acústicas: geometria do ambiente e esquadrias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5 apresenta o resumo dos resultados de desempenho acústico das vedações internas e externas, considerando o valor mínimo, máximo, a média e a mediana referentes ao total de ensaio realizados nos 3 edifícios.

Tabela 5 – Resumo da $D_{nt,w}$ e $D_{2m,nt,w}$ de vedações internas e externas dos 3 edifícios

Vedação	Parâmetro	Valor mínimo (dB)	Valor máximo (dB)	Média (dB)	Mediana (dB)
Vedação interna	$D_{nt,w}$	41	49	44,7	44
Vedação externa	$D_{2m,nt,w}$	22	34	27,2	27

Fonte: Os autores

Na Tabela 6, observa-se as salas de emissão e recepção, bem como os 4 resultados obtidos de desempenho acústico nas vedações internas, a partir das 4 medições de recepção efetuadas por ensaio. Para estes resultados foram identificados o valor mínimo, máximo, a média e a mediana.

Tabela 6 - $D_{nt,w}$ para as vedações internas dos 3 edifícios

Salas		Valores em dB							
Emissão	Recepção	1	2	3	4	Mínimo	Máximo	Médio	Mediana
B1	B2	48	49	48	49	48	49	48,5	48,5
B2	B3	47	*	48	48	47	48	47,7	48
I9	I10	45	47	48	45	45	48	46,3	46
I10	I11	45	46	47	46	45	47	46	46
I11	I12	45	45	45	48	45	48	45,8	45
I14	I15	46	47	46	47	46	47	46,5	46,5
I15	I16	48	47	47	47	47	48	47,3	47
K4	K5	44	45	45	45	44	45	44,8	45
K5	K6	42	43	41	43	41	43	42,3	42,5
K6	K7	*	44	44	43	43	44	43,7	44
K7	K8	44	44	44	43	43	44	43,8	44
K9	K10	44	44	44	44	44	44	44	44
K10	K11	43	43	43	44	43	44	43,3	43
K11	K12	41	41	41	43	41	43	41,5	41
K13	K13	43	43	43	41	41	43	42,5	43
K14	K15	43	44	43	43	43	44	43,3	43
K15	K16	44	43	44	44	43	44	43,8	44

Fonte: Os autores

O valor 2, correspondente à parede entre as salas B2 e B3, possui um asterisco, que significa que o *software* não conseguiu compilar e gerar o resultado. Isso se deve a diferença entre os ruídos de fundo e de recepção ser menor que 6 dB.

Tendo em vista que o valor mínimo exigido é de 45 dB pelo decreto-lei 96/2008 de Portugal e pelo BB93 (2003), conclui-se que aproximadamente 59% das vedações internas não estão em conformidade com o desempenho acústico mínimo exigido. Em contrapartida, se as referências forem a ANSI S12.60 (2009) e AS/NZ 2107 (2000), este percentual tende a aumentar, já que a exigência mínima para o desempenho acústico passa a ser de 48 dB. Portanto, para estas normas, o percentual de não conformidade é de 94%.

Na Tabela 7, observa-se as salas de emissão e recepção, sendo a sala de emissão o ambiente externo, bem como os 3 resultados obtidos de

desempenho acústico nas vedações externas, a partir das 3 leituras de recepção efetuadas por ensaio. Para estes resultados foram identificados o valor mínimo, máximo, a média e a mediana por ensaio, totalizando 29 ensaios.

Tabela 7 - $D_{2m,nt,w}$ para as vedações externas dos 3 edifícios

Salas		Valores em dB						
Emissão	Recepção	1	2	3	Mínimo	Máximo	Médio	Mediana
Fachada frontal	B1	33	34	34	33	34	33,7	34
	B2	30	32	32	30	32	31,3	32
	B3	31	31	32	31	32	31,3	31
	B4	30	31	32	30	32	31	31
Fachada posterior	B1	26	26	25	25	26	25,7	26
	B2	28	28	28	28	28	28	28
	B3	28	28	28	28	28	28	28
	B4	22	22	22	22	22	22	22
Fachada frontal	I3	26	29	29	26	29	28	29
	I9	30	27	29	27	30	28,7	29
	I10	33	32	31	31	33	32	32
	I11	31	31	32	31	32	31,3	31
	I13	28	29	29	28	29	28,7	29
	I14	28	30	30	28	30	29,3	30
	I15	32	32	32	32	32	32	32
	K3	26	26	26	26	26	26	26
	K4	25	27	27	25	27	26,3	2
	K5	25	26	26	25	26	25,7	26
	K6	24	24	24	24	24	24	24
	K7	26	26	26	26	26	26	26
	K8	25	26	25	25	26	25,3	25
	K9	25	24	25	24	25	24,7	25
	K10	24	24	24	24	24	24	24
	K11	24	24	23	24	24	24	24
	K12	23	23	23	23	23	23	23
	K13	26	26	26	26	26	26	26
	K14	27	27	26	26	27	26,7	27
	K15	23	23	23	23	23	23	23
	K16	23	23	23	23	23	23	23

Fonte: Os autores

Tendo em vista que o valor mínimo exigido é de 30 dB pelo decreto-lei 96/2008 de Portugal, conclui-se que aproximadamente 76% das vedações externas não estão em conformidade com o desempenho acústico mínimo exigido.

Em contrapartida, se as referências forem o BB93 (2003) e ANSI S12.60 (2009), cujas exigências são de 45 dB e 43 dB, respectivamente, 100% das vedações estariam em desacordo.

É importante ressaltar que o ambiente externo corresponde à área de circulação de acesso às salas (coberto), conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5 – Circulação de acesso às salas



Fonte: Os autores

Analisando os desempenhos por edifício, nota-se que as salas do bloco B apresentaram resultados superiores quando comparados aos demais blocos, para as vedações internas e externas.

Pode-se justificar este fato, analisando as variáveis acústicas relacionadas ao volume do ambiente, a área total e a contribuição percentual das esquadrias na área das salas. A Tabela 8 apresenta as informações correspondentes a tais variáveis para os 3 edifícios.

Nota-se, portanto, que as salas do bloco B são maiores, aumentando o tempo ótimo de reverberação, que contribui para a inteligibilidade da fala; além da menor contribuição percentual das esquadrias na área total, implicando em maior isolamento, tendo em vista que as esquadrias constituem em pontos fracos.

Além disso, é relevante destacar que as janelas deste bloco são fixas; enquanto as janelas dos blocos I e K são de correr, apresentando vedação comprometida entre as folhas.

Tabela 8 – Circulação de acesso às salas

Variáveis acústicas	Bloco I/K	Bloco B		
		B1	B2	B3/B4
Volume (m³)	151,5	340,7	276,4	268
Área total (m²)	200,5	322,5	274,1	267,8
Área das esquadrias (m²)	13,7	11,7	11,2	11,2
Contribuição esquadrias (%)	6,8	3,6	4,1	4,2

Fonte: Os autores

Em se tratando dos blocos I e K, percebe-se também que mesmo estando interligados e com características semelhantes, os desempenhos são distintos. Pode-se justificar este fato a proximidade do bloco K às áreas de

concentração dos alunos; além da proximidade com os demais blocos. O bloco I é afastado dos demais quando comparado ao bloco K.

Após a análise por edifício, é possível concluir que em geral os resultados para as vedações internas e externas são baixos em relação às exigências mínimas internacionais para o desempenho acústico, com exceção do bloco B. Percebe-se que nos blocos I e K, os valores variaram em função da localização e exposição ao ruído ambiental.

A alternância dos resultados entre os 3 edifícios pode ter influência de alguns fatores, como por exemplo:

- janelas apresentavam vários defeitos, desde o não fechamento com travamento, como também trincas no vidro;
- as portas não apresentavam vedação adequada com a ocorrência de pontos fracos na folha;
- a proximidade com lugares ruidosos ou de concentração de pessoas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um estudo de campo das vedações verticais (internas e externas) de uma instituição de ensino, da qual foi possível constatar que parcela expressiva das vedações se encontram em não conformidade com as referências internacionais – decreto-lei 96/2008 de Portugal, BB93 (2003), ANSI S12.60 (2009) e AS/NZ 2107 (2000) – para salas de aula de instituição de ensino.

Verificou-se que das 17 vedações internas ensaiadas, 59% estão em desacordo com o decreto-lei 96/2008 de Portugal e com o BB93 (2003) – menos exigentes – e 94% em desacordo com a ANSI S12.60 (2009) e AS/NZ 2107 (2000). Já em relação as 29 vedações externas (fachadas) ensaiadas, foi possível verificar que 76% não estão de acordo com o decreto-lei 96/2008 de Portugal – menos exigente – e 100% destas não atendem a ANSI S12.60 (2009) e BB93 (2003).

É importante destacar que a ausência de norma brasileira que regulamente os desempenhos acústicos mínimos para unidades não habitacionais favorece as construções sem planejamento e projetos nesta área.

Verifica-se a influência direta das esquadrias nos desempenhos acústicos obtidos, sobretudo, em relação as suas dimensões e a tipologia da abertura; bem como a geometria do ambiente, favorecendo ou não as reverberações, que comprometem a inteligibilidade da fala.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11957**: Reverberação - análise do tempo de reverberação em auditórios - método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI S12.60**: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. Acoustical Society of America, 2009.

Australian STANDARD/New Zealand. **AS/NZ 2107**: Acoustics – Recommended Design Sound Levels and Reverberation Times for Building Interiors, 2000.

AZKORRA, Z.; PÉREZ, G.; COMA, J.; CABEZA, L.F.; BURES, S.; ÁLVARO, J.E.; ERKOREKA, A.; URRESTARAZU, M. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. **Applied Acoustics** – Elsevier, v. 89, p.46-56, set. 2014.

CHING, F. D. K. **Arquitetura**: forma, espaço e ordem. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

Department for Education and Skills. **Building Bulletin 93** – Guidelines for Environmental Design in Schools. Londres, 2003.

FAURO, D.; ROCHA, B. da; PEREIRA, C. O. A influência da forma no desempenho acústico dos ambientes. In: XV SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2011, Santa Maria. **Anais**... Santa Maria: UNINFRA, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-1**: Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. Switzerland: ISO, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1**: Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. Switzerland: ISO, 2013.

LORDSLEEM JR., A. C. **Alvenaria de vedação com blocos de concreto:** melhores práticas. São Paulo: ABCP, 2012.

MENEZES, M.I.A.A.S. **Caracterização acústica interior de edifícios escolares reabilitados**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

OLIVEIRA, L. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 7, n. 1, p.90-100, maio 2012.

PENEDO, R. C. T.; OITICICA, M. L. G. R. Isolamento sonoro aéreo de partições verticais de um apartamento em Maceió-AL-Brasil. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 5, n. 2, p.7-14, jul/dez. 2015.

PORTUGAL. Decreto Lei nº 96, de 9 de Junho de 2008. Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios (RRAE).

RABELO, A. T. V.; SANTOS, J. N.; OLIVEIRA, R. C.; MAGALHÃES, M. C. Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala de estudantes. **CoDAS**, v. 26, n. 5, p.360-366, dez. 2014.

RABELO, A. T. V.; GUIMARÃES, A .C. F.; OLIVEIRA, R. C.; FRAGOSO, L. B.; SANTOS, J. N. Avaliação e percepção docente sobre os efeitos do nível de pressão sonora na sala de aula. **Distúrbios Comum**., São Paulo, v. 27, n. 4, p.714-724, dez. 2015.

RIBAS, R. A. J.; SOUZA, H. A.; ADRIANO, J. J.; PEREIRA, D. J. R. Desempenho térmico e acústico de painéis de fechamento em multicamadas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 2, p.1-10, Fev. 2013.

SCHVARSTZHAUPT, C. C.; TUTIKIAN, B. F.; NUNES, M. F. O. Análise comparativa do desempenho acústico de sistemas de fachada em esquadrias de PVC com persianas e diferentes tipos de vidros em ensaios de laboratório. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.135-145, out/dez. 2014.

SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; SILVA, A. N. R. Ferramenta de apoio à decisão para controle da poluição sonora urbana. **Ciência Saúde Coletiva**, v. 20, n. 7, p.2201-2210, 2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

O PAPEL DE PROTETORES SOLARES NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ZONA BIOCLIMÁTICA 8: CASO DO NOVO TERMINAL AEROPORTUÁRIO EM VITÓRIA-ES[1]

FARIAS, Alan Gonçalves (1); PAGEL, Érica Coelho (2); MAIOLI, Ricardo Nacari (3)

(1) AEV, e-mail: alangoncalvesfarias@gmail.com; (2) AEV, e-mail: erica.pagel@gmail.com; (3) AEV, e-mail: ricardomaioli@gmail.com

RESUMO

A envoltória é definida como a "pele" do edifício, sendo, portanto, constituída por elementos opacos e transparentes que compõe as fachadas e a cobertura. Em clima tropical quente úmido, aberturas compostas por elementos translúcidos mal posicionados ou dimensionados inadequadamente podem ser responsáveis por grande parte do ganho de calor dentro do edifício. Os aeroportos são grandes consumidores de energia, principalmente devido a sua infraestrutura complexa. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência de protetores solares na eficiência energética do terminal de passageiros para o novo Aeroporto Eurico de Aguiar Salles em Vitória, ES. O método utilizado foi o Sistema de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia do Programa - PROCEL EDIFICA. As análises foram feitas em duas situações: i) análise da envoltória original do projeto e ii) análise da envoltória com proposta de proteção solar. Com o auxílio da ferramenta *Webprescritivo*, os resultados mostram que o atual projeto, possui nível de eficiência energética "B", entretanto, após a intervenção projetual o nível de classificação da envoltória foi "A". O trabalho pretende contribuir reforçando o fato de que pequenas estratégias projetuais de adaptação da arquitetura ao clima podem ser significativamente responsáveis na melhoria do desempenho energético da edificação.

Palavras-chave: Eficiência energética. Envoltória. Terminal Aeroportuário.

ABSTRACT

The building envelope is defined as the "skin" of the construction, therefore, it's constituted of opaque and transparent elements on the facades and the cover. In hot and humid tropical climate, openings composed of translucent elements in bad positions or improperly sized may be responsible for large of the heat inside the building. Airports are major energy consumers, mainly due to it's complex infrastructure. The aim of this study was to analyze the influence of sunscreens on the energy efficiency of passenger terminal to the new Eurico de Aguiar Salles Airport in Vitoria, ES. The method used was the Sistema de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia do Programa - PROCEL EDIFICA. Analyses were performed in two situations: i) analysis of the original project envelope and ii) analysis of envelopment with proposal of sun protection. With the help of Webprescritivo tool, the results show that the current project, according to the tool used, has classification energy efficiency level "B", however, after the intervention in the project, the envelope building classification level was "A". The work aims to contribute reinforcing the fact that small architectural design strategies

[1] FARIAS, Alan Gonçalves; PAGEL, Érica Coelho; MAIOLI, Ricardo Nacari. O papel de protetores solares na eficiência energética em zona bioclimática 8: Caso do novo terminal aeroportuário em Vitória-ES. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

to climate can be significantly responsible for improving the energy performance of the building.

***Keywords**: Energy efficiency. Envelopment. Airport terminal.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo o manual para aplicação do RTQ-C (PROCEL, 2013a), a envoltória pode ser comparada à pele da edificação. Trata-se do conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, ou seja, que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo.

Os elementos opacos são fundamentais no processo de elaboração de qualquer projeto, e por isso a eficiência desses materiais utilizados tanto na vedação quanto na cobertura, tem sido alvo de pesquisas que buscam soluções para um melhor desempenho energético da edificação (CHIEPPE, 2013). A importância da especificação dada à cobertura, principalmente em países de baixa latitude é um fator determinante na solução de problemas térmicos apresentados pela construção, nos quais a quantidade de calor recebida pelo telhado é excessivamente grande, sendo normalmente responsável pela maior carga térmica nos ambientes (ISOLANI, 2008).

Da mesma forma, outra grande preocupação na concepção e avaliação da envoltória, principalmente em clima tropical quente e úmido, gira em torno das aberturas desprovidas das proteções necessárias e compostas por elementos transparentes, em especial o vidro.

Este material é bastante utilizado na fachada da maioria dos edifícios, por apresentar soluções estéticas mais satisfatórias, no entanto, se mal posicionado ou dimensionado inadequadamente, possui grande influência nos gastos energéticos, visto que é capaz de permitir a passagem de grande quantidade de carga térmica para o interior do ambiente (PIRRÓ, 2014).

A indústria de vidro, baseada na produção em massa desse material, nasceu da Revolução Industrial, que trouxe, juntamente, um novo elenco de materiais, como o aço e o concreto armado. Esses materiais desafiaram a tradição de construir em alvenaria de pedra – dominante desde o Egito Antigo até o século XIX no mundo ocidental; e inseriram novas tecnologias construtivas. Entretanto, foi no período entre guerras, que o denominado "estilo internacional" ganhou força (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Mies van der Rohe, com suas cortinas de vidro, criou um verdadeiro ícone da arquitetura, marcando a adoção de um novo modelo construtivo de envoltória na edificação. Entretanto, esse modelo foi adotado por diversos países sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino. O resultado foi o consequente "edifício estufa", em que a adaptação do edifício ao meio e a adoção de estratégias passivas de conforto ganharam menor importância em virtude da facilidade dos novos sistemas artificiais em controlar as variáveis do meio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Sendo assim a comunidade internacional tem despendido um enorme esforço em criar padrões e selos com o intuito de classificar e avaliar o consumo energético da edificação (MARTÍNEZ-MOLINA et al., 2016). No Brasil, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - PROCEL EDIFICA, criou a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, que baseada na especificação mais apropriada para cada tipo de Zoneamento Bioclimático Brasileiro, avalia a eficiência energética tanto da envoltória, como dos sistemas de iluminação e climatização da edificação, como pré-requisitos para se obter a etiqueta nível "A" do Programa (PROCEL EDIFICA, 2013b).

Oliveira (2003) analisa o desempenho energético do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), por meio das diretrizes estabelecidas pelo Programa. Os resultados apresentam possibilidades de melhorias na edificação em prol de resultados aceitáveis para a eficiência energética do local e foi constatada a importância desse instrumento no desenvolvimento de projetos sustentáveis.

Especificamente em relação à envoltória, a avaliação da sua qualidade engloba o percentual de áreas transparentes nas fachadas, assim como o fator de ganho solar dos vidros e a presença de proteções solares (ANDREIS; BESEN; WESTPHAL, 2014). Dessa forma, a preocupação apenas com a quantificação dessas aberturas não é suficiente. Sendo necessário saber o quanto as mesmas estão sombreadas em prol de resultados mais favoráveis (PROCEL EDIFICA, 2013b).

A garantia de uma edificação com especificações mais eficientes e preocupações sustentáveis não são conquistadas somente com a existência de leis e normas voltadas para essa questão. As iniciativas apresentadas em projeto são fundamentais para o início de um cenário mínimo de exigências que irá, certamente, provocar alterações na maneira como os projetos de arquitetura vêm sendo feitos e na consciência ambiental dos arquitetos e da própria sociedade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Em se tratando da avaliação de edifícios públicos, os estudos que contemplam a eficiência energética em edificações aeroportuárias se resumem à medição dessa eficiência em determinadas tipologias básicas, simulação de projetos arquitetônicos em programas computacionais, ou a implantação de uma solução tecnológica para amenizar os impactos que podem ser provocados no término da obra (BRASIL, 2016).

Os aeroportos estão constantemente em busca de novas ampliações e instalações voltados às necessidades locais e a adaptabilidade do mercado. Consequentemente, são grandes consumidores de energia devido a sua infraestrutura complexa. Desta forma, justifica-se que a arquitetura da nova geração desses terminais contenha em sua utilização a preocupação com os requisitos de acordo com diretrizes mais eficientes (FLEMMNG; QUALHARINI, 2009).

O objetivo deste artigo é analisar a influência das proteções solares na classificação da eficiência energética do novo projeto do Terminal de

Passageiros do Aeroporto Eurico de Aguiar Salles em Vitória, ES. Duas situações foram traçadas: *i)* análise da envoltória original do projeto; *ii)* análise da envoltória com proposta de proteção solar. Esse trabalho pretende contribuir principalmente para a importância da discussão acerca da proteção dos elementos translúcidos em edificações de clima tropical quente e úmido.

2 O MÉTODO

O método utilizado neste trabalho para classificação da eficiência energética do Terminal Aeroportuário capixaba foi a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia do Programa PROCEL EDIFICA (PROCEL EDIFICA, 2014), a qual utiliza o *software Webprescritivo* para automatizar e agilizar os procedimentos de avaliação da edificação através de página disponível na *web* (LABEEE, 2016a).

2.1 PROCEL EDIFICA: Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações

O PROCEL EDIFICA foi iniciado em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL atuando de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia - MME, o Ministério das Cidades, as Universidades, os centros de pesquisas e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além de setores da construção civil (PROCEL EDIFICA, 2003).

Para contribuir com o processo avaliativo na obtenção da ENCE, para edifícios públicos, foi desenvolvido o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, e os documentos que o complementam, como o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos - RAC-C e os Manuais para aplicação do RTQ-C e RAC-C (PROCEL EDIFICA, 2014). A Figura 1 exemplifica os Regulamentos e Manuais utilizados pelo Programa PROCEL EDIFICA.

Figura 1 - Regulamentos e Manuais do Programa PROCEL EDIFICA



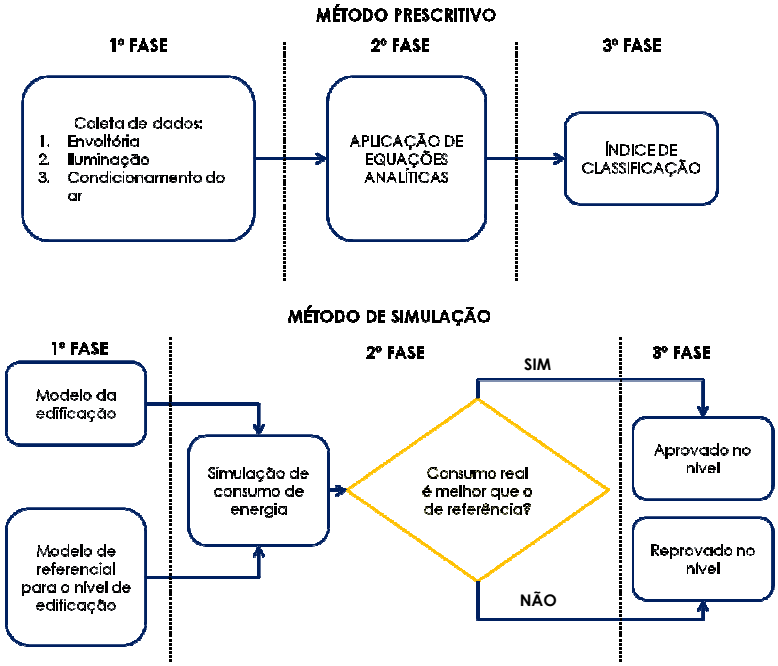
Fonte: Adaptado de PROCEL EDIFICA (2003)

De acordo com o Manual RTQ-C (PROCEL EDIFICA, 2013a), a etiquetagem ocorre de duas formas: uma voltada para edifícios comerciais, de serviços e

públicos e outra voltada para edifícios residenciais. A etiqueta é adquirida em dois momentos: primeiro na fase de projeto e em seguida após a construção do edifício.

Para a obtenção da certificação na fase inicial, o projeto pode ser avaliado por meio do método prescritivo ou pelo método de simulação (Figura 2). O primeiro método utiliza um procedimento analítico, onde são aplicadas equações que recebem como entrada informações relativas às características adquiridas na primeira fase da análise. Já o segundo, consiste em comparar o desempenho da edificação real (proposto em projeto) com edificações de referência que já possuem a etiqueta com a classificação desejada, e após sua construção, independente dos métodos adotados para a avaliação, o edifício passa por um processo de avaliação *in loco* (PROCEL EDIFICA, 2014).

Figura 2 - Releitura dos Métodos de Avaliação



Fonte: Adaptado de PROCEL EDIFICA (2014)

A etiqueta pode ser fornecida de forma parcial ou para toda a edificação, levando em conta apenas à envoltória ou combinada com o sistema de iluminação e/ou o condicionamento de ar. As etiquetas são classificadas de acordo com a pontuação total adquirida ao final do processo e variam de "A" até "E", sendo "A" o nível mais alto de eficiência energética alcançada (PROCEL EDIFICA, 2013b).

A etiquetagem da envoltória do edifício foi obtida por meio do método prescritivo estabelecido pelo manual RTQ-C. Esse método utiliza fórmulas e equações para determinar as médias e estabelecer os critérios para a classificação do nível de eficiência energética da edificação. A Tabela 1 mostra os pré-requisitos necessários para a avaliação da envoltória de um edifício.

Tabela 1 - Pré-requesitos para a avaliação da envoltória, utilizando a ferramenta *Webprescritivo*

Pré-requisitos: Envoltória	
1 - Zona Bioclimática	10 - Área de Projeção da Cobertura
2 - Transmitância Térmica da Cobertura	11 - Área de Projeção do Edifício
3 - Transmitância Térmica das Paredes	12 - Volume Total da Edificação
4 - Percentual de Abertura Zenital	13 - Área da Envoltória
5 - Absortância Solar da Cobertura	14 - Fator Solar das aberturas
6 - Área Total Construída	15 - Ângulo Horizontal de Sombreamento
7 - Absortância Solar das Paredes	16 - Capacidade Térmica das Paredes
8 - Fator Solar	17 - Ângulo Vertical de Sombreamento
9 - Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste	18 - Percentual de Área de Abertura na Fachada Total

Fonte: Adaptado de LABEEE (2016a)

2.2 Novo terminal de passageiros do Aeroporto Eurico de Aguiar Salles

O edifício para abrigar o novo Terminal Aeroportuário em Vitória – ES (Figura 3) foi projetado pelo escritório Bacco Arquitetos, com área total prevista de 26.300 m². Atualmente encontra-se em construção com previsão de finalização da obra em setembro de 2017 (FOLHA VITÓRIA, 2015). É composto por dois pavimentos principais e foi setorizado em área administrativa, restituição de bagagem, saguão para desembarque, embarque remoto e saguão para check-in (pavimento térreo), área administrativa, praça de alimentação, lojas e saguão para embarque (1° pavimento).

> [...] Para o Terminal de passageiros, tomou-se como partido a criação de um grande eixo longitudinal que concentraria as área técnicas e circulação vertical. Buscou-se também uma distribuição das funções de modo a garantir espaços fluidos e com grande transparência. Outro ponto importante foi quanto ao sistema estrutural adotado: o objetivo aqui era promover a flexibilidade do programa, permitindo ajustes futuros sem interferir na dinâmica do aeroporto (BACCO, 2013).

Figura 3 –Maquete eletrônica (a) externa e (b) interna do projeto do novo Terminal de Passageiros, Vitória - ES.


(a)

(b)

Fonte: Bacco (2013)

Os sistemas utilizados para a vedação da envoltória podem ser classificados em quatro tipos: alvenaria, aberturas, coberturas e piso (Tabela 2). Para esse trabalho duas situações foram traçadas: *i)* análise da envoltória original do projeto; *ii)* análise da envoltória com proposta de proteção solar.

Tabela 2 - Levantamento dos materiais utilizados na envoltória (continua)

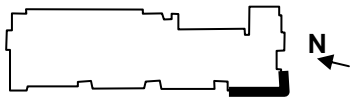
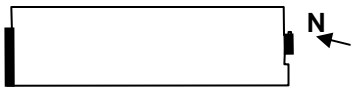
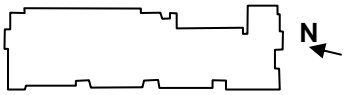
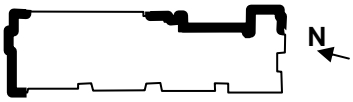
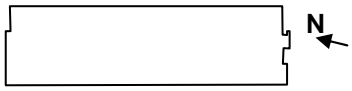
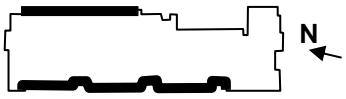
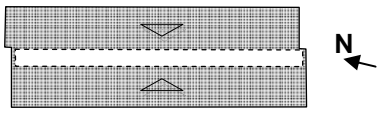
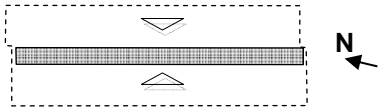
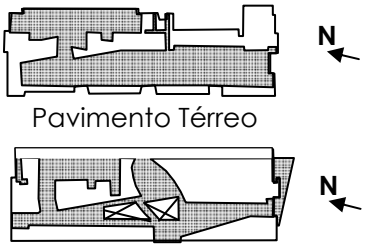
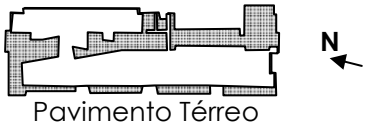
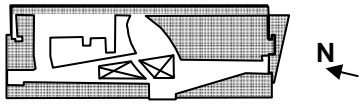
Alvenaria	
 Pavimento Térreo  1º Pavimento	- Alvenaria de bloco de concreto 14 cm, preenchido com areia e revestido com emboço, reboco e massa fina internamente; - 25 mm de lã de vidro 32 kg/m3; - Alumínio composto externamente.
 Pavimento Térreo  1º Pavimento	- Parede dupla, constituída internamente de 02 chapas de gesso acartonado +90 mm de camada de ar com 50 mm de lã de vidro com densidade mínima de 30 kg/m3; - 1 chapa de painel cimentício tipo Fiberoc (USG) de 12 mm; - Revestimento externo em alumínio composto.
 Pavimento Térreo  1º Pavimento	- Alvenaria de bloco de concreto 14 cm, preenchido com areia e revestido com emboço, reboco e pastilha cerâmica ou massa fina.
Aberturas	
 Pavimento Térreo  1º Pavimento	- Utilização de vidro laminado com intercalário de PVB, espessura não especificada no projeto.

Tabela 2 - Levantamento dos materiais utilizados na envoltória (conclusão)

Cobertura	
	- Cobertura em telha de aço zipada 0,8 mm pré-pintada na cor amarelo (externa); - 50 mm de lã de vidro 60 kg/m³; - Telha em aço trapezoidal 0,8 mm; - 50 mm de lã de vidro com densidade 48 kg/m³; - 1 chapa de MDF c/ densidade de 740 kg/m³ Esp.= 25 mm/espessura total 190 mm.
	- Cobertura em telha de aço zipada 0,8 mm com pintura na cor azul; - 50 mm de lã de vidro 60 kg/m³; - Telha em aço trapezoidal 0,8 mm.
Piso	
 Pavimento Térreo 1º Pavimento	- Piso em lajotas de granito dimensão 60x60 cm, e=2 mm, acabamento polido natural; - Composição da paginação= 60% granito verde lavrador, 20% granito preto São Gabriel e 10% granito preto absoluto.
 Pavimento Térreo  1º Pavimento	- Piso em placas de borracha colorida, dimensão 61x61 cm, e=2 mm, colado sobre base de PVA com adesivo específico.

Fonte: Adaptado de INFRAERO, 2003

3 RESULTADOS

Os resultados foram divididos da seguinte forma: *i)* análise da eficiência energética da envoltória original do projeto; *ii)* análise da envoltória com proposta de proteção solar.

3.1 Análise da envoltória original do projeto

A Área da Envoltória (AENV) é obtida por meio da somatória das áreas das fachadas do edifício, incluindo as aberturas, resultando no valor de 8.394,50 m². O Volume Total da Edificação (VTOT) é delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachada e cobertura). O valor encontrado foi de 185.834,00 m³, resultado da somatória dos produtos das áreas dos

pavimentos pela altura (5,60m). A Área Total do Piso (ATOT) foi analisada da mesma forma que o volume total da edificação, no entanto, é decorrente da somatória da área do piso de cada pavimento, que é de 22.790,69 m².

A Área de Projeção da Cobertura (APCOB) consiste na projeção horizontal da cobertura, excluindo os beirais. O cálculo da Área de Projeção do Edifício (APE) é igual à área da projeção da cobertura quando o edifício apresenta características retangulares. Neste caso, o valor verificado para APE e APCOB foi de 13.210,81 m².

O cálculo para determinação da Área de Vidro (AVE) de cada fachada foi de 3.345,64 m². Para a determinação da Área da Caixilharia de cada esquadria (ACE) foi considerado uma perda de 18% sobre o valor total da AVE, obtendo um resultado de 602,22 m². A Área das Paredes da Envoltória (APR) pode ser obtida por meio da subtração de AENV em relação à AVE, o valor encontrado foi de 5.048,86 m².

Com os resultados das aberturas e envoltória, é possível calcular o Percentual de Abertura na Fachada (PAFT), que é de 39,86%. O ângulo vertical de sobreamento (AVS) foi obtido por meio da média ponderada dos ângulos de proteção em função da área das aberturas, com resultado de 15,13º. De acordo com o manual RTQ-C (2013a), o ângulo horizontal de sombreamento (AHS) dever ser considerado nos dois lados da abertura. No estudo, não foram identificados proteções verticais nas fachadas.

A fachada oeste possui grande influência no resultado final da análise, pois quando não bem elaborada, tem grande influência nas perdas energéticas do edifício. Com o objetivo de analisar de forma detalhada a fachada oeste, três itens fundamentais para a conclusão do processo foram verificados: a Área da Parede da Fachada Oeste (APO), que é de 2.481,50 m²; a Área de Vidro da Fachada Oeste (AVO), com valor de 678,80 m² e o Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste (PAFO), com resultado de 21,48%.

De acordo manual RTQ-C, as variáveis dos diferentes tipos de materiais encontrados no estudo devem ser classificadas de acordo com o tipo e para o cálculo, utilizar a média de seus valores ponderada pela área ocupam. A tabela 3 a seguir, apresenta os resultados obtidos após a análise dos diferentes tipos de materiais que envolvem a envoltória do edifício.

Tabela 3 - Mensuração das médias dos materiais (continua)

Vidro	
Fator solar médio dos vidros (FS)	0,59
Parede	
Transmitância média (UPAR)	1,69 W/m²k
Capacidade térmica das paredes (CTPAR)	229 KJ/m²k
Absortância solar das paredes (APAR)	33,76

Tabela 3 - Mensuração das médias dos materiais (conclusão)

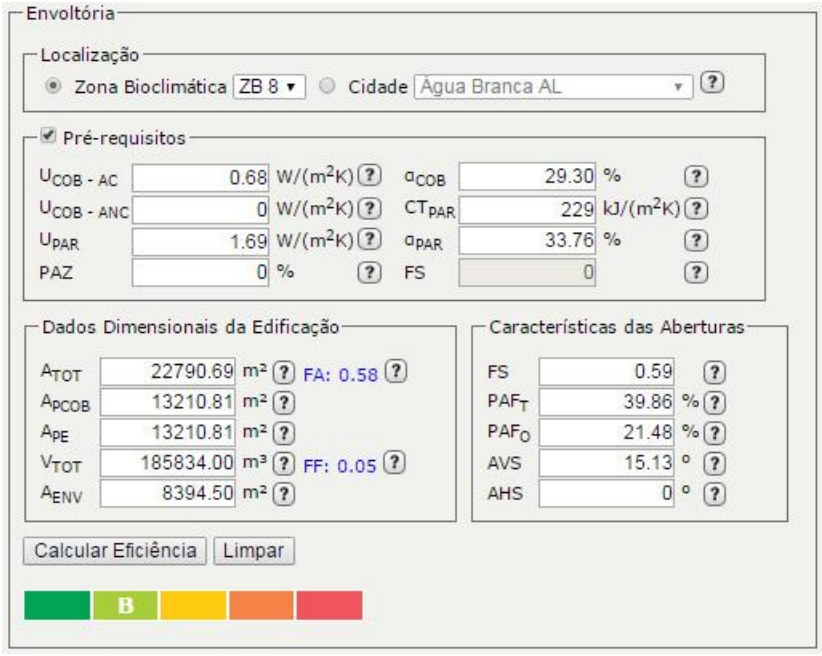
Cobertura

Transmitância (UCOB-AC)	0,68
Absortância solar da cobertura (ACOB)	29,30

Fonte: Os autores

No processo de inserção das informações na ferramenta *Webprescritivo*, os pré-requisitos gerais devem ser desconsiderados, visto que não interferem no objetivo do estudo. De acordo com o resultado, a envoltória do projeto original do Terminal de Passageiros do Aeroporto de Vitória – ES, obteve classificação da ENCE igual a "B" conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Análise do nível de eficiência da envoltória do projeto original



Fonte: Adaptado de LABEEE (2016a)

3.2 Análise da envoltória com proposta de proteção solar

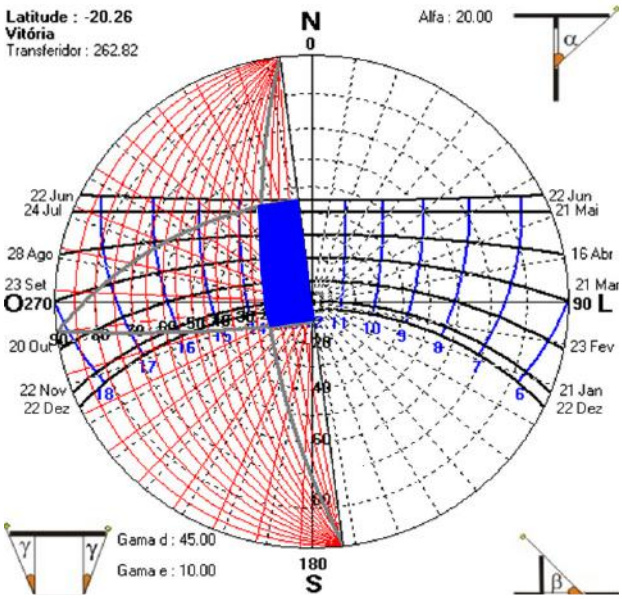
Tendo como base o baixo desempenho da envoltória do projeto original, a busca por melhorias de uma morfologia mais eficiente para o novo terminal Aeroportuário foi adquirida com uma pequena intervenção em sua fachada. Para isso, foi realizada uma nova análise das aberturas da envoltória, com o propósito de identificar os pontos de maior deficiência e, portanto, de maior influência na busca do selo máximo do PROCEL EDIFICA.

A fachada azimute 262.82º foi escolhida para o novo processo de análise, pois apresenta quatro aberturas, constituídas por módulos de 2 m x 11,5 m, distribuídas na parte superior do telhado, que recebem incidência direta do sol durante a tarde, em todos os períodos do ano, e não apresentam nenhuma proteção prevista em projeto.

No estudo de intervenção, buscou-se encontrar a menor dimensão de uma proteção solar capaz de alterar o resultado de classificação da eficiência energética para um nível mais elevado de desempenho. Dessa forma, foi adotado um ângulo vertical de sobreamento (AVS) de 23,55º. Esse *brise-soleil* é capaz de proteger essa fachada aproximadamente entre 12h e 13h45

minutos para em todos os meses do ano (Figura 5).

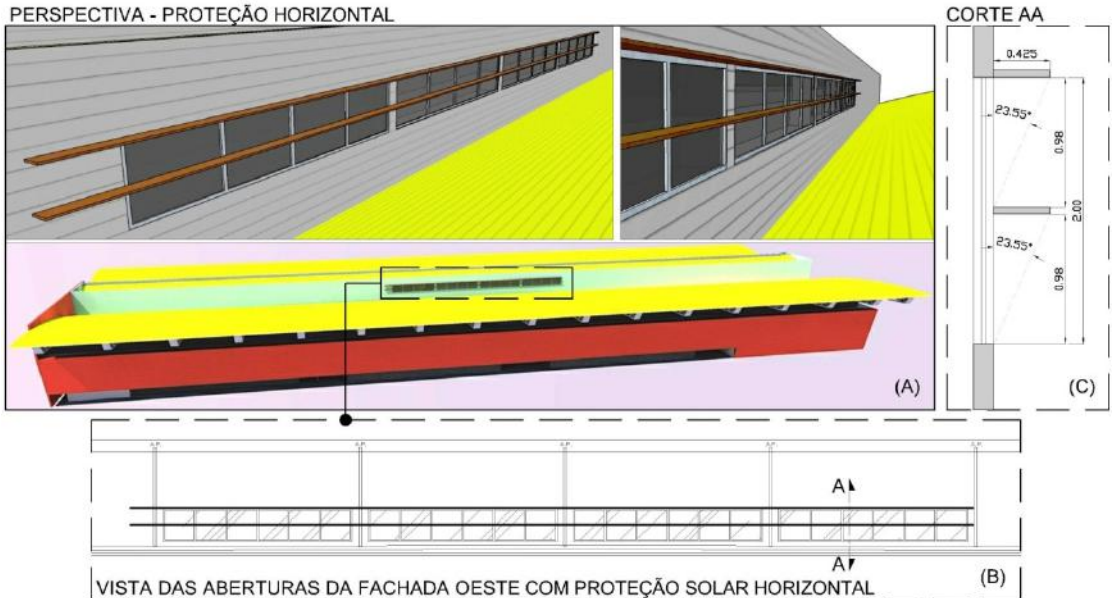
Figura 5 - Carta solar de Vitória-ES, destaque para a radiação solar fachada Azimute 262.82º com proteção solar



Fonte: Adaptado de LABEEE (2016b)

De acordo com os cálculos realizados para proteção horizontal na fachada oeste do edifício, um *brise-soleil* com uma peça única de 0,85 m x 51 m, atenderia as condições propostas. Para compor de forma mais harmônica, o *brise-soleil* foi dividido em duas peças com 0,425 m x 51 m, como é apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Aberturas da fachada com o brise horizontal (a) maquete eletrônica, (b) vista e (c) corte

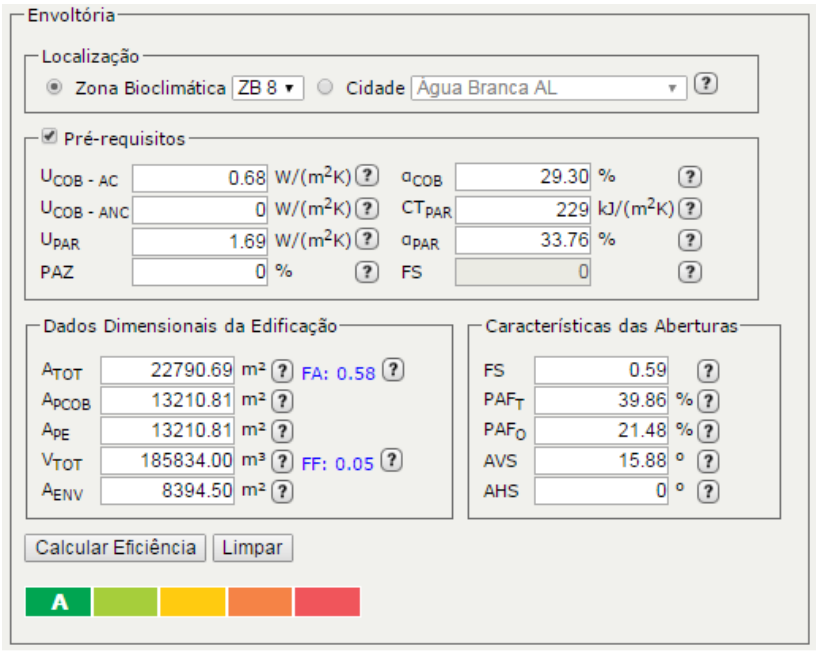


Fonte: Os autores

Na análise da eficiência energética, o resultado mostra que após a inserção

do *brise-soleil* proposto nas aberturas da fachada Azimute 262.82º, a envoltória da edificação alcançou a classificação máxima "A" da ENCE (Figura 7). Sabe-se que para um maior conforto térmico, outras tipologias de proteções solares poderiam ser propostas. Entretanto, procurou-se mostrar como pequenas alterações projetuais, através de proteções mínimas dos elementos translúcidos em envoltórias de edificações de clima quente e úmido podem interferir significativamente nos resultados da eficiência energética da construção.

Figura 7 - Resultado alcançado com a proteção solar



Fonte: Adaptado de LABEEE (2016a)

4 CONCLUSÃO

O processo de etiquetagem é um grande avanço na avaliação da eficiência energética das edificações. A arquitetura da nova geração dos terminais aeroportuários deve conter em sua utilização a preocupação com os requisitos de acordo com diretrizes mais eficientes do ponto de vista energético. Sabe-se que em países de baixa latitude, é muito provável que as aberturas, principalmente compostas por elementos translúcidos e sem proteção de sombreamento, podem ser resposnsáveis por grande parte do ganho térmico da edificação, e consequentemente, de um mau desempenho energético.

Esse trabalho verificou que o projeto original para o novo Terminal Aeroportuário Capixaba obteve nível "B" na classificação da sua envoltória utilizando a metodologia do Programa PROCEL EDIFICA. Entretanto, constatou-se que uma proposta mínima de proteção solar na fachada Azimute 262.82º alcançaria o nível máximo de eficiência energética da envoltória, mostrando a importância de adaptação da construção ao clima local e também da conscientização pelo arquiteto em lançar mão de tais

estratégias na concepção projetual. Tal resultado reitera o fato notório de que edifícios localizados na zona bioclimática 8 necessitam ter proteções solares em vidros da fachada oeste, e que poderiam inclusive ter outras configurações testadas em trabalhos futuros.

Entretanto, essa pesquisa foi desenvolvida com algumas limitações, como o tempo necessário para aprender a configurar modelos em *softwares* mais agrangentes, simulando a alteração proposta, além de outras soluções, a fim de comprovar a eficiência das mesmas. O método utilizado apresenta como vantagens em relação a outras ferramentas, a rapidez e a facilidade de aquisição para uso. Além disso, se mostrou eficaz para o propósito, que comprova que, mesmo com muitas ferramentas disponíveis, alguns projetos ainda são elaborados sem uma análise adequada de sua eficiência.

REFERÊNCIAS

ANDREIS, C.; BESEN, P.; WESTPHAL, F.S. Desempenho Energético de Fachadas Envidraçadas em Climas Brasileiros. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió. **Anais**...Porto Alegre: ANTAC,2014, p. 926-935.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética – CGIEE**, 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 02 abr. 2016.

BACCO ARQUITETOS ASSOCIADOS, São Paulo – SP, 2016. Disponível em: <http://www.bacco.com.br/infraestrutura#/aeroporto-de-vitoria-1/>. Acesso em: 07 fev 2016.

CHIEPPE, C. P. **A influência de variáveis de projeto na inércia térmica e no desempenho térmico de habitações térreas e assobradadas na cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado apresentada ao IPT. São Paulo, 2013.

FLEMMING, L.; QUALHARINI, E. **Os aeroportos e as condições ambientais**, 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/nutau/sem_nutau_2010/metodologias/flemming_liane.pdf> Acesso em: 12 jan. 2016.

FOLHA VITÓRIA. **Depois de 12 anos de paralisação, obra do Aeroporto de Vitória deve sair do papel**, 2015. Disponível em: <http://www.folhavitoria.com.br/economia/noticia/2015/06/depois-de-12-anos-de-paralisacao-obra-do-aeroporto-de-vitoria-sai-do-papel >. Acesso em: 15 mar. 2016.

INFRAERO. **Licitação - 004/DAAG/SBVT/2003**. 2003. Disponível em: < http://licitacao.infraero.gov.br/portal_licitacao/servlet/DetalheLicitacao?idLicitacao=2415 >. Acesso em: 28 jan. 2016.

ISOLANI, P. **Manual do consumidor: Eficiência energética nos edifícios residenciais,** Lisboa: Intelligent Energy Europe, 2008. 46 p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 3º ed.. Rio de Janeiro, 2014. 366 p.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Webprescritico.** Florianópolis: 2016. Disponível em: < http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>. Acesso em: 10 abr. 2016a.

LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Analysis Sol-ar**. Florianópolis: 2016. Disponível em: < http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: 01 abr. 2016b.

MARTÍNEZ-MOLINA, A.; AUSTINA, I.T.A.; CHO, S.; VIVANCAS, J.L. Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** n. 61, p. 70-85, 2016.

OLIVEIRA, B. **Análise do desempenho energético de edificações: aplicação analítica do RTQ-C no edifício do CEAMAZON**. 2013. Disponível em: < http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5388>. Acesso em: 22 jun. 2016.

PROCEL EDIFICA, PBE. **Caderno técnico 1: Etiquetagem de eficiência energética de edificações**, 2003. Disponível em: < http://pga.pgr.mpf.mp.br/documentos/guia-1> Acesso em: 19 mar 2016.

PROCEL EDIFICA, PBE. **Manual para aplicação do RTQ-C**, Versão 3, 2013a. Disponível em: < http://www.pbeedifica.com.br >. Acesso em: 15 jan. 2016.

PROCEL EDIFICA, PBE. **Manual para aplicação da RAC**, Versão 1, 2013b. Disponível em: < http://www.pbeedifica.com.br >. Acesso em: 15 fev. 2016.

PROCEL EDIFICA, PBE. **Manual para etiquetagem de edificações públicas**, Versão 3, 2014. Disponível em: < http://www.pbeedifica.com.br >. Acesso em: 15 fev. 2016.

PIRRÓ, L. Análise da envoltória como estratégia para a sustentabilidade dos edificícios. **Revista Belas Artes**. p. 1-9, 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA DE INSTITUIÇÃO NO SUL DO BRASIL[1]

GRIGOLETTI, Giane de Campos (1); TAMIOSSO, Cíntia Dornelles Pereira (2)

(1) UFSM, e-mail: giane.c.grigoletti@ufsm.br; (2) UFSM, e-mail: arqcintiadornelles@hotmail.com

RESUMO

O estudo trata da avaliação da disponibilidade de iluminação natural em duas salas de aula de uma instituição de ensino localizada em Santiago, interior do RS. A avaliação incluiu medições *in loco* dos níveis de iluminância, para abril, junho, agosto e dezembro, tomando como referência a NBR 8995; e a opinião dos usuários com aplicação de questionário sobre sua percepção momentânea da iluminação natural, para dias próximos às medições. Foram calculados os coeficientes de contribuição de iluminação natural, CIN, segundo a NBR 15.215-3. Os resultados demonstram que os níveis de iluminância são bem superiores ao valor recomendado na maioria dos pontos e dias de medições. Os usuários demonstraram, em sua maioria, satisfação momentânea com as condições de iluminação natural, porém insatisfação com a incidência direta de radiação solar sobre mesas, em agosto e dezembro, e insatisfação com a impossibilidade de controle da luz natural. A inexistência de valores de referência para o CIN para condições de céu locais demonstra ser necessário um esforço para encontrar padrões nacionais.

Palavras-chave: Iluminação natural. Salas de aula. Medições. Opinião dos usuários.

ABSTRACT

This study aims the evaluation of daylighting disponibility in two classrooms in a educational institution located in Southern Brazil. In situ measurements of illuminance levels were carried during April, June, August and December. NBR 8995 was used as reference for lower indoor illuminance level; occupants were surveyed about their perception of daylighting. The coeficient of natural illumination contribution, CIN, was calculated according to NBR 15.215-3. The findings demonstrated that illuminance levels were higher than the reference value for classrooms considering the measured period. Occupants demonstrate satisfaction but related problems with direct solar radiation on tables during August and December. They were dissatisfied with the lack of control system for daylighting. CIN presented excessive variability among measured points and days. The lack of local standardized values for CIN demonstrates an effort is required to find national references for this parameter.

***Keywords**: Daylighting. Classrooms. Measurements. Occupants' perception.*

1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural em salas de aula é importante para o processo de ensino e aprendizagem como atestam Winterbottom e Wilkins (2009). O olho

[1] GRIGOLETTI, G.C.; TAMIOSSO, C.P.. Avaliação da disponibilidade de iluminação natural em salas de aula de instituição de instituição no sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

humano alcança sua maior capacidade visual com a luz natural**,** que é mais favorável para a percepção das formas tridimensionais e de contraste de cores (PEREIRA; SOUZA, 2005). A existência de condições para as quais o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de conforto e precisão, com o menor esforço e risco à saúde e acidentes é um dos conceitos de conforto visual (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Alguns estudos têm se dedicado à iluminação natural em interiores, como Ho et al. (2008), Correia (2008) e Mansilha (2013). Ho et al. (2008) efetuaram medições *in loco* e simulações com o programa Lightscape para uma sala de aula voltada a sudoeste (hemisfério norte), demonstrando a importância de estudos reais e simulados para buscar adaptar os sistemas de iluminação às condições disponíveis.

Correia (2008) desenvolveu um estudo para avaliar a iluminação natural em salas de aula no Rio Grande do Norte. Foram aplicados questionários para verificar a satisfação dos usuários. Determinou-se níveis de iluminância mínimos contextualizados para o local e o uso da sala. A avaliação também usou medições *in loco* de iluminâncias que foram comparados com as respostas dos usuários. O principal resultado foi a verificação do nível elevado de satisfação dos usuários, mesmo apresentando problemas, como ocorrência de reflexos no quadro, falta de uniformidade e, ocasionalmente, baixos níveis de iluminância.

Mansilha (2013) mediu *in loco* níveis de iluminância disponíveis para iluminação natural. As coletas dos níveis de iluminância foram baseadas nas recomendações estabelecidas na NBR 15.215 (ABNT, 2005). Os resultados demonstraram que a iluminação natural estava sendo afetada por condições impostas pela solução adotada para os sistemas como *brises-soleil* em orientações que prescindiam seu uso, ou por obstruções externas (edifícios vizinhos) que não foram consideradas no projeto. O estudo demonstrou o quanto os projetistas estão despreparados para resolver o conforto visual a partir da iluminação natural disponível.

Considerando-se a importância do conforto visual, em ambientes de trabalho e estudo, e os inúmeros aspectos positivos relativos à eficiência energética de um ambiente quando este apresenta um bom aproveitamento da iluminação natural durante o dia, esta pesquisa teve como objetivo analisar a iluminação natural disponível em duas salas de aula através de medições *in loco* e da opinião de seus usuários para um projeto atual de instituição de ensino na cidade de Santiago, no interior do RS, com latitude aproximada de 29º.

2 MÉTODO

Foram usados dois instrumentos: aplicação de questionários e medições *in loco* internas e externas.

2.1 Escolha e descrição das salas de aula

Selecionou-se duas salas de aula de dois blocos distintos de instituição da ensino com características físicas similares.

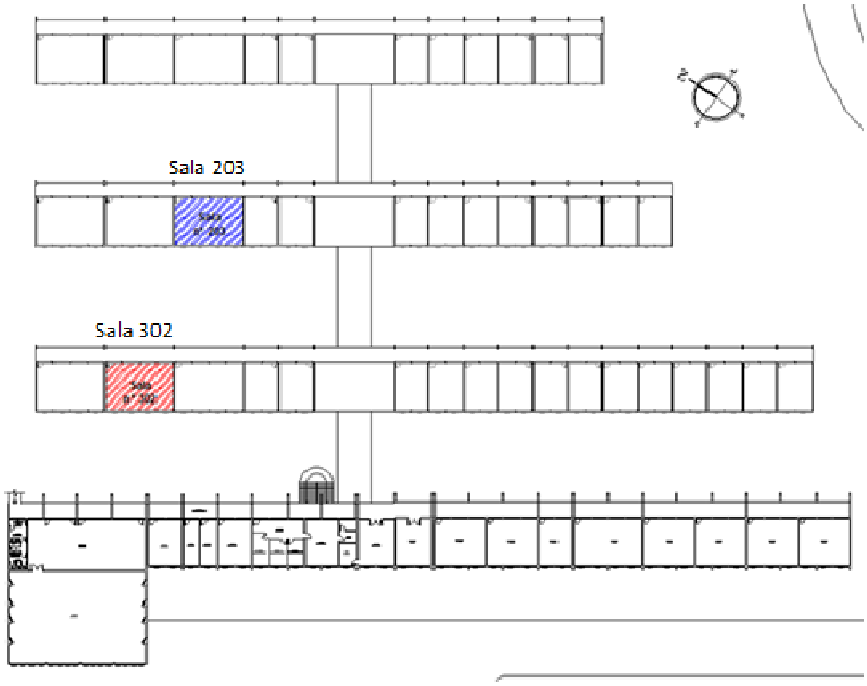
As figuras 1 e 2 mostram a implantação dos dois blocos (destacados com hachura) e a localização das salas de aula nos blocos.

Figura 1 – Implantação geral dos blocos



Fonte: adaptado do Google Earth (2014)

Figura 2 – Posição das salas estudadas nos dois blocos



Fonte: adaptado da Coordenação do Curso de Arquitetura e Urbanismo (2012)

Cada sala possui 84,15 m² e sua orientação solar é sudoeste. A sala 302 possui um bloco de dois pavimentos em frente, enquanto a 203, um bloco com um pavimento (figura 3).

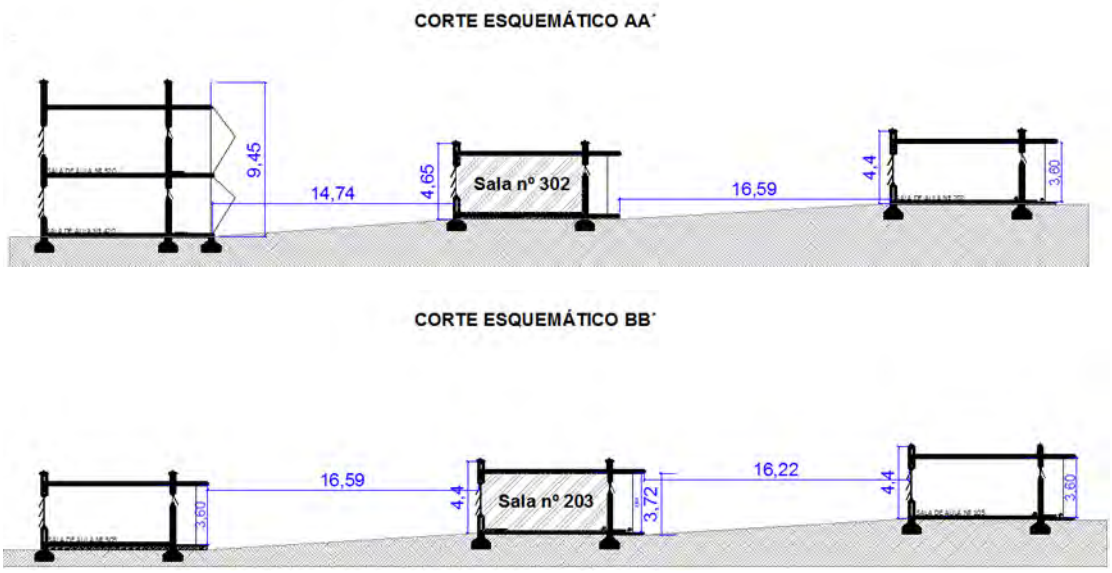


Figura 3 – Corte esquemático demonstrando o entorno imediato

Realizou-se o levantamento físico das salas com o registro de características que influenciam a iluminação natural: orientação solar, área, proporções entre largura e profundidade, cores e materiais de superfícies, manutenção e limpeza, aberturas, sistemas de sombreamento interno e externo, entorno imediato, obstruções externas, cores das obstruções, tipos de vidros, condições de manutenção e limpeza das aberturas, anotados em uma planilha (quadro 1), juntamente com o levantamento fotográfico.

Quadro 1 – Características das salas

Elementos	características
dimensões	11,00 x 7,65m
orientação solar	sudoeste
cor do piso	branco (coef. de reflexão 85%)
cor das paredes	azul claro (coef. de reflexão 75%)
cor do forro	branco (coef. de reflexão 85%)
cor do mobiliário	bege (coef. de reflexão 70%)
janelas	maxim-ar metálica, vidro tipo miniboreal espessura 6.5mm (Fator Solar 43%), vidro transparente (Fator Solar 83%)
proteção solar	marquise com 2m de profundidade
luminárias e lâmpadas	09 luminárias suspensas com trilhos com duas lâmpadas fluorescentes em cada

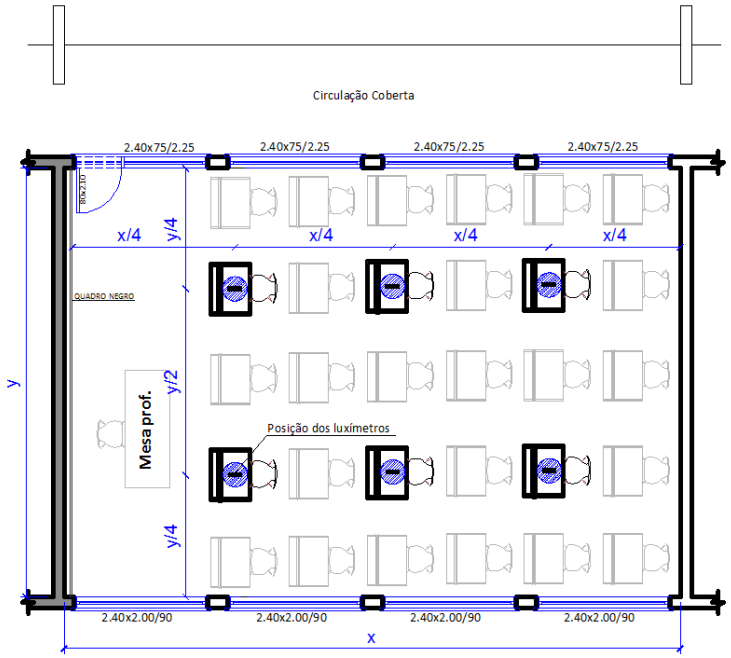
2.2 Medições *in loco* internas

Em cada sala de aula, foram instalados seis aparelhos luxímetros, modelo LDR225, da Instrutherm, com *datalogger*, para o registro dos valores de iluminância, em lux. O componente visível à luz desse instrumento é um foto-diodo de silício, em conjunto com um filtro de resposta espectral. O aparelho está de acordo com a resposta espectral fotópica CIE, $f^1 \leq 6\%$.

Os aparelhos foram depositados nas mesas (figura 4), distribuídos

aproximadamente em uma malha regular. Buscou-se atender a NBR 15.215, parte 3 (ABNT, 2005). No entanto, devido ao número de aparelhos (no total, 12), o número de pontos não atendeu à recomendação de 32 pontos de medições. Como a posição dos usuários é conhecida, considera-se que o valor de iluminância é satisfatório para os objetivos da pesquisa.

Figura 4 – Disposição dos aparelhos luxímetros nas salas de aula



Os luxímetros foram programados para registro contínuo de dados, no decorrer de 09 (nove) horas, a partir das nove horas da manhã, em 05 (cinco) dias corridos, para os meses de abril, junho, agosto e dezembro de 2013. Os dados foram coletados de 03 em 03 minutos. Os períodos de medições foram definidos com base na NBR 15.215, ou seja, pelo menos próximos aos solstícios de verão e inverno. Nos dias em que foram efetuadas as medições, as salas de aula permaneceram desocupadas. Durante as medições, as cortinas *blackout* foram mantidas abertas.

Os valores registrados foram transferidos para o computador e sistematizados em planilhas eletrônicas e gráficos, para análise dos resultados.

2.3 Medições *in loco* externas

Durante os períodos diurnos de medição, a condição do céu foi monitorada visualmente, por registro fotográfico e por medição de iluminâncias externas, a cada duas horas, iniciando às 9 horas, com o uso de um luxímetro digital modelo LD-200 da Instrutherm, expondo-se a fotocélula de forma a evitar a influência de qualquer obstrução, inclusive da pessoa responsável pelo registro dos valores obtidos. As medições de níveis de iluminância e as fotografias das condições do céu foram obtidas sempre na mesma posição.

2.4 Sistematização e análise de resultados de medições

Os dados obtidos internamente foram selecionados a cada hora cheia e colocados em planilhas eletrônicas. Uma análise ~~visual~~ permitiu a eliminação de dados espúrios (valores nulos ou muito acima ou muito abaixo da média dos seus contíguos, mostrando claramente que se tratava de uma falha da medição). Nestes casos, os valores foram substituídos pelo valor imediatamente anterior, cujo registro foi feito 3 minutos antes.

Neste artigo são apresentados apenas resultados relativos aos dias de céu claro (meses de abril e agosto) e céu encoberto (meses de junho e dezembro).

Para análise dos resultados, como não existem níveis de iluminância recomendados para a iluminação natural, usou-se como referência os níveis de iluminância mantida recomendados pela NBR 8995-1 (ABNT, 2013) para iluminação artificial para salas de aula, ou seja, nível de 300 lux.

Com as medições de níveis de iluminância obtidos no meio externo, calculou-se o coeficiente de contribuição de iluminação natural (CIN), conforme NBR 15.215 (ABNT, 2005) para cada duas horas. As análises para os coeficientes CIN foram baseadas nas recomendações de LECHNER (2001 apud LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), que determina que o CIN mínimo para salas de aula seja 2%. Os horários indicados em tabelas e gráficos estão em horário legal.

2.5 Opinião dos usuários com aplicação de questionários

O questionário continha perguntas abertas e fechadas. Sua aplicação considerou a posição na qual os acadêmicos costumavam sentar-se. O questionário foi aplicado em 50% dos alunos de cada sala de aula, totalizando uma amostra de 30 usuários e considerando os alunos com presença em todas as aulas. Os alunos escolhidos ocupavam as posições indicadas na figura 5.

Figura 5 – Posição dos entrevistados nas salas de aulas submetidas a medições



O questionário abordou a iluminação natural e foi dividido em duas partes. Na primeira parte, apresentou-se uma planta-baixa com o leiaute do

mobiliário. Nessa planta, com indicação de data, horário e condições do céu no momento da entrevista, o usuário entrevistado deveria marcar a posição onde costumava sentar-se na sala de aula.

Na segunda parte do questionário, apresentou-se questões de múltipla escolha, com o propósito de verificar a percepção dos usuários. A primeira questão tratava da avaliação de iluminação da sala de aula. Para isso, foram adotadas atribuições como pouca, suficiente e muita iluminação. Na segunda questão foram apresentadas algumas possíveis causas de problemas na iluminação, caso assim fosse avaliado pelo usuário. Também foi inserida uma questão aberta para o usuário indicar problemas referentes à iluminação não contemplados no questionário.

A aplicação dos questionários ocorreu logo após o final das coletas de dados dos níveis de iluminância (dias 27 de abril, 29 de junho, 10 de agosto e 14 de dezembro), aos sábados. A aplicação ocorreu no intervalo das aulas, sempre às 10:15h, e a média de duração da aplicação foi de 20 minutos. Os questionários, assim como as medições, foram aplicados simultaneamente nas duas salas.

Os dados obtidos com a aplicação dos questionários foram analisados segundo as percentagens para cada um dos três graus de avaliação e a indicação dos problemas foram analisados de forma qualitativa, considerando-se os mais citados pelos usuários.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os níveis de iluminância medidos externamente, bem como as condições de céu verificadas visualmente.

Tabela 1 - Valores de níveis de iluminância (lux) externos e condições do céu

	Valor iluminância (lux) - abril				**Valor iluminância (lux) - junho**					
céu	claro	claro e enc.	enc.	parc. enc.	claro	enc.	enc.	parc. enc.	claro	variável
Hor.	22/04	23/04	24/04	25/04	26/04	24/06	25/06	26/06	27/06	28/06
09:00	6.240	5.030	2.210	3.740	54.100	6.830	4.420	7.890	14.000	13.650
11:00	8.150	6.150	3.070	5.450	73.200	6.320	12.770	59.300	28.200	14.620
13:00	74.500	44.000	4.430	80.800	82.800	8.720	18.670	42.300	57.900	18.640
15:00	89.300	60.800	3.910	72.100	51.300	3.190	10.820	5.130	8.200	11.750
17:00	50.200	3.140	2.130	7.820	44.400	4.070	3.400	3.020	3.070	4.520
	Valor iluminância (lux) - agosto				**Valor iluminância (lux) - dezembro**					
céu	claro	claro	variável	enc.	enc.	enc.	enc.	claro	variável	variável
Hor.	05/08	06/08	07/08	08/08	09/08	09/12	10/12	11/12	12/12	13/12
09:00	30.300	42.800	30.500	10.150	6.940	5.120	13.700	71.000	66.400	75.400
11:00	45.300	67.000	34.700	19.800	7.730	6.540	68.200	106.300	123.100	104.700
13:00	72.500	46.900	75.400	22.400	6.470	5.980	80.100	122.100	132.100	91.800
15:00	35.800	13.980	27.600	21.000	6.900	7.180	81.400	145.600	65.000	33.400
17:00	7.410	4.120	6.150	5.000	2.740	2.650	102.300	89.600	98.400	47.900

enc. = encoberto; parc. enc. = parcialmente encoberto

3.1 Mês de abril – céu claro

As salas de aula 302 e 203, nas medições realizadas no mês de abril de 2013, na maioria dos dias, apresentaram média de valores altos de iluminância, considerando a referência 300 lux, com exceção de apenas um dia (25/04/2013). Isso se deve, principalmente, à condição de céu encoberto. Com exceção do primeiro dia de medição (22/04/2013), a sala 203, localizada no Bloco C, apresentou a média dos valores de iluminância mais alta. Esse fato atesta que o Bloco F, que possui dois pavimentos e fica localizado na parte posterior do Bloco E, onde está a sala 302, acaba atuando como barreira física, especialmente, após às 15h, uma vez que ele se encontra a sudoeste. Os pontos mais próximos às janelas principais registraram valores mais altos do que os pontos mais afastados, o que era esperado.

Tabela 2 - Coeficientes de CIN (%) e níveis de iluminância (lux) das salas 302 e 203, condição de céu claro, abril

DIA 22/04/2013 SEGUNDA-FEIRA - SALA DE AULA 302 - BLOCO E												
Horário	Ponto A 01		Ponto A 02		Ponto A 03		Ponto A 04		Ponto A 05		Ponto A 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	8,15	510,1	8,33	520,2	8,23	514,0	10,13	632,4	10,59	661,3	10,82	675,4
10:00		615,3		625,5		636,1		688,5		705,6		721,3
11:00	9,50	774,8	10,22	833,1	9,75	795,4	9,33	761,1	9,91	807,7	10,37	845,4
12:00		893,7		913,2		885,5		793,8		838,7		853,8
13:00	**1,23**	917,9	**1,24**	928,6	**1,10**	822,5	**1,06**	794,7	**1,12**	836,7	1,17	877,6
14:00		815,8		860,7		721,7		722,0		796,0		801,5
15:00	**0,92**	824,7	**0,84**	751,5	**0,91**	819,7	**0,79**	705,6	**0,86**	768,7	0,84	754,4
16:00		801,1		765,4		709,7		707,4		782,2		731,3
17:00	**0,12**	**63,4**	**0,14**	**74,4**	**0,11**	**59,6**	**0,04**	**24,9**	**0,05**	**28,9**	0,06	**31,0**
18:00		**12,1**		**14,0**		**10,3**		**3,6**		**5,2**		**4,9**

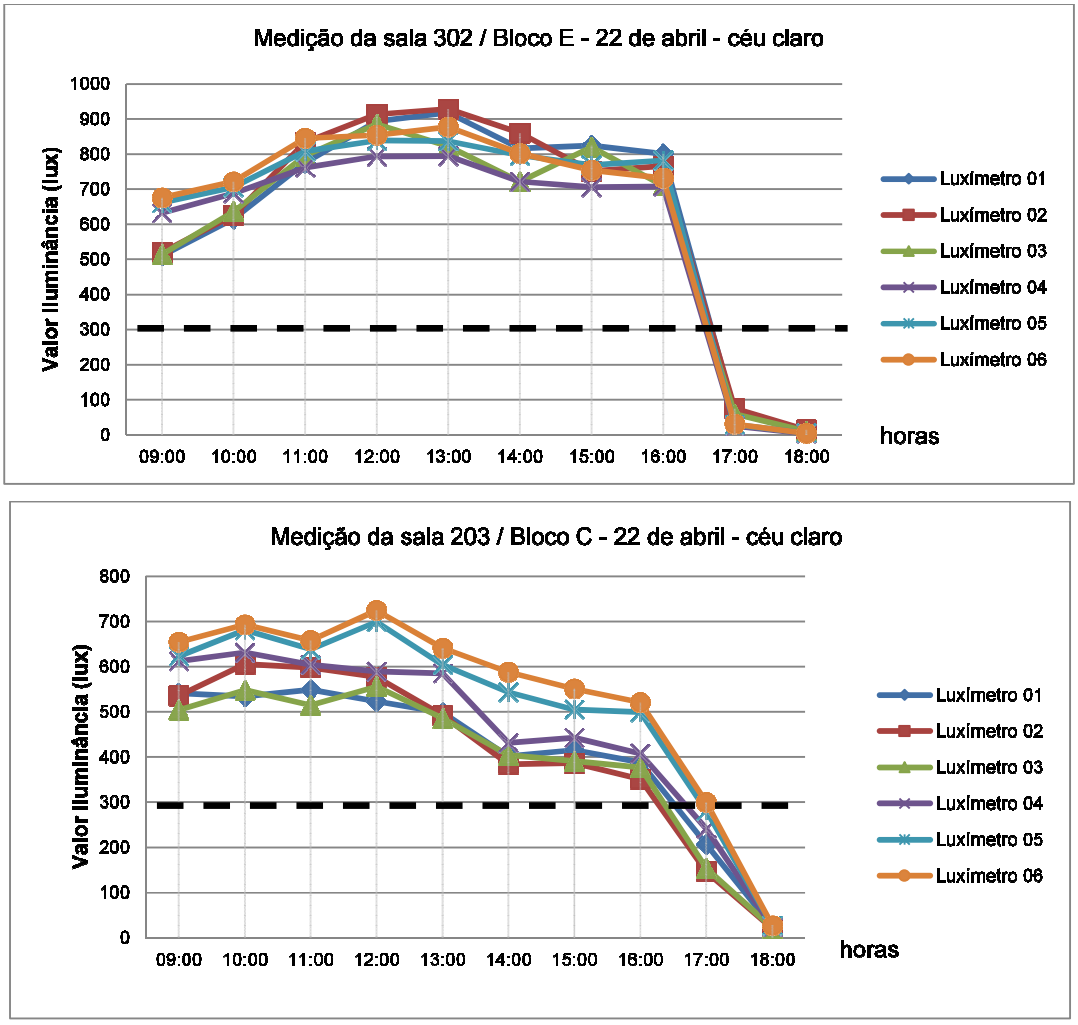
DIA 22/04/2013 SEGUNDA-FEIRA - SALA DE AULA 203 - BLOCO C												
Horário	Ponto B 01		Ponto B 02		Ponto B 03		Ponto B 04		Ponto B 05		Ponto B 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	8,67	541,5	8,58	535,8	8,08	504,6	9,81	612,4	9,99	623,4	10,49	654,8
10:00		534,6		605,6		548,7		631,8		681,3		693,4
11:00	6,73	548,9	7,33	597,9	6,32	515,2	7,41	604,6	7,83	638,6	8,07	658,1
12:00		523,1		576,8		556,4		589,4		699,3		724,5
13:00	**0,66**	498,7	**0,66**	492,8	**0,65**	485,9	**0,78**	585,6	**0,81**	604,5	**0,86**	641,1
14:00		401,6		384,2		404,3		431,9		543,4		588,3
15:00	**0,46**	415,7	**0,43**	386,8	**0,43**	391,5	**0,49**	443,2	**0,56**	504,8	**0,61**	551,3
16:00		388,6		351,0		377,4		407,8		499,4		521,3
17:00	**0,41**	**207,6**	**0,29**	**146,6**	**0,30**	**154,3**	**0,48**	**241,3**	**0,56**	**281,6**	**0,59**	**299,8**
18:00		**25,0**		**21,1**		**22,0**		**24,1**		**28,1**		**27,1**

Par ao mês de abril, apresenta-se a análise do CIN e da distribuição de iluminâncias para condição de céu claro representada por 22 de abril (tabela 2). Em negrito estão os valores abaixo da referência de 2% para o

CIN e valores abaixo da referência 300lux para o nível de iluminância.

Os níveis de iluminância, na maioria dos pontos, apresentaram valores superiores a 300 lux. Os valores que ficaram abaixo da referência estão entre 17 e 18h, horário em que a altura do sol é mais baixa. Contrapondo os valores de iluminância, os coeficientes CIN mostraram resultados inferiores a 2%, a partir das 13h, embora os níveis de iluminância estejam acima dos 300lux. Antes desse horário, os coeficientes CIN calculados apresentaram valores maiores que 2%.

Figura 6 - níveis de iluminância das sala de aula 302 e 203



Como se observa na figura 6, a variação dos níveis de iluminância foi similar para todos os pontos (variação aproximadamente uniforme para os pontos no decorrer do tempo), mantendo os valores de níveis de iluminância entre 500 e 900 lux na maior parte do dia, apresentando uma queda dos valores ao final da tarde. Também observa-se que, para condições de céu claro, mesmo considerando-se a orientação da fachada (sudoeste), os níveis de iluminância são maiores pela manhã do que ao final da tarde.

3.2 Mês de junho – céu encoberto

As medições realizadas no mês de junho são apresentadas para condição de céu encoberto (24 de junho), próximo ao solstício de inverno.

A sala de aula a alcançar a média mais alta dos valores de iluminância (ao longo da semana) foi a 203, embora, para essa época do ano, a barreira física representada pelo bloco F, para a sala 302, não seja determinante uma vez que o sol, para a latitude local, se põe mais ao norte. Devido à grande variabilidade diária do céu para boa parte dos dias da semana, não foi possível observar um padrão de comportamento das salas no decorrer dos dias.

Tabela 3 - Coeficientes de CIN (%) e níveis de iluminância (lux) das salas 302 e 203, condição de céu claro, junho

DIA 24/06/2013 SEGUNDA-FEIRA - SALA DE AULA 302 - BLOCO E												
Horário	Ponto A 01		Ponto A 02		Ponto A 03		Ponto A 04		Ponto A 05		Ponto A 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	**0,23**	**15,8**	**0,62**	**43,0**	**0,41**	**28,0**	5,20	355,5	3,10	**212,3**	3,59	**245,3**
10:00		**70,3**		**84,7**		**75,4**		498,1		**249,6**		321,5
11:00	3,33	**210,5**	3,39	**214,7**	2,88	**182,4**	8,18	517,4	7,81	493,6	6,27	396,8
12:00		**266,1**		**287,9**		**276,7**		821,6		775,5		791,3
13:00	2,85	**249,3**	2,70	**235,7**	2,37	**207,2**	8,65	755	9,16	798,9	9,20	802,7
14:00		**132,4**		**159,5**		**154,9**		516,2		700,3		755
15:00	4,12	**131,5**	4,54	**145,1**	3,47	**110,8**	14,10	450	10,32	329,5	12,58	401,4
16:00		**83,2**		**59,1**		**57,37**		441,1		**92,2**		321,2
17:00	**0,68**	**27,8**	**0,88**	**36,0**	**0,87**	**35,8**	2,24	**91,5**	3,72	**151,8**	2,64	**107,8**
18:00		**8,07**		**5,93**		**3,5**		**3,12**		**2,9**		**5,5**
DIA 24/06/2013 SEGUNDA-FEIRA - SALA DE AULA 203 - BLOCO C												
Horário	Ponto B 01		Ponto B 02		Ponto B 03		Ponto B 04		Ponto B 05		Ponto B 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	3,61	**246,9**	2,85	**194,7**	**0,91**	**62,83**	2,71	**185,7**	2,51	172,0	2,17	**148,5**
10:00		**276,4**		**149,2**		**186,9**		402,5		458,3		398,1
11:00	4,64	**293,7**	4,52	**285,7**	4,12	**260,8**	11,29	714,1	9,92	627,5	10,10	638,7
12:00		387,3		389,1		401,1		891,0		1.056,0		943,6
13:00	3,87	337,9	3,29	**287,5**	3,87	338,0	9,72	848,2	10,38	905,5	10,29	897,3
14:00		**261,9**		**202,2**		**183,0**		505,6		591,4		504,8
15:00	8,92	**284,7**	5,22	**166,7**	3,74	**119,5**	12,96	413,5	13,54	432,2	10,30	328,6
16:00		**250,6**		**28,5**		**35,0**		**76,9**		**92,2**		**79,2**
17:00	**1,82**	**74,1**	**0,61**	**24,9**	**0,33**	**13,6**	**1,31**	**53,5**	**1,26**	**51,5**	**0,92**	**37,5**
18:00		**0,12**		**0,5**		**0,3**		**0,7**		**0,8**		**0,85**

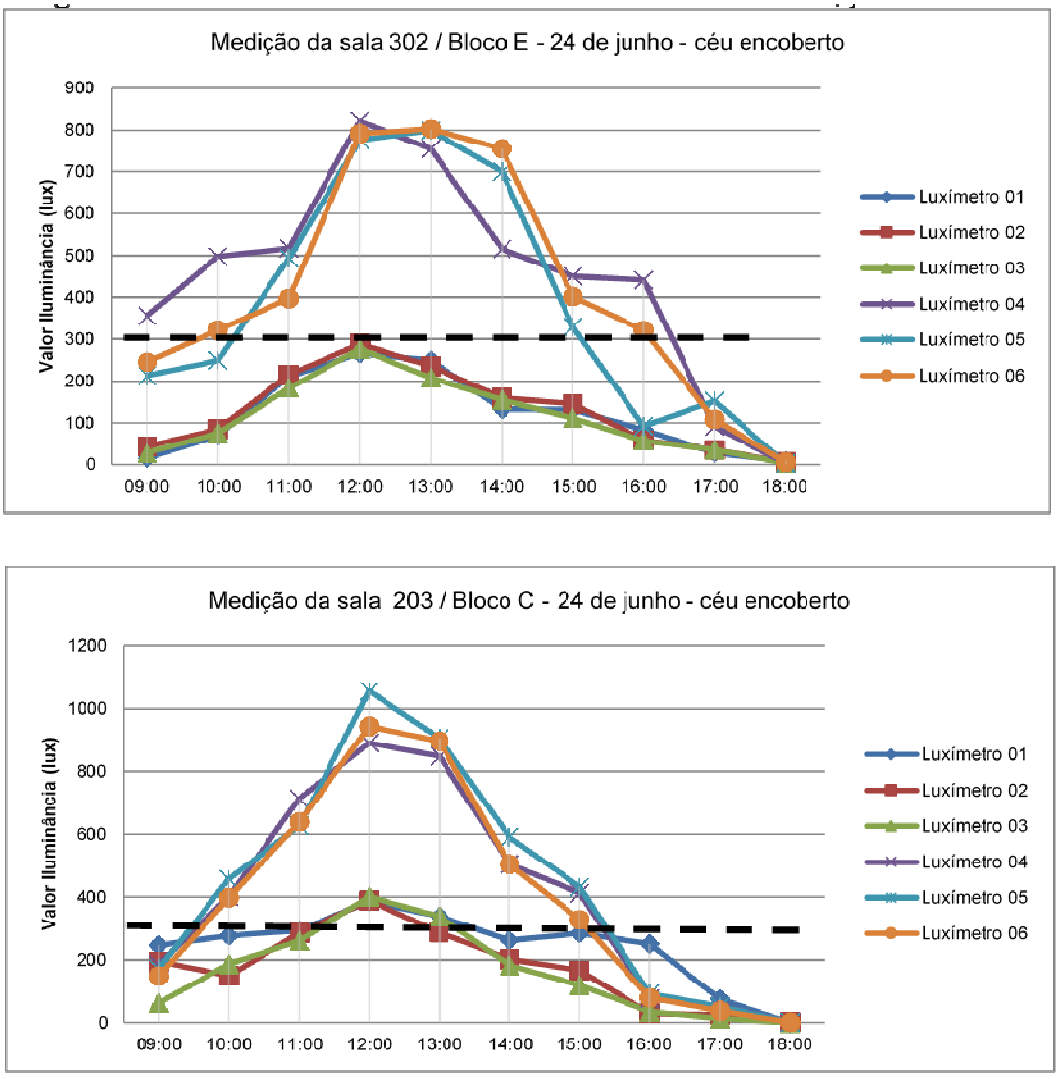
Para o dia 24 de junho (com céu encoberto durante todo o dia), foram registrados baixos níveis de iluminância.

A tabela 3 traz os coeficientes de CIN calculados e os níveis de iluminância, em lux, para o dia 24 de junho nas salas de aula 203 e 302. Em negrito estão os valores inferiores aos tomados como referência (2% e 300lux).

Observa-se que, no início da manhã, para os pontos 01, 02 e 03 da sala 302 (afastados das janelas), tanto o CIN quanto o nível de iluminância são menores do que os valores de referência. Os pontos ~~04,~~ 05 e 06, próximos às janelas, marcaram níveis abaixo do recomendado ao início e ao final da tarde, no entanto, o CIN foi maior que 2%. Os níveis de iluminância na sala de aula 203 foram superiores aos medidos na 302, para alguns horários, mas abaixo do recomendado.

Observa-se que os coeficientes CIN apresentaram valores superiores ou próximos a 2%, na maior parte do dia, para ambas salas, com alguns bem superiores, acima de 10%, contrapondo-se aos baixos níveis de iluminância.

Figura 7 - níveis de iluminância das sala de aula 302 e 203, junho



A figura 7 traz a variação dos valores de iluminância, em lux, para o dia em junho. Nota-se a variação indo de um valor mínimo, a um máximo e retornando a um mínimo de forma suave, como esperado. Também verifica-se, para essa condição de céu, que os pontos afastados variam menos que os pontos mais próximos às janelas, o que também é esperado, pois para os pontos mais afastados a parcela de céu visível contribui menos para a

iluminação no ponto. Percebe-se o comportamento diferente daquele verificado para céu claro (figura 6).

3.3 Mês de agosto – céu claro

A tabela 4 apresenta os resultados para o mês de agosto, com céu claro.

Tabela 4 - Coeficientes de CIN (%) e níveis de iluminância (lux) das salas 302 e 203, condição de céu claro, agosto

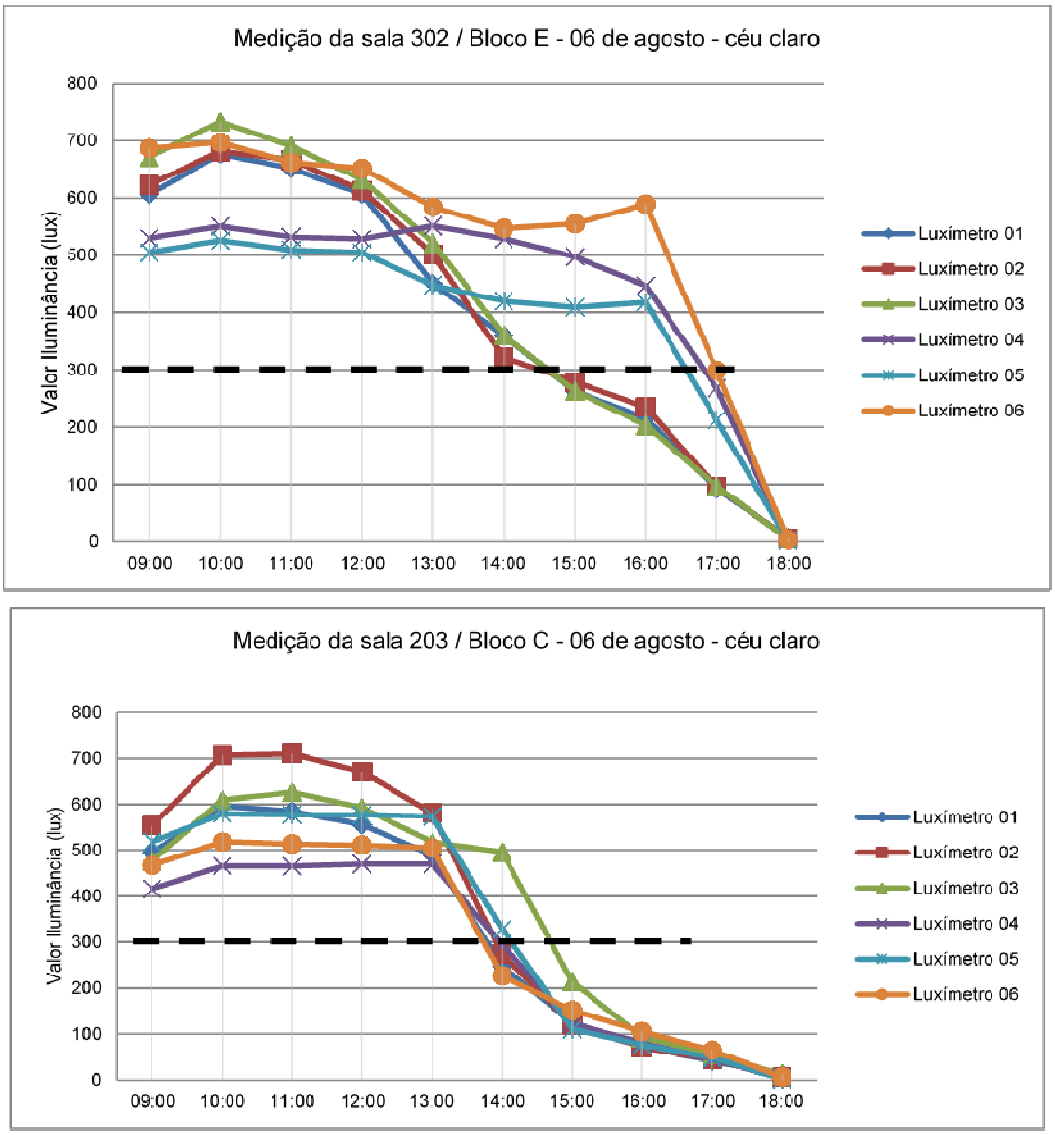
DIA 06/08/2013 TERÇA-FEIRA - SALA DE AULA 302 - BLOCO E												
Horário	Ponto A 01		Ponto A 02		Ponto A 03		Ponto A 04		Ponto A 05		Ponto A 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	**1,41**	605,8	**1,45**	622,4	**1,56**	671,1	**1,23**	529,5	**1,17**	504,7	**1,60**	687,0
10:00		676,8		681,7		733,3		550,5		525,6		697,0
11:00	**0,97**	651,8	**0,99**	666,4	**1,03**	690,6	**0,79**	532,0	**0,76**	509,2	**0,98**	662,0
12:00		606,4		612,8		632,3		528,3		504,6		651,0
13:00	**0,96**	450,9	**1,06**	501,5	**1,11**	521,5	**1,17**	551,1	**0,95**	447,2	**1,24**	584,0
14:00		359,2		321,4		360,3		528,8		420,1		547,0
15:00	**1,87**	**262,7**	**1,99**	**278,8**	**1,88**	**263,1**	3,55	497,3	2,92	409,3	3,96	555,0
16:00		**215,0**		**234,7**		**203,2**		447,0		417,5		589,0
17:00	2,24	**92,5**	2,31	**95,3**	2,34	**96,7**	6,50	**267,8**	5,14	**212,1**	7,25	**299,0**
18:00		**7,3**		**5,6**		**4,6**		**2,4**		**2,4**		**3,6**
DIA 06/08/2013 TERÇA-FEIRA - SALA DE AULA 203 - BLOCO C												
Horário	Ponto B 01		Ponto B 02		Ponto B 03		Ponto B 04		Ponto B 05		Ponto B 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	**1,15**	493,8	**1,29**	553,2	**1,11**	477,3	**0,97**	416,3	**1,21**	519,0	**1,09**	467,0
10:00		596,2		707,2		609,3		465,9		579,0		518,7
11:00	**0,87**	584,2	**1,05**	710,1	**0,09**	626	**0,69**	465,1	**0,86**	577,0	**0,76**	513,4
12:00		555,4		670,8		592,8		469,7		577,0		510,7
13:00	**1,04**	489,2	**1,23**	580,1	**1,10**	517,8	**1,00**	470,1	**1,22**	573,0	**1,07**	504,9
14:00		**247,6**		**274,6**		496,1		**295,7**		329,0		**226,8**
15:00	**0,89**	**124,9**	**0,86**	**120,8**	**1,53**	**213,9**	**0,87**	**122,7**	**0,79**	**111,0**	**1,08**	**152,1**
16:00		**74,1**		**70,9**		**93,28**		**80,21**		**76,8**		**105,5**
17:00	**0,99**	**40,9**	**1,09**	**45,0**	**1,36**	**56,31**	**1,09**	**45,27**	**1,18**	**49,0**	**1,58**	**65,2**
18:00		**12,7**		**5,5**		**12,22**		**3,99**		**1,9**		**6,7**

De modo geral, ao contrário do esperado, as medições no mês de agosto apresentaram valores de níveis de iluminância mais baixos do que os resultados para junho, isso pode se justificar em função que as medições durante a semana do mês de agosto foram realizadas na maioria com condições de céu parcialmente encoberto e encoberto, sendo também registrada chuva.

Para 6 de agosto, céu uniformemente encoberto todo o dia, para ambas as salas, os níveis de iluminância apresentaram-se, em geral, acima de 300 lux. Os pontos 01, 02 e 03 apresentaram resultados semelhantes, com níveis de iluminância menores que 300 lux, após as 15h. Nos demais pontos (04, 05 e

06, próximos às janelas), os resultados menores que o recomendado aconteceram apenas no final do dia, entre 17 e 18h. Os coeficientes CIN encontrados, na maioria dos pontos, apresentaram resultados abaixo de 2% com exceção do final da tarde para a sala 302. Observa-se que, embora os níveis de iluminância sejam superiores a 300 lux, os valores de CIN são inferiores a 2% para todos os pontos para sala 203.

Figura 8 - níveis de iluminância das sala de aula 302 e 203, agosto



A figura 8 ilustra a variação dos níveis de iluminância no decorrer do dia 06 de agosto. O mesmo comportamento para céu claro, verificado em abril, é percebido aqui, ou seja, valores mais altos no início da manhã do que ao final da tarde, em decorrência da orientação solar dos blocos (sudoeste). A iluminância varia uniformemente ao longo do dia de forma similar para todos os pontos. Nota-se um pico às 16 horas para o ponto 06 na sala 302, que pode ser decorrência de algum reflexo sobre a fotocélula oriundo da obstrução logo em frente. Também pode ser visto que, para céu claro (abril e agosto), a diferença entre pontos mais ou menos afastados da janela é menor do que para céu encoberto (junho), comportamento esperado.

3.4 Mês de dezembro – céu encoberto

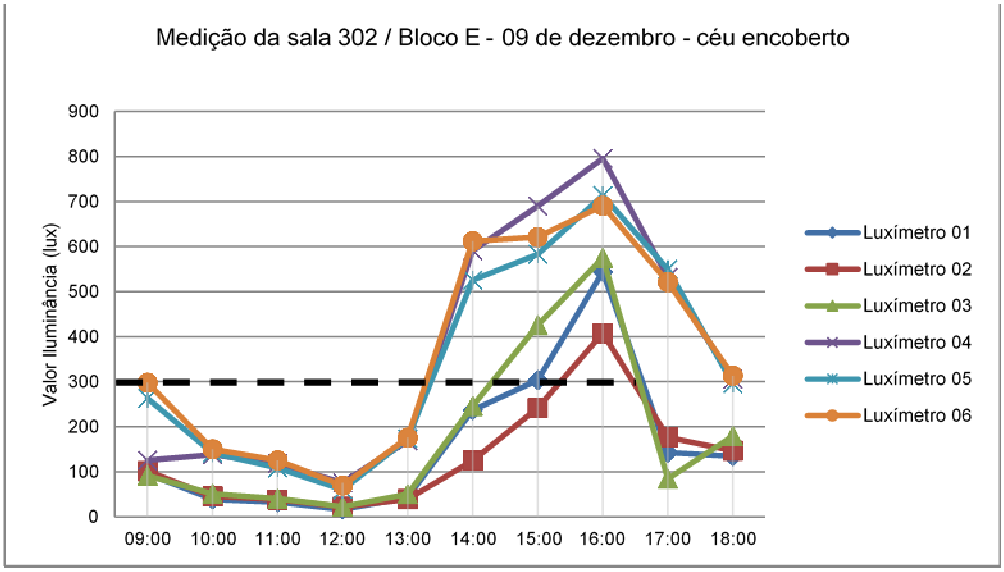
No início da semana, as medições foram realizadas com condição de céu encoberto, no decorrer da semana, o céu apresentou-se bastante variável. A tabela 5 ilustra os coeficientes CIN e níveis de iluminância medidos para o dia 09 de dezembro, com céu encoberto.

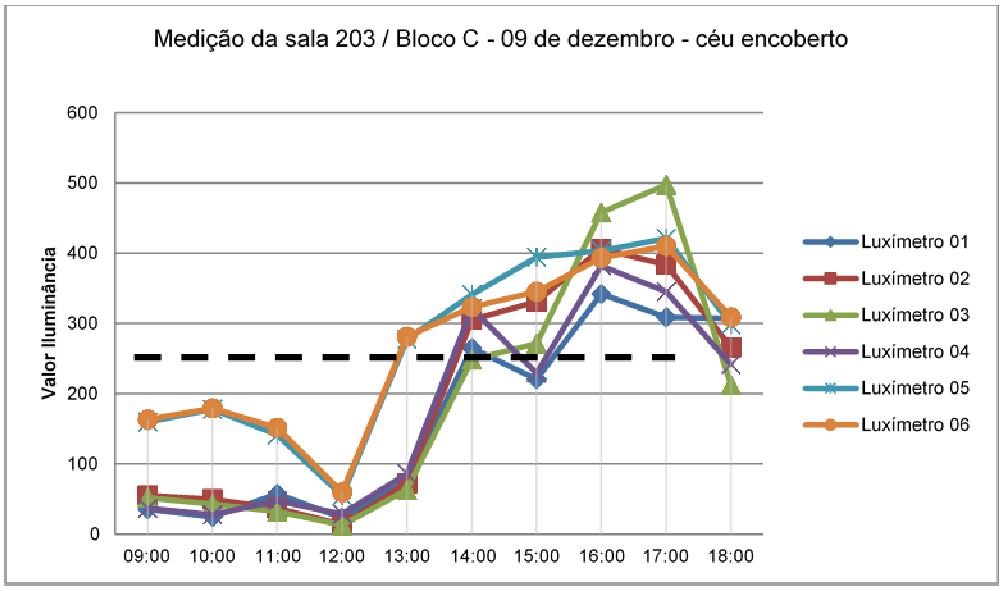
Tabela 5 - Coeficientes de CIN (%) e níveis de iluminância (lux) das salas 302 e 203, condição de céu encoberto, dezembro

DIA 09/12/2013 SEGUNDA-FEIRA - **SALA DE AULA 302 - BLOCO E**												
Horário	**Ponto A 01**		**Ponto A 02**		**Ponto A 03**		**Ponto A 04**		**Ponto A 05**		**Ponto A 06**	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	**1,87**	**95,9**	**1,98**	**101,5**	**1,78**	**91,53**	2,45	**126,0**	5,13	**262,8**	5,82	**298,1**
10:00		**39,0**		**45,4**		**50,6**		**138,0**		**141,5**		**149,9**
11:00	**0,49**	**32,2**	**0,58**	**38,0**	**0,61**	**40,33**	**1,80**	**118,0**	**1,65**	**108,2**	**1,91**	**125,2**
12:00		**16,22**		**22,0**		**22,25**		**75,7**		**59,87**		**69,52**
13:00	**0,71**	**42,9**	**0,65**	**39,1**	**0,83**	**50,22**	2,82	**169,0**	2,89	**173,3**	2,93	**175,6**
14:00		**236,9**		**124,9**		**246**		591,0		525,4		**612**
15:00	4,22	303,2	3,36	241,5	5,92	425,1	9,61	690,0	8,12	583,1	8,65	621,5
16:00		544,1		407,9		575,1		796,0		713,3		690,4
17:00	5,38	**142,6**	6,66	**176,6**	3,17	**84,04**	20,05	532,0	20,73	549,4	19,67	521,4
18:00		**134,4**		**146,5**		**179,4**		306,0		**295,3**		313,3
DIA 09/12/2013 SEGUNDA-FEIRA - SALA DE AULA 203 - BLOCO C												
Horário	Ponto B 01		Ponto B 02		Ponto B 03		Ponto B 04		Ponto B 05		Ponto B 06	
	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX	CIN	LUX
09:00	**0,69**	**35,5**	**1,07**	**54,9**	**1,01**	**51,8**	**0,72**	**36,9**	3,11	**159,7**	3,19	**163,4**
10:00		**24,3**		**49,4**		**42,6**		**27,8**		**177,8**		**179,1**
11:00	**0,87**	**57,3**	**0,56**	**36,9**	**0,49**	**32,3**	**0,71**	**47,0**	2,16	**141,6**	2,31	**151,5**
12:00		**23,1**		**13,7**		**12,4**		**28,4**		**54,3**		**59,64**
13:00	**1,27**	**76,1**	**1,20**	**72,3**	**1,05**	**63,3**	**1,43**	**85,9**	4,64	**277,6**	4,70	**281,2**
14:00		**264,8**		305,1		**248,4**		321,3		341,3		323,4
15:00	3,07	**220,5**	4,61	331,0	**3,77**	**271,4**	3,19	229,2	5,49	394,5	4,80	345,1
16:00		341,8		406,0		458,2		381,9		403,4		393,3
17:00	11,65	308,9	14,46	383,3	18,78	497,8	13,03	345,3	15,89	421,3	15,48	410,4
18:00		306,8		**265,9**		**212,2**		**241,4**		**298,5**		308,8

Os coeficientes CIN atingiram os valores de referência somente à tarde (em torno das 15horas) para os pontos mais afastados das janelas para ambas as salas. O mesmo verifica-se para os níveis de iluminância que, para todos os pontos, mantiveram-se inferiores a 300 lux no período da manhã. Para condições de céu encoberto, próximo ao solstício de verão, a orientação sudoeste apresenta em boa parte do dia valores inferiores do que o observado nos meses anteriores, invertendo-se o comportamento observado (valores menores pela manhã em vez da tarde), conforme figura 9.

Figura 9 - níveis de iluminância das sala de aula 302 e 203, dezembro





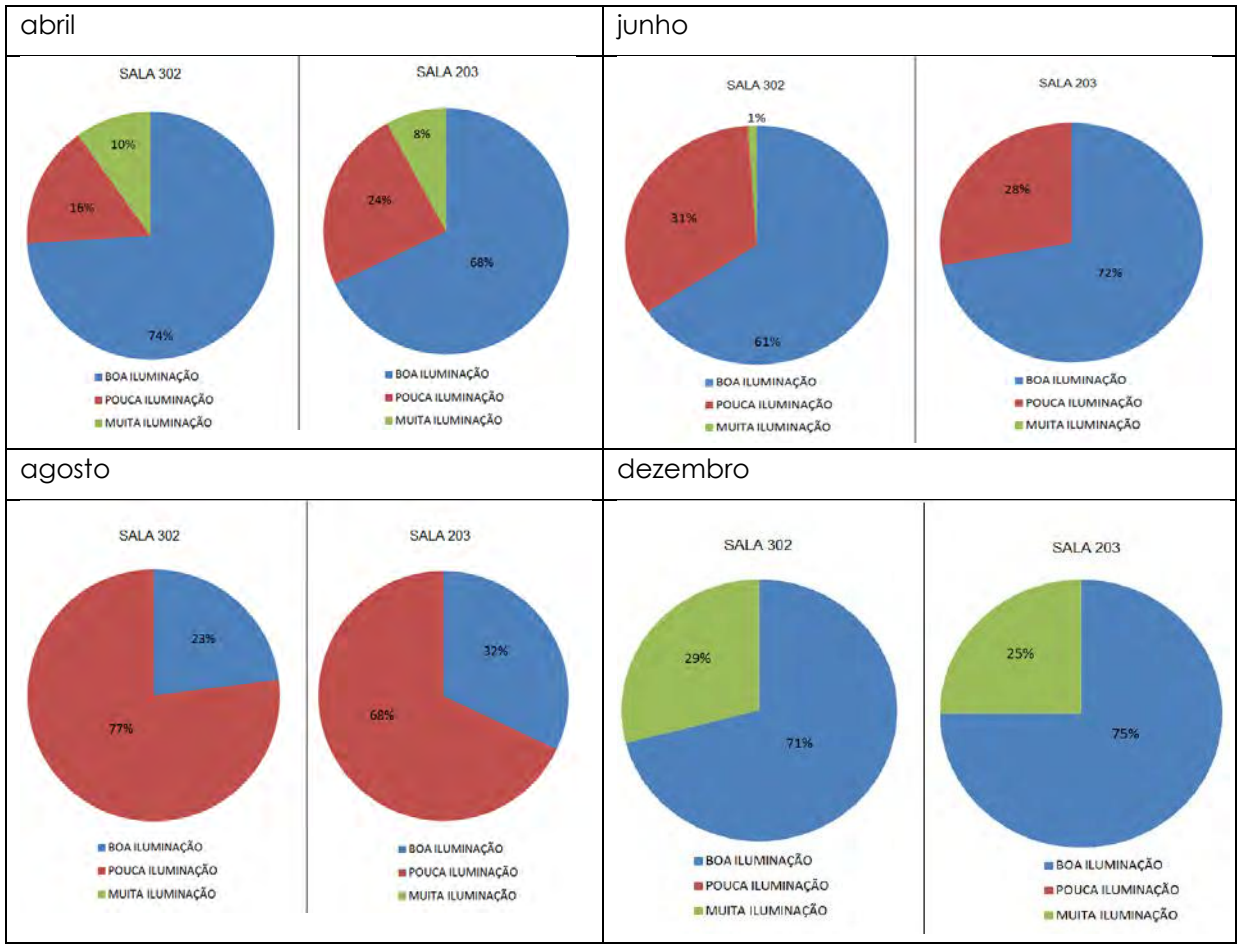
A variação das iluminâncias também mostrou certa uniformidade entre os pontos, com alguns valores anômalos como o verificado para o ponto 3 (afastado da janela), que assume, entre 16 e 17 horas valores acima dos demais, na sala 203.

3.5 Opinião dos usuários

A amostra de público que respondeu aos questionários foi composta somente por alunos, com faixa etária entre 20 e 25 anos. A figura 10 traz os resultados obtidos em relação ao grau de satisfação dos usuários para as salas para os quatro dias dos meses de abril, junho, agosto e dezembro.

Para os meses de abril, junho e dezembro, houve, no momento da aplicação do questionário, maior satisfação com as condições de iluminação natural expressa pelos usuários.

Figura 10 - níveis de iluminância das sala de aula 302 e 203, dezembro



Fonte: autores

Em abril, 74%, dos usuários da sala 302 e 68% da sala 203 consideraram a iluminação boa. A percepção dos usuários foi realizada com condição de céu parcialmente encoberto. Já em junho, 61%, na sala 302, e 72%, na sala 203, consideram a iluminação boa. Porém o número de insatisfeitos foi maior do que em abril (31% e 28%). Em agosto, a percepção foi de pouca iluminação, talvez em decorrência do período de céu encoberto e chuva que caracterizou o período. Já em dezembro houve uma percepção de boa iluminação ou excesso de iluminação, resultado esperado considerando o período do ano. Nota-se que em junho e agosto não houve percepção significativa de muita iluminação.

Em relação aos motivos para considerar a iluminação boa ou má, os usuários apontaram brilho refletido em direção aos olhos por conta de reflexões da radiação direta do sol em mesas e no quadro, e impossibilidade de controlar a incidência de radiação solar através das janelas, devido às cortinas *blackout*, ou, quando estas estão fechadas, não ser possível ter vistas do exterior.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as medições efetuadas para dias dos meses de abril, junho, agosto e dezembro, os níveis de iluminância mantiveram-se acima da referência de 300lux na maior parte do dia para condições de céu claro, mas abaixo, principalmente do período da tarde, para condições de céu encoberto, resultado a orientação sudoeste da sala.

A referência adotada para o CIN de 2% não concordou com a referência para a iluminância de 300lux, ou seja, para níveis medidos acima de 300 lux, o valor de CIN encontrado foi inferior aos 2% para céu claro e superior a 2% para níveis internos inferiores a 300lux. Esse resultado demonstra a necessidade de referências para CIN condizentes com condições de céu locais.

Os usuários demonstraram, em sua maioria, para os dias de aplicação dos questionários, estar satisfeitos com a iluminação natural disponível, exceto no dia do mês de agosto, que apresentou-se encoberto, com chuva, o que pode ter influenciado sua percepção subjetiva. Apontaram como principais problemas o excesso de radiação solar e a impossibilidade de controlar a entrada de luz natural. Esse resultado demonstra a importância de deixar que o usuário decida como deseja que a iluminação natural esteja disponível, através de controles ativos dessa, como cortinas, persianas ou brises móveis.

Embora esta pesquisa esteja limitada a um curto período de tempo e a um contexto específico, pode-se concluir que, apesar de diversos meios de prever condições de iluminação natural em interiores, os projetos têm negligenciado aspectos relacionados a ela, desde a escolha equivocada e orientação aberturas, até a falta de elementos primários de controle da luz natural, demonstrando ser necessário um contínuo esforço de esclarecimento e atualização dos projetistas.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15.215**: Iluminação natural. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho – parte 1 - interior. Rio de Janeiro, 2013.

CORREIA, A.G.U. **Avaliação pós-ocupacional da iluminação natural das salas dos setores de aulas teóricas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. 2008. 173f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

HO, Ming-Ching; CHIANG, Che-Ming; CHOU, Po-Cheng; CHANG, Kuei-Feng; LEE, Chia-Yen. Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms. **Energy and Buildings,** v. 40, 2008, p. 1844-1855.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed.

Florianópolis. ELETROBRÁS/PROCEL/UFSC/LABEEE, 2014.

MANSILHA, R.B. **Análise da disponibilidade de iluminação natural e artificial em salas de aula de instituição de ensino superior**. 2013. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2013.

PEREIRA, F .O .R.; SOUZA,M. B. de. **Iluminação**. Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Apostila de Conforto Ambiental. Florianópolis. 2005.

WINTERBOTTOM, Mark; WILKINS, Arnold. Lighting and discomfort in the classroom. **Journal of Environmental Psychology**, v. 29, 2009, p.63-75.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MEDIÇÃO DA TRANSMITÂNCIA SOLAR EM SISTEMAS DE ABERTURAS SOB CONDIÇÕES CLIMÁTICAS REAIS[1]

GUTIERREZ, Grace C.R. (1); LABAKI, Lucila C. (2)

(1) UFMG, e-mail: gracegutierrez@ufmg.br; (2) UNICAMP, e-mail: llabaki@gmail.com

RESUMO

A radiação solar atua diretamente sobre as superfícies externas da edificação e, portanto, os sistemas de aberturas que integram a envoltória são importantes para o controle da admissão dessa energia. O objetivo deste estudo foi comparar o comportamento de sistemas de aberturas, compostos por superfície vítrea e dispositivos externos de sombreamento, em relação à transmissão da radiação solar, a partir de dados obtidos em medições no campo experimental sob condições climáticas reais. A metodologia se baseia no método radiométrico aplicado a ensaios de campo em células teste com sistemas de aberturas e sombreamento distintos, voltados para a fachada norte. Foram coletados dados das variáveis ambientais e dos sensores (radiação solar e temperatura) nos sistemas em teste. Nas medições observou-se a influência do ângulo de incidência e a interação dos componentes do sistema de abertura em ensaio. No caso dos sistemas que contavam com dispositivos externos de proteção solar os resultados comprovaram o efeito combinado desses elementos, as diferenças de comportamento entre os vidros e tipologias dos brises, e da variação da temperatura interna ao longo do período.

Palavras-chave: Transmitância à radiação solar. Sistemas de aberturas. Campo experimental.

ABSTRACT

Solar radiation acts directly on the building envelope, therefore fenestration systems are essential to control the admission of that energy. The aim of this study was to compare the behavior of different fenestration systems with external shading devices in relation to the transmission of solar energy in experimental field under real weather conditions. The methodology is based on radiometric method applied to field trials in test cells with different glazing and shading systems, on north facade. Data were collected from environmental variables and sensors (solar radiation and temperature) on the tested samples. In the measurements, the influence of the incidence angle and interaction of components of system under test were observed. For systems that relied on external solar shading the results showed the combined effect of those elements, the differences of the glass and types of slats behavior, and the internal temperature varying over the period.

***Keywords**: Solar energy transmittance. Fenestration system. Experimental field.*

1 INTRODUÇÃO

A radiação solar atua diretamente sobre as superfícies externas da edificação e, portanto, os sistemas de aberturas que integram a envoltória

[1] GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. Medição da transmitância solar em sistemas de aberturas sob condições climáticas reais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

são importantes para o controle da admissão dessa energia. De acordo com a ASHRAE (2009) as aberturas ligam, física e visualmente, o exterior com o interior de uma edificação, recebendo radiação solar (calor e luz) e ventilação natural nos ambientes.

As funções de um sistema de abertura podem ser classificadas segundo alguns critérios: estrutural e segurança, funcional e psicológico, e estético e dimensional. Dentre as funções de controle, esta pesquisa tem seu foco na influência da radiação solar sobre a envoltória e, nesse sentido, as aberturas podem ser consideradas como o principal fator de projeto, pois influenciam diretamente o desempenho térmico e o consumo de energia na edificação.

Os sistemas de aberturas são compostos por caixilho, superfície transparente e podem contar ou não com dispositivos de proteção solar. Embora cada elemento que integre esse componente construtivo atue de maneira distinta, será a associação dos componentes, principalmente das superfícies transparente e opaca, que definirá o desempenho combinado do sistema.

O desempenho térmico desse componente construtivo depende das características dos materiais e camadas que os constituem, de acordo com suas propriedades óticas e termofísicas, espessuras, camadas e câmaras (ISO, 2003a, b; NFRC, 2010b), e de seu acabamento superficial. Kapur (2004) destaca que as propriedades físicas e superficiais do material dos brises afetam a transferência de calor pelo vidro.

Com relação a superfícies transparentes ou translúcidas, são as propriedades ópticas que mais influenciam seu desempenho. Dessa forma, os processos de reflexão, absorção, e transmissão da radiação solar por esses elementos depende do comprimento de onda, podendo sofrer variações em função da composição do material, da espessura, do índice de refração do vidro, e do ângulo de incidência. Essas propriedades interferem tanto no ganho devido à incidência da radiação solar, quanto na transferência de calor por diferença de temperatura.

As superfícies transparentes tem caracterização ótica realizada em ensaios de laboratório conforme procedimento normatizado (ISO, 2003a), e os resultados se encontram disponíveis no mercado, seja em catálogos, banco de dados ASHRAE e NFRC, ou pesquisas científicas (SANTOS, 2002). Já a caracterização dos demais materiais construtivos vem ocorrendo, ainda que de forma mais lenta. No entanto, o comportamento associado dessas superfícies num sistema de abertura ainda necessita aprofundamento, principalmente em relação aos dispositivos externos.

Considerando as edificações existentes e a multiplicidade de soluções de aberturas com dispositivos de sombreamento externos, buscou-se a aplicação de um método experimental que avalie os sistemas de abertura in loco, coletando dados para sua caracterização e comportamento do sistema.

2 OBJETIVOS

Comparar o comportamento de diferentes sistemas de aberturas com dispositivos externos de sombreamento em relação à transmissão da radiação solar, em campo experimental, sob condições climáticas reais.

3 METODOLOGIA

A metodologia se baseia no método radiométrico aplicado a ensaios de campo com a utilização de células teste com diferentes sistemas de aberturas e sombreamento.

A metodologia para o ensaio experimental fundamenta-se nas normas, procedimentos experimentais e modelos matemáticos abordados nas normas ISO 9050 (2003a), ISO15099(2003b), JIS A1422 (1982), NFRC series NFRC 200 (2010a), NFRC 201 (2010b) e NFRC 300 (2003c), ASHRAE fundamentals (2009), e pesquisas como o Mobile Windows Thermal Test - MoWiTT, descrito por Klems, Warner e Kelley (1995), e Kapur (2004).

Dessa forma, foram utilizadas técnicas de medição em campo para monitorar variáveis ambientais e construtivas em unidades experimentais (células teste) com diferentes sistemas de aberturas, para determinação da transmitância à radiação solar em campo, sob condições climáticas reais.

Nessa montagem experimental procurou-se verificar a interação dos elementos construtivos constituintes do sistema de abertura em ensaio. Dessa forma, foram utilizadas unidades experimentais (células teste), onde estavam instalados os diferentes sistemas de aberturas em estudo: três tipos de vidro associados a três situações distintas de sombreamento, voltados para a fachada norte.

3.1 Caracterização da área de ensaio

Os ensaios foram realizados no campo experimental localizado no terreno da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo FEC UNICAMP, no município de Campinas SP (Figura 1), classificado como ZB3. Os dados climáticos do local foram adquiridos da estação meteorológica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Embora os dados climáticos gerais tenham sido considerados para caracterização dessa região, a monitoração do microclima local no campo experimental foi de grande importância para estabelecer relações comparativas entre estes dados e as leituras obtidas por equipamentos instalados no campo experimental, que coletavam as variáveis ambientais e dos sensores das células teste com os sistemas em ensaio.

3.2 Caracterização das unidades experimentais

As unidades experimentais tinham dimensões internas de 2,50 x 2,20m, com pé direito de 2,40m, tendo sido construídas sobre radier de concreto, com paredes de tijolo maciço de 10 cm de espessura sem revestimento. A

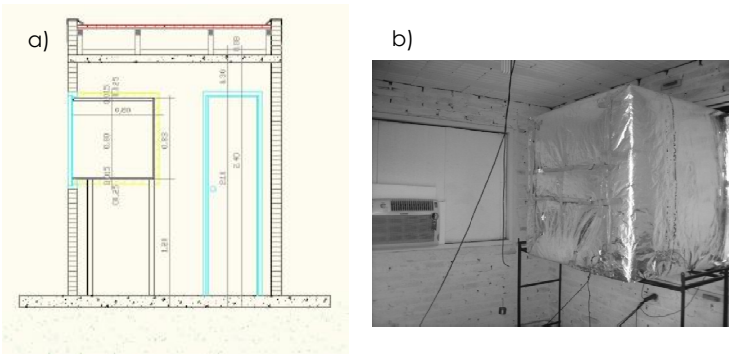
abertura foi definida com base em padrões de janela disponíveis no mercado, instalado no vão de 1,00 x 1,20 m na fachada norte. A cobertura era composta por laje, ático ventilado, e filme de alumínio polido (*foil)* junto ao caibramento da cobertura de telha fibro-vegetal. As superfícies das paredes, internas e externas, foram pintadas de branco visando reduzir o aporte de calor.

Para possibilitar a realização da leitura da radiação solar e temperaturas que considerasse apenas o sistema de abertura em ensaio, sem a influência das demais superfícies internas da unidade experimental, foi proposta a utilização de uma câmara protegida (Figura 2 a, b).

Figura 1 – As unidades em teste no campo experimental



Figura 2 – (a) Esquema e (b) foto da câmara interna.



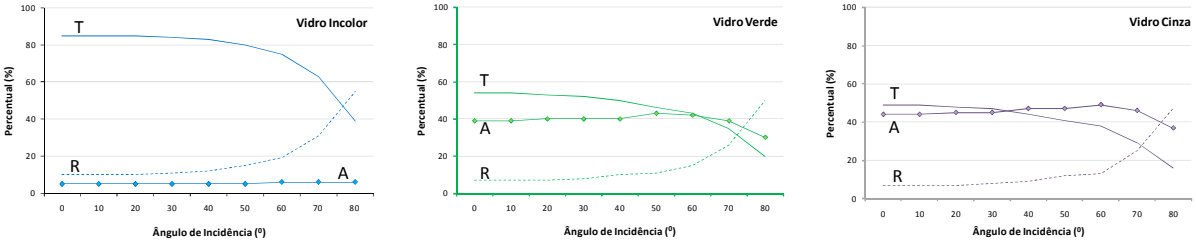
Fonte: Os autores.

3.3 Caracterização dos sistemas em ensaio

A seleção dos sistemas de abertura em estudo foi realizada considerando os vidros e soluções de brises mais comumente utilizados nas edificações, bem como a viabilidade e custo de aquisição de 3 amostras de cada tipo para ensaios simultâneos.

Dessa forma, os vidros em ensaio foram: vidro plano *float*; de 4 mm de espessura; nas cores incolor (Fator Solar FS 0,78), verde (FS 0,48) e cinza (FS 0,54). Propriedades térmicas: condutividade térmica λ = 0,8 W/mK e transmitância térmica U = 5,71 W/m^{2}K; e óticas conforme Figura 3.

Figura 3 – Propriedades óticas dos vidros em ensaio, em função do ângulo de incidência.



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2002.

Com relação aos brises a tipologia foi definida com base nas soluções mais usuais nas edificações existentes: placas paralelas, horizontais ou verticais, externas à abertura. Assim, as placas dos brises foram confeccionadas em concreto de pedrisco (condutividade térmica λ = 1,15 W/mK), acabamento superficial liso, na cor do concreto (a = 0,72); com dimensões de 1,35 x 0,35m, e espessura de 15mm, posicionadas a 50mm de distância da abertura, na fachada norte, conforme apresentado na Figura 5.

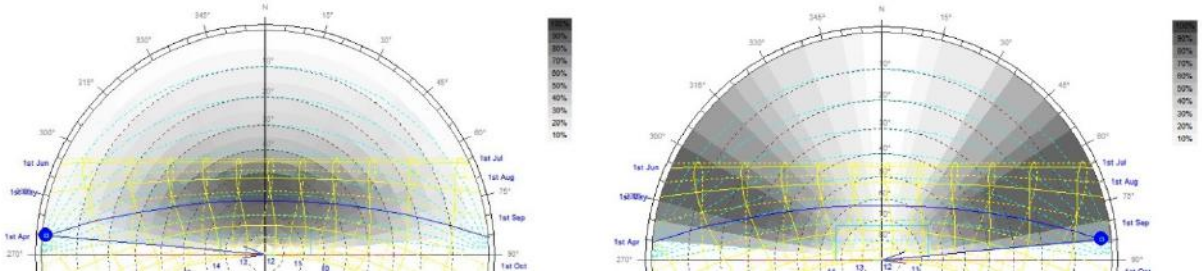
Figura 5 – Vistas externas e internas das placas horizontais e verticais.



Fonte: Os autores.

Os sistemas de abertura em teste associavam três tipos de vidros – incolor (referência), verde e cinza; e três condições de sombreamento (ver Figura 6): brise horizontal, brise vertical e sem brise (referência).

Figura 6 – Máscara de sombreamento dos brises em ensaio: a) horizontal, b) vertical.



Fonte: Os autores.

Ao todo, eram nove situações em ensaio:

- vidro incolor: sem brise (VI); brise horizontal (BHVI); brise vertical (BVVI);
- vidro verde: sem brise (VV); brise horizontal (BHVV); brise vertical (BVVV);
- vidro cinza: sem brise (VC); brise horizontal (BHVC); brise vertical (BVVC).

3.4 Equipamentos

No decorrer do ensaio experimental, as condições climáticas foram registradas por um sistema automático de monitoramento de dados obtidos por sensores de temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, radiação solar e pluviosidade.

Nas unidades experimentais, foram instalados sensores nos sistemas de aberturas em ensaio, para monitoramento da radiação solar e temperatura. As variáveis monitoradas pelos sensores foram definidas de acordo com o

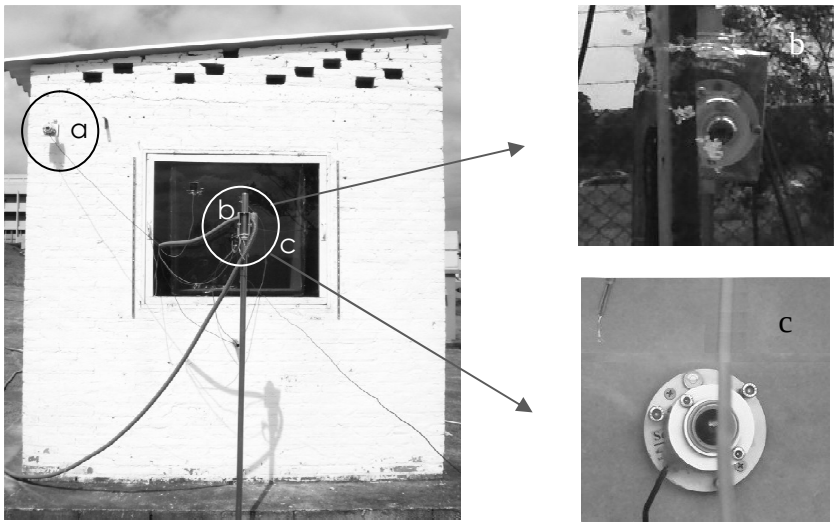
método radiométrico. Para monitorar a radiação solar no sistema em ensaio, os piranômetros (Figura 7) foram posicionados da seguinte forma:

a) um piranômetro externo medindo a incidência da radiação solar total no plano vertical (Figura 8a);
b) piranômetro externo, porém voltado para o sistema de abertura em ensaio monitorando a radiação refletida por esse elemento (Figura 8b);
c) piranômetro interno, voltado para o sistema de abertura para medir a radiação transmitida através do sistema (Figura 8c).

Figura 7 – Piranômetro.



Figura 8 – Posicionamento dos piranômetros.
a) externo à célula, voltado para exterior; b) externo à célula, voltado para a abertura; c) interno a câmara, voltado para o exterior.



Fonte: Os autores.

No interior da câmara dentro da unidade experimental um termopar tipo "J" registrava as temperaturas do ar.

3.5 Período de medição

Cada sistema de abertura foi testado durante uma semana, sendo considerados para análise os dias com condição de céu claro. Os dados coletados foram compilados a cada 30 minutos.

As medições ocorreram em dezembro, março e abril. Os dados apresentados neste artigo correspondem ao período de 24 de março à 15 de abril de 2009[2], sendo uma semana para cada tipo de vidro em ensaio com suas respectivas variações de sombreamento (sem brise, brise horizontal e brise vertical): vidro incolor: período de 24 a 30/03; vidro verde: período de 01 a 04/04; e vidro cinza: período de 09 a 12/04.

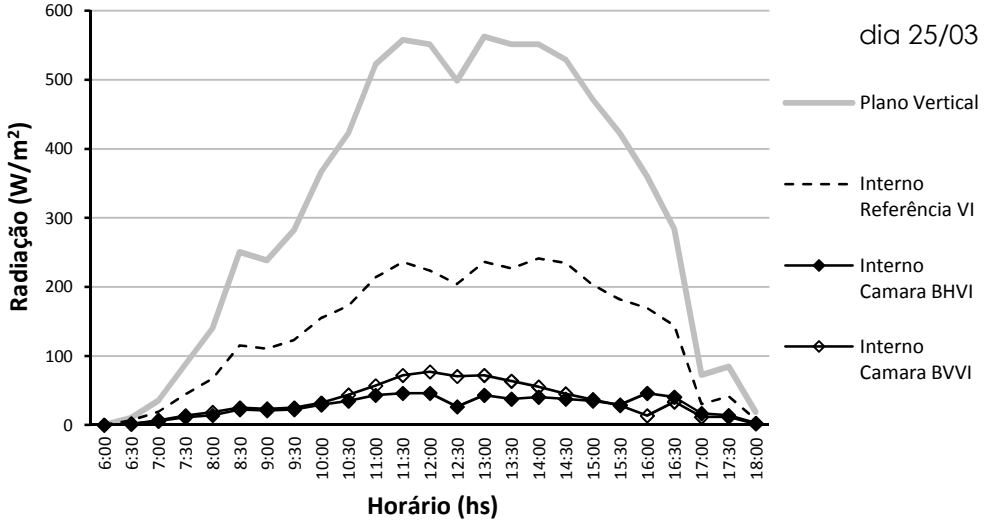
[2] Esta pesquisa monitorou dados em campo experimental no período de 2007 a 2009, quando foi interrompida, sendo retomada em 2015.

4 RESULTADOS

Os resultados das medições são apresentados a seguir. Os gráficos de radiação solar no plano vertical apresentam os dados de radiação solar transmitida através do sistema de abertura, bem como dados de correlação entre a radiação incidente no plano vertical e a transmitida nas diferentes tipologias em ensaio.

A Figura 9 mostra os resultados para o vidro incolor, com três situações de ensaio: VI – vidro incolor sem proteção; BHVI – brise horizontal e vidro incolor; e BVVI – brise vertical e vidro incolor. Observa-se a redução significativa do aporte de radiação solar nos sistemas que contam com dispositivos de sombreamento, mesmo nos horários em que a proteção não é total.

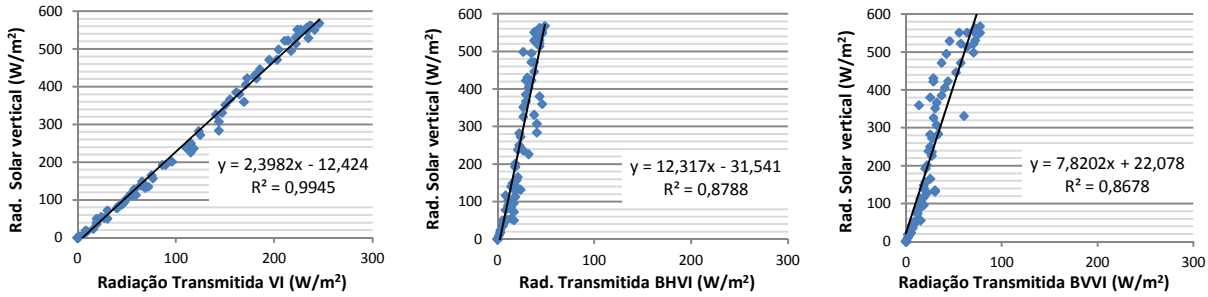
Figura 9 – Gráfico dos dados de radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais, com vidro incolor.



VI – vidro incolor; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 10 – Gráficos de correlação entre radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais.



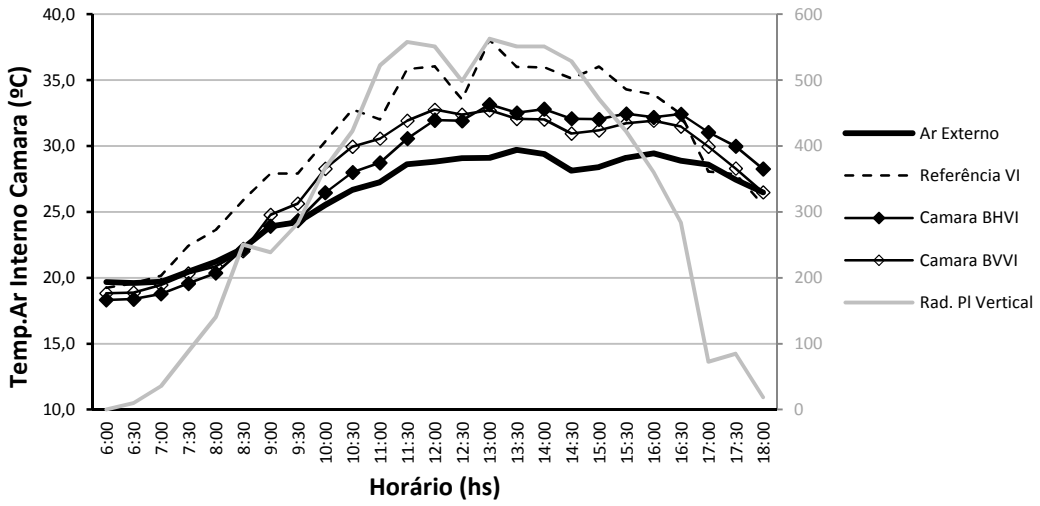
Fonte: Os autores.

Destaca-se também a diferença registrada entre os diferentes dispositivos: no caso do horizontal, os pontos são bastante próximos da curva, já para o

brise vertical, há um distanciamento da reta, que quando observado em conjunto com a eficiência da proteção, configuram os períodos de (sombreamento ou ângulo de incidência elevado). Nas três situações de ensaio com vidro incolor, observam-se os bons resultados de correlação (Figura 10), seja o sistema sem proteção ou com proteção solar.

A Figura 11 mostra os resultados para o vidro incolor, nas três situações de ensaio, em relação às temperaturas internas. A relação entre radiação transmitida e temperatura interna da câmara para o período de insolação não apresenta uma correlação boa, apenas 0,45 (Figura 12).

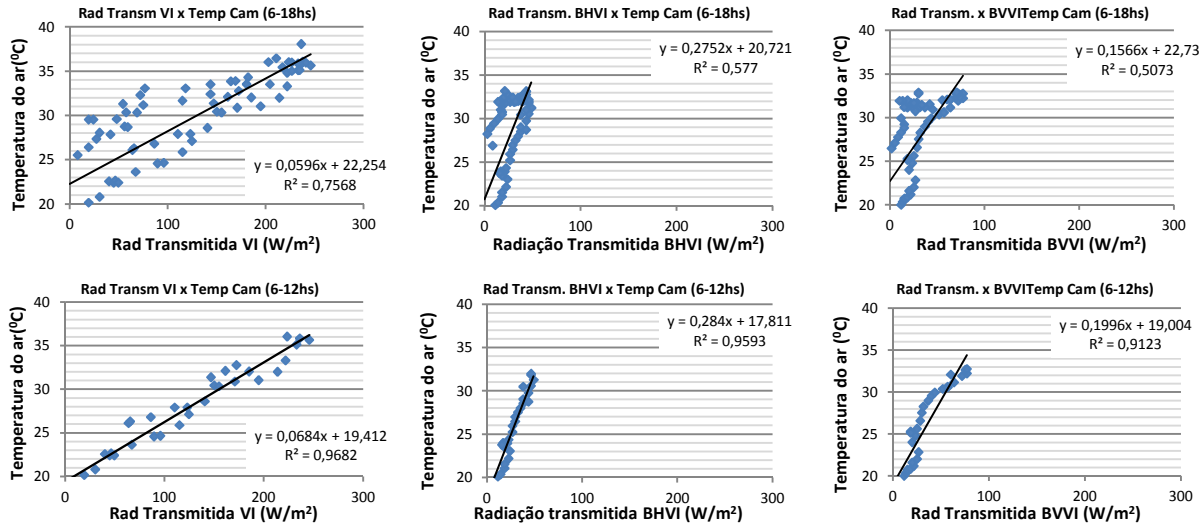
Figura 11 – Gráfico dos dados de temperatura no interior das unidades experimentais, com vidro incolor.

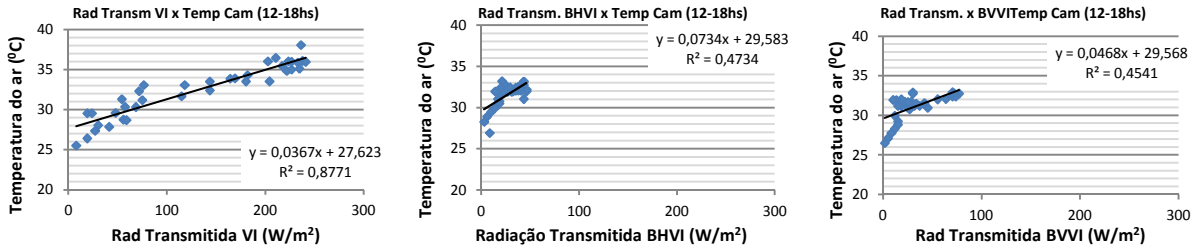


VI – vidro incolor; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 12 – Gráficos de correlação entre transmitida x temperatura no interior das unidades experimentais.



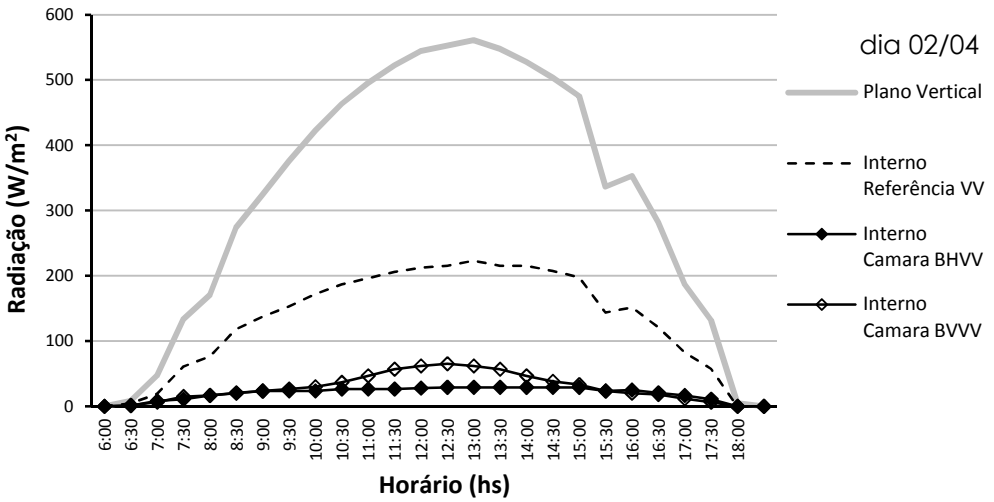


Fonte: Os autores.

No entanto, quando se separa os períodos por horário – manhã e tarde (Figura 12, 6-12hs), pode-se obter para o período da manhã a correlação acima de 0,9, representando diretamente a proporção entre radiação transmitida e elevação da temperatura interna. Para o período da tarde (Figura 12, 12-18hs) são observadas as maiores diferenças entre esses sistemas: as temperaturas já elevadas com o aporte de radiação. Nota-se a diferença entre os sistemas com e sem proteção, no caso do vidro não há inércia térmica e as temperaturas caem mais rapidamente que os sistemas com brises.

A Figura 13 mostra os resultados para o vidro verde, com três situações de ensaio: VV – vidro verde sem proteção; BHVV – brise horizontal e vidro verde; e BVVV – brise vertical e vidro verde.

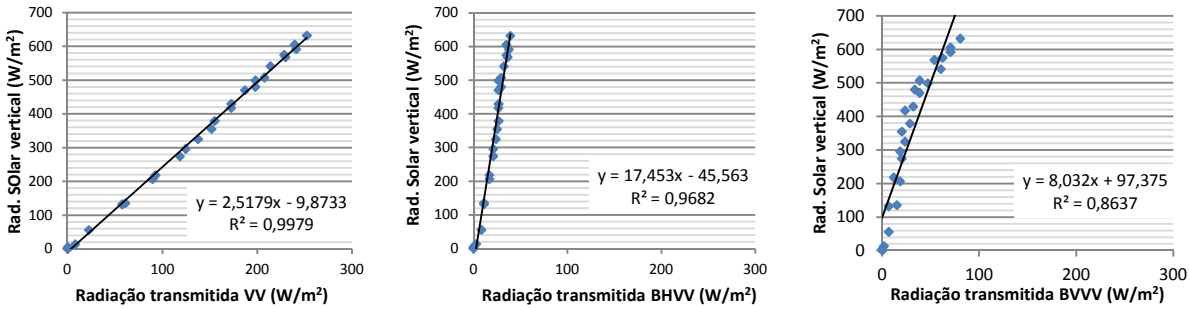
Figura 13 – Gráfico dos dados de radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais, com vidro verde.



VV – vidro verde; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 14 – Gráficos de correlação entre radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais.

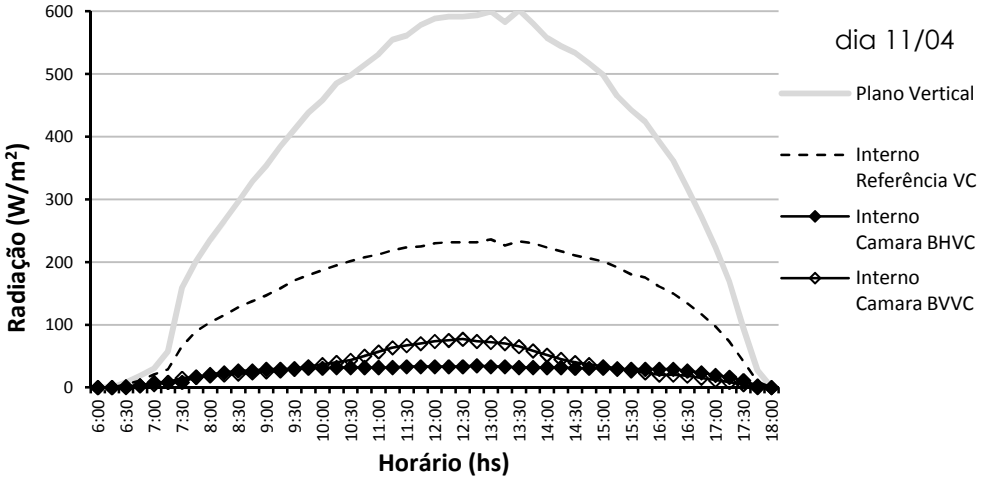


Fonte: Os autores.

Observa-se que entre os diferentes tipos de vidros, o vidro verde registrou os menores valores de radiação transmitida entre as amostras analisadas, ainda que essas diferenças sejam discretas, menores que 50W/m2, o que destaca que a influência do ângulo de incidência foi superior ao tipo de vidro para essas condições de ensaio.

A Figura 15 mostra os resultados para o vidro cinza, com três situações de ensaio: VC – vidro cinza sem proteção; BHVC – brise horizontal e vidro cinza; e BVVC – brise vertical e vidro cinza.

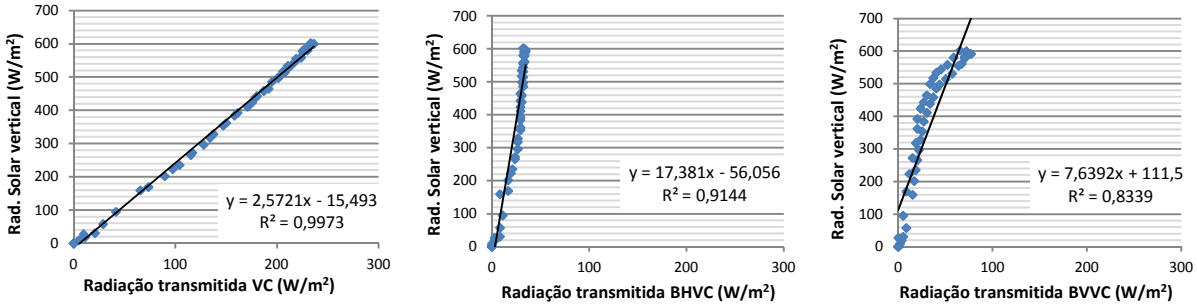
Figura 15 – Gráfico dos dados de radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais, com vidro incolor.



VC – vidro cinza; BH – brise horizontal; BV – brise vertical

Fonte: Os autores.

Figura 16 – Gráficos de correlação entre radiação solar no plano vertical e radiação transmitida no interior das unidades experimentais.



Fonte: Os autores.

Nos três tipos de vidro ensaiados quando não protegidos por brises, registraram a radiação transmitida acima de 200W/m^2, nos horários próximos ao meio dia, com o sol mais próximo ao zênite, registrando uma redução significativa em relação aos valores de radiação solar registrados para o plano vertical (entre 500 e 600 W/m^2). Essa diferença ocorre em função do ângulo de incidência da radiação sobre o plano vertical da fachada norte, superior a 60º para as condições de insolação nesse período do dia. Assim, embora entre 12 e 13:00hs ocorra o maior valor de radiação solar, o ângulo de incidência reduz significativamente a transmissão para o ambiente interno.

No caso do brise vertical os maiores valores registrados nos horários entre 11 e 13:00hs correspondem ao período de menor eficiência da proteção solar, mas como os ângulos de incidência estão elevados nesse horário, a quantidade de radiação transmitida não chegou a representar uma diferença expressiva, embora difira do comportamento do brise horizontal que registrou para esse período sua maior eficiência. Nesse caso, é a influência da proteção solar que reduz o aporte de radiação e não o ângulo de incidência.

Da mesma forma, os ângulos de incidência são elevados nos horários de início e final do dia, quando os raios solares estão mais próximos do horizonte, e incidem de forma rasante sobre a fachada com orientação norte, além da intensidade da radiação solar ser menor, o que se refletiu nos resultados com valores próximos a zero. Os menores ângulos de incidências registrados, para as situações de ensaios, ocorreram nos horários das 9 e 15hs com ângulos em torno de 50^0.

Para os sistemas com proteção solar, independente do tipo de vidro, foram registrados dados de radiação transmitida abaixo de 100W/m^2, sendo que para o brise horizontal os houve uma constância nos valores registrados ao logo do dia, demonstrando uma uniformidade de comportamento do sistema. Outro aspecto é que para essa tipologia observou-se maior influência da radiação difusa nos resultados obtidos, em função do sombreamento proporcionado.

5 CONCLUSÕES

Na montagem experimental foi verificada a influência da variação do ângulo de incidência da radiação solar e a interação dos elementos construtivos constituintes do sistema de abertura em ensaio.

Os resultados para os sistemas que contavam com dispositivos externos de proteção solar comprovam o efeito combinado dos elementos, bem como as diferenças de comportamento das tipologias dos brises e vidro. Destaca-se que ocorreram situações em que um aspecto se sobrepõe aos demais: em algumas situações o ângulo de incidência exerce maior influência sobre os resultados, em outras o sombreamento é o fator mais significativo.

Dessa forma, este trabalho contribui para a compreensão e avaliação de sistemas de abertura in loco, com a possibilidade de aplicação do método em edificações existentes, visando obtenção dados reais para uma multiplicidade de dispositivos de sombreamento externos, nas mais diversas orientações.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE handbook of fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 2009.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO9050**: Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. Geneva, 2003a.

_____. **ISO15099**: Thermal performance of windows, doors and shading devices – detailed calculations. Geneva, 2003b.

JIS JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. **JIS A 1422**: Simplified test method for determining shading coefficient of shading devices. Tokyo, 1982.

KAPUR, N.K. **A comparative analysis of the radiant effect of external sunshades on glass surface temperatures**. In Solar Energy 77, pp. 407-419. London: Elsevier, 2004.

KLEMS, J. H.; WARNER, J. L.; KELLEY, G. O. **A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration systems.** (report). Berkeley: LBL, 1995.

NFRC NATIONAL FRENESTRATION RATING COUNSIL. **NFRC 200**: Procedure for Determining Fenestration Product Solar Heat Gain Coefficient and Visible Transmittance at Normal Incidence. Greenbelt, 2010a. Disponível em: http://www.nfrc.org/, Acesso em: 26 ago. 2011.

_____. **NFRC 201**: Procedure for Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods. Greenbelt, 2010b. Disponível em: http://www.nfrc.org/, Acesso em: 26 ago. 2011.

_____. **NFRC 300**: Test Method for Determining the Solar Optical Properties of Glazing Materials and Systems. Greenbelt, 2010c. Disponível em: http://www.nfrc.org/, Acesso em: 26 ago. 2011.

SANTOS, J.C.P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação sola**r. São Carlos SP, 2002. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO REGULAMENTO BRASILEIRO[1]

INVIDIATA, Andrea (1); SOUSA, Raquel Fernandes de (2); MELO, Ana Paula (3); FOSSATI, Michele (4); LAMBERTS, Roberto (5)

(1) UFSC, e-mail: a.invidiarta@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: raquelfersousa@gmail.com; (3) UFSC, e-mail: a.pmelo@posgras.ufsc.br; (4) UFSC, e-mail: michele.fossati@ufsc.br; (5) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

A proposta desta pesquisa é avaliar o desempenho termo energético de uma edificação de interesse social, através do método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), com diferentes combinações de materiais construtivos, em três zonas bioclimáticas brasileiras: Curitiba - Zona Bioclimática 1, Florianópolis - Zona Bioclimática 3 e Salvador - Zona Bioclimática 8. As simulações computacionais foram realizadas no programa de simulação computacional *EnergyPlus.* Para a mesma habitação, foram simuladas diferentes alternativas compostas por uma combinação de paredes, coberturas, absortância térmica solar, tipos de aberturas, áreas de ventilação e sombreamento. Os resultados mostraram que o caso que obteve melhor desempenho energético da envoltória, para a cidade de Curitiba, é com a utilização do isolante térmico e absortância térmica de 0,5 na envoltória, e janelas sem sombreamento. Nas cidades de Florianópolis e Salvador, o caso que obteve melhor desempenho energético é com a utilização de isolante térmico e absortância térmica de 0,3 na envoltória, e sombreamento nas aberturas dos ambientes de permanência prolongada. Ambos os casos apresentaram nível A de eficiência energética na envoltória de acordo com o RTQ-R.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-R. Simulação computacional. *EnergyPlus*.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the thermal performance of a building through building energy simulation according to the Brazilian regulation for Residential Buildings (RTQ-R). Different combinations of building materials applied in three Brazilian bioclimatic zones were considered: Curitiba - Bioclimatic Zone 1, Florianópolis - Bioclimatic Zone 3 and Salvador - Bioclimatic Zone 8. The building energy simulations were carried out in EnergyPlus program. Alternatives consist of a combination of walls, roofs, thermal solar absoptance, windows openings, ventilation areas and shading. Results showed that the case wiht thermal insulation and thermal absorptance of 0.5 in the building envelope, and no shading presented the best result of thermal performance for the city of Curitiba. For Florianópolis and Salvador the case that presented the best thermal performance adopts the use of thermal insulation and

[1]INVIDIATA, Andrea; SOUSA, Raquel Fernandes de; MELO, Ana Paula; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

thermal solar absorptance of 0.3 in the building envelope, and the use of shading. Both cases presented level A in energy efficiency according to the Brazilian regulation.

***Keywords**: Energy efficiency. RTQ-R. Simulation. EnergyPlus.*

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia no Brasil vem crescendo rapidamente nas últimas décadas. Cerca de 49% da energia elétrica é consumida por edificações. Desta, mais de 28% por edificações residenciais (BEN, 2014). Além disso, o déficit habitacional no Brasil é de aproximadamente 5,5 milhões de unidades habitacionais (Brasil, 2011). Por esta razão, o Governo Federal lançou um programa para a construção de habitações de interesse social intitulado "Minha Casa Minha Vida". Através deste projeto, foram construídas mais de 3 milhões de habitações (Paulsen e Sposto, 2013). Porém, para acelerar o processo de construção e reduzir os custos da construção, as edificações de interesse social, tanto multifamiliares quanto unifamiliares, são projetadas utilizando as mesmas caraterísticas construtivas em todo o país. A consequência disso é um baixo nível de eficiência energética das edificações que ao mesmo tempo gera um desconforto térmico interno para o usuário. Inúmeras pesquisas demonstram a necessidade de uma melhoria no projeto de edificações de interesse social (Vieira, et al., 2012; Lima, et al. 2012; Triana et al., 2015; Invidiata et al., 2015). Para obter edificações mais eficientes é fundamental que se projete de acordo com o clima onde a edificação se localiza. Os materiais utilizados na construção também têm uma forte influência sobre as condições de conforto e no consumo energético da edificação. A escolha correta dos materiais construtivos e das estratégias aplicadas na envoltória é fundamental para se projetar edificações mais eficientes e confortáveis.

Para tanto, o objetivo da presente pesquisa é avaliar o desempenho termo energético de diferentes soluções construtivas aplicadas na envoltória de uma edificação unifamiliar de interesse social. O desempenho da edificação é avaliado em três zonas bioclimáticas brasileiras – ZB1, ZB3 e ZB8 – representadas, respectivamente, por Curitiba, Florianópolis e Salvador. As avaliações foram realizadas através do método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012). Os resultados das simulações são expressos em indicadores de conforto térmico (graus-hora para resfriamento) e desempenho energético (consumos relativos para aquecimento e refrigeração). Os indicadores representam o desempenho da envoltória para verão, para inverno e quando refrigerada artificialmente.

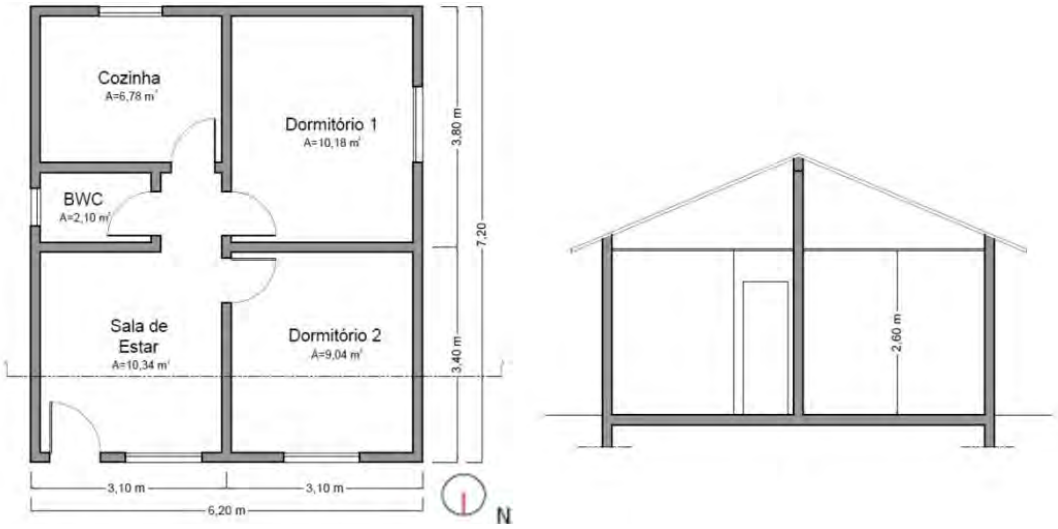
3 MÉTODO

3.1 Estudo de caso

O modelo geométrico do edifício residencial é um projeto padrão de habitação popular unifamiliar (CAIXA, 2007). A edificação, com uma área

de 38,16 m², possui um pavimento em contato direto com o solo e pé-direito de 2,60 m. É composta por uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada: sala e dois dormitórios. A aberturas da sala e do dormitório 2 estão orientadas para o norte (Figura 1).

Figura 1 – Planta baixa e corte do edifício residencial.



Fonte: adaptado CAIXA (2007).

A edificação, no seu caso base (Caso 01), apresenta paredes internas e externas em concreto maciço (10 cm). A cobertura é inclinada em duas águas, com telha cerâmica, estrutura de madeira e forro em PVC. O piso é em concreto maciço com revestimento de piso cerâmico. As janelas são de correr com vidro simples incolor de 3 mm, sem elementos de sombreamento.

Para identificar o melhor desempenho energético da edificação, a partir do caso base, foram elaborados casos com diferentes combinações de componentes da envoltória. As variações de coberturas e paredes são listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variações de coberturas e paredes

Código		**Especificação**	**Transmitância térmica [W/m²K]**	**Capacidade térmica [kJ/m²K]**
Cobertura	C1	Forro em PVC e telha cerâmica	1,92	21
	C2	Forro em PVC, telha cerâmica e isolante térmico	0,70	49
	C3	Laje pré-moldada e telha cerâmica	1,79	185
	C4	Laje pré-moldada, telha cerâmica e isolante térmico	0,60	187
Parede	P1	Concreto maciço	4,40	240
	P2	Blocos de concreto	2,78	209
	P3	Blocos cerâmicos	2,46	152
	P4	Blocos cerâmicos e isolante térmico	0,84	167

Fonte: autores

As variações de absortâncias térmicas, tipos de vidro e sombreamento são listadas na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta os 13 casos avaliados para a cidade de Curitiba.

Tabela 2 – Variações de absortâncias térmicas, vidros e sombreamento

Código		**Especificação**
Absortância térmica	A1	0,70
	A2	0,30
	A3	0,35
	A4	0,50
Vidro	V1	Simples incolor 3 mm
	V2	Duplo incolor 2 x 3 mm
S1		Persianas integradas na sala e nos dormitórios

Fonte: autores

Tabela 3 – Caraterísticas dos diferentes casos na ZB1

Casos	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**13**
Parede	P1	P2	P3	P3	P3	P3	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4
Absortância térmica da parede	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A4	A4	A4
Cobertura	C1	C1	C1	C1	C1	C2	C1	C1	C3	C1	C3	C4	C4
Absortância térmica da cobertura	A1	A1	A1	A3	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A4	A4	A4
Área de ventilação [%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Vidro	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V2	V1	V1	V1
Sombreamento	-	-	-	-	S1	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: autores

A Tabela 4 apresenta os 17 casos avaliados nas cidades de Florianópolis e Salvador.

Tabela 4 – Caraterísticas dos diferentes casos nas ZB3 e ZB8

Casos	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Paredes	P1	P2	P3	P3	P3	P3	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4
Absortância parede	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A2	A2	A2	A2
Cobertura	C1	C1	C1	C1	C1	C2	C1	C1	C3	C1	C3	C1	C1	C3	C3	C4	C4
Absortância cobertura	A1	A1	A1	A3	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A3	A3	A1	A3	A3	A3	A3
Área de vent. [%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	90	50	90	90	50
Vidro	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V2	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Sombrea-mento	-	-	-	-	S1	-	-	-	-	-	-	S1	S1	S1	S1	S1	S1

Fonte: autores

3.2 Aplicação do RTQ-R

Os diferentes casos da edificação residencial foram avaliados pelo método de simulação do RTQ-R (BRASIL, 2012). O RTQ-R classifica as edificações residenciais, de "A" a "E", de acordo com seu nível de eficiência energética. Sendo "A" a classificação atribuída às edificações mais eficientes, e "E" às menos eficientes. O RTQ-R avalia a envoltória e o sistema de aquecimento de água das edificações. Nesta pesquisa, foi avaliado, unicamente, o sistema da envoltória da edificação unifamiliar.

O desempenho termo energético da envoltória da unidade habitacional autônoma (UH) é obtido através de simulações computacionais de acordo com a Zona Bioclimática em que a UH está inserida. A envoltória é avaliada em três diferentes condições:

- desempenho da envoltória para verão, calculado através do indicador de graus-hora para resfriamento (GH_R) de cada ambiente de permanência prolongada. Este parâmetro é calculado para todas as zonas bioclimáticas. As horas de desconforto são obtidas somando-se, no período de um ano, o número de graus-hora acima de 26°C;
- desempenho da envoltória para inverno, calculado através do consumo relativo anual (kWh/m².ano) para aquecimento (CA) de cada ambiente de permanência prolongada. Este parâmetro é calculado apenas para as zonas bioclimáticas frias (Zonas Bioclimáticas 1 a 4);
- desempenho da envoltória quando condicionada artificialmente, calculado através do consumo relativo anual (kWh/m².ano) para refrigeração (CR) de cada dormitório (excluindo-se dormitórios de serviço) para todas as zonas bioclimáticas. Este parâmetro tem apenas caráter informativo, ou seja, não é utilizado para a classificação final da habitação.

Todos os parâmetros de simulação utilizados para a análise da eficiência energética da edificação são referentes ao RTQ-R (BRASIL, 2012). O programa de simulação utilizado foi o *EnergyPlus* versão 8.1 (DOE, 2013).

4 RESULTADOS

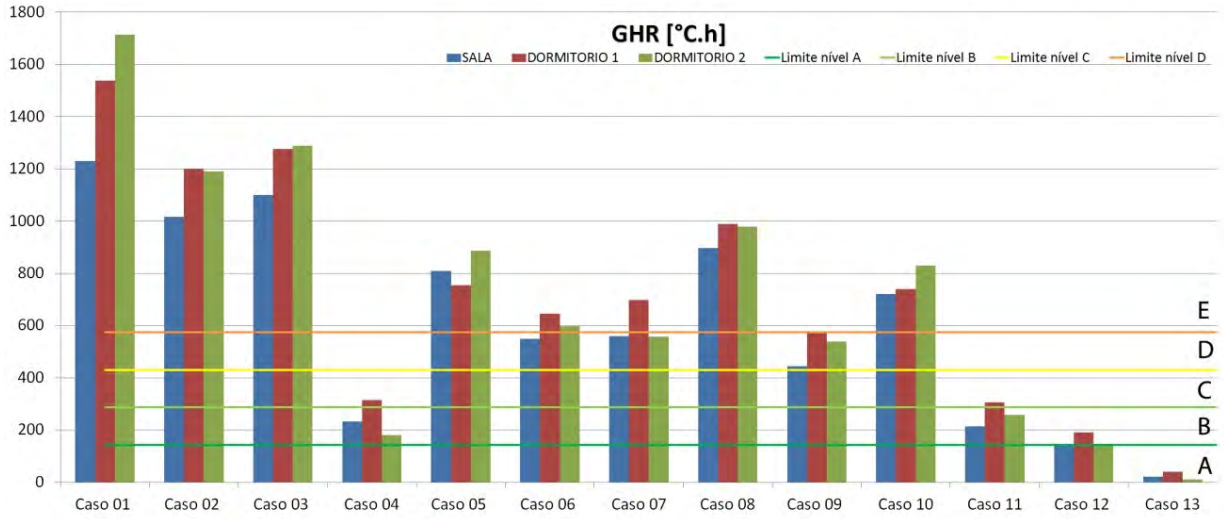
4.1 Zona Bioclimática 1 – Curitiba

A Figura 2 apresenta os resultados da envoltória para verão para a cidade de Curitiba. O Caso 01 obteve o pior desempenho. A sua envoltória é composta por: paredes de concreto maciço com alta absortância térmica solar (0,70); cobertura de forro de PVC e telha cerâmica, também com alta absortância térmica solar (0,70); e aberturas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. O caso que obteve melhor desempenho foi o Caso 13, tendo como características principais da envoltória: paredes em blocos cerâmicos com isolante térmico; cobertura de laje pré-moldada com isolante térmico e telha cerâmica; e aberturas de

vidro simples com área de ventilação de 50%, sem sombreamento. As absortâncias térmicas das paredes e coberturas atribuídas ao Caso 13 possuem valor de 0,50.

A redução dos graus-hora do Caso 13, em relação ao pior caso para resfriamento (Caso 01), foi de 4.410 GH_R (98,42%). O segundo caso com melhor desempenho foi o Caso 12. Suas características são idênticas às do Caso 13, com exceção das paredes que, neste caso, não possuem isolante térmico. Seu desempenho reduziu 4.008 GH_R (89,44%) em relação ao pior caso.

Figura 2 – GH_R dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1



Fonte: autores

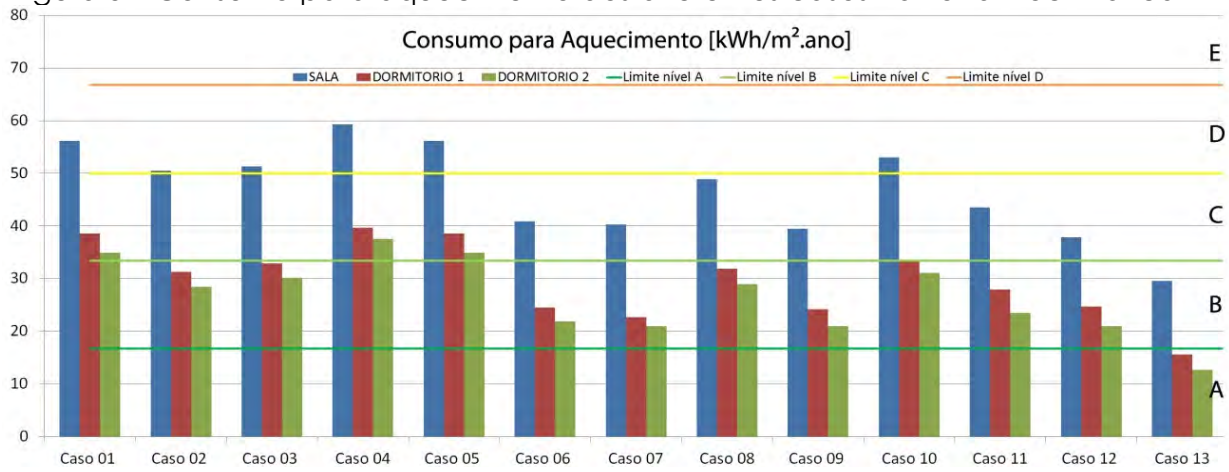
A Figura 3 apresenta os resultados de consumo para aquecimento nos diferentes casos simulados na cidade de Curitiba. O caso que obteve pior desempenho, Caso 04, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de forro de PVC com telha cerâmica e janelas com vidro simples, área de ventilação de 50% e sem sombreamento. A absortância térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde à 0,70. O caso que obteve melhor desempenho foi o Caso 13.

Em relação ao pior caso para aquecimento (Caso 04), o Caso 13 apresentou uma redução de 78,7 kWh/m².ano (57,61%) do consumo. O Caso 12, segundo melhor caso, obteve uma redução de 53 kWh/m².ano (38,80%) do consumo para aquecimento quando comparado com o pior caso.

A Figura 4 apresenta os resultados de consumo para refrigeração nos diferentes casos simulados na cidade de Curitiba. O caso de pior desempenho, Caso 09, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica, janelas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. A absortância térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde a 0,70. O caso que obteve melhor desempenho para refrigeração foi o Caso 04.

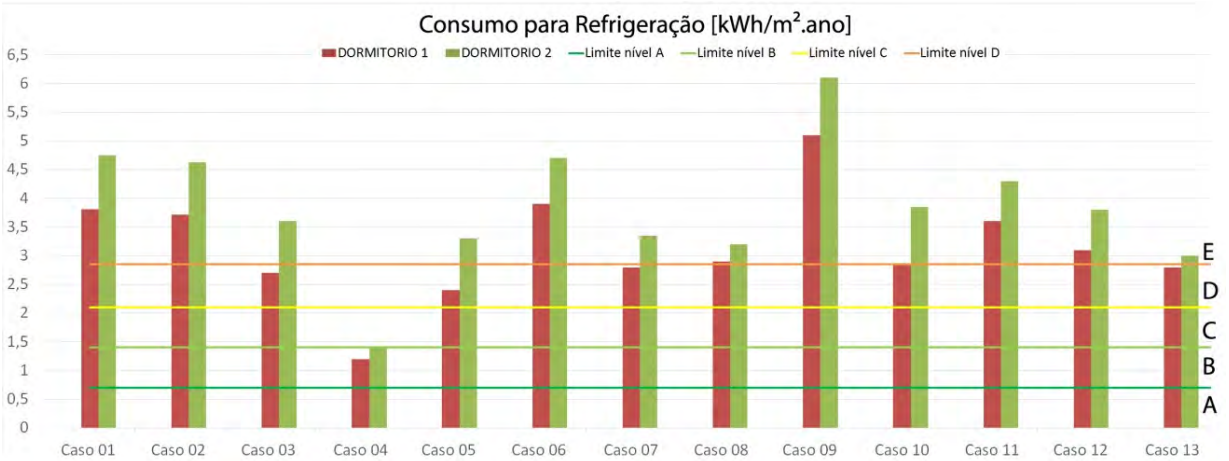
Em relação ao pior caso para refrigeração (Caso 09), o Caso 04 obteve redução de 8,6 kWh/m².ano (76,79%) do consumo. O Caso 05, segundo melhor caso, tem suas características idênticas às do Caso 09, com exceção da cobertura que é composta por forro de PVC e telhas cerâmicas. O Caso 05 apresentou uma redução de 5,5 kWh/m².ano (49,11%) do consumo para refrigeração quando comparado com o pior caso.

Figura 3 – Consumo para aquecimento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1



Fonte: autores

Figura 4 – Consumo para resfriamento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1



Fonte: autores

A Tabela 3 apresenta a classificação energética dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1. Os casos que obtiveram os melhores desempenhos (Casos 09, 11, 12 e 13) possuem suas coberturas compostas por laje pré-moldada e telha cerâmica. O Caso 13, único que obteve nível A na classificação energética final da envoltória, adota isolamento térmico em toda envoltória e absortância térmica no valor de 0,50. O Caso 12, segundo melhor na classificação geral, têm isolamento apenas na cobertura. Os Casos 09 e 11 não possuem isolamento térmico.

Tabela 5 – Nível de eficiência energética dos diferentes casos - Zona Bioclimática 1

ZB1 Curitiba	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13
Envoltória para Verão	E	E	E	B	E	E	D	E	D	E	B	A	A
	1,0	1,0	1,0	3,7	1,0	1,3	1,7	1,0	2,0	1,0	3,7	4,7	5,0
Envoltória para Inverno	C	C	C	C	C	B	B	B	B	C	B	B	A
	2,7	3,3	3,3	2,7	3,0	3,7	3,7	3,7	3,7	3,3	3,7	3,7	4,7
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	E	E	B	E	E	E	E	E	E	E	E	E
	1,0	1,0	1,5	4,0	1,47	1,0	1,47	1,0	1,0	1,47	1,0	1,0	1,47
Envoltória geral	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	B	B	A
	2,5	3,1	3,1	2,7	2,8	3,47	3,49	3,4	3,5	3,1	3,7	3,7	4,7

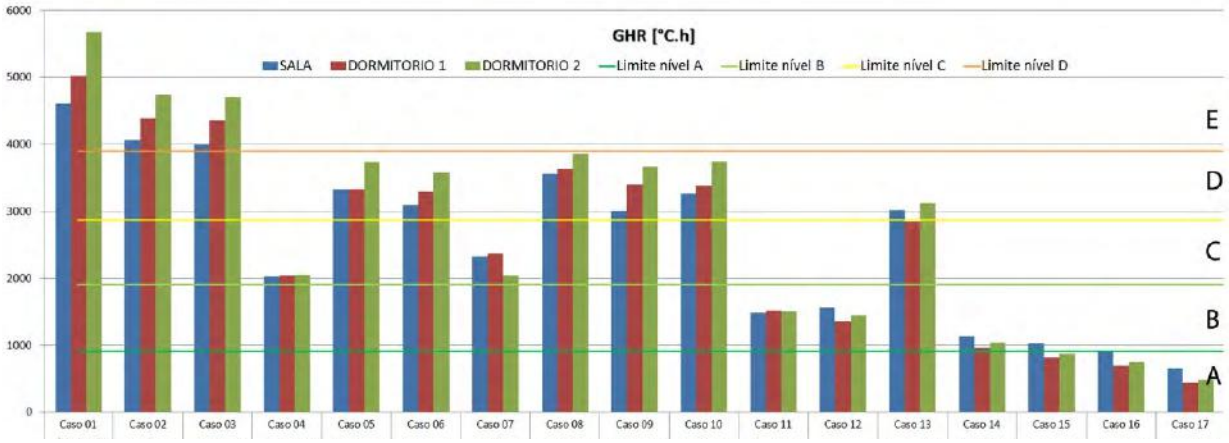
Fonte: autores

4.2 Zona Bioclimática 3 – Florianópolis

A Figura 5 apresenta os resultados da envoltória para verão para a cidade de Florianópolis. O Caso 01 obteve o pior desempenho. A sua envoltória é composta por: paredes de concreto maciço com alta absortância térmica (0,70); cobertura de forro de PVC e telha cerâmica, também com alta absortância térmica (0,70); e aberturas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. O Caso 17 obteve o melhor desempenho, tendo como características principais da envoltória: paredes em blocos cerâmicos com isolante térmico; cobertura de laje pré-moldada com isolante térmico e telha cerâmica; aberturas de vidro simples com área de ventilação de 90% com persianas integradas; e absortância térmica de 0,30.

A redução dos graus-hora do Caso 17, em relação ao pior caso para resfriamento (Caso 01), foi de 13.721 GH_R (89,63%). O segundo caso que obteve melhor desempenho para resfriamento foi o Caso 16, com redução de 12.947 GH_R (84,58%) quando comparado com o Caso 01.

Figura 5 – GH_R dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3



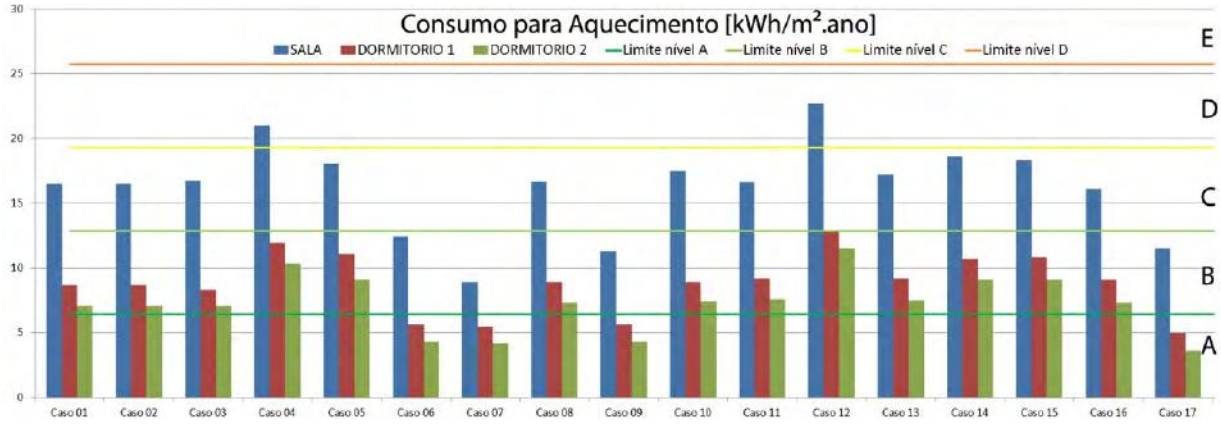
Fonte: autores

A Figura 6 apresenta os resultados de consumo para aquecimento nos diferentes casos simulados na cidade de Florianópolis. O caso que obteve pior desempenho, Caso 12, tem sua envoltória composta por paredes de

blocos cerâmicos, cobertura de forro de PVC com telha cerâmica e janelas com vidro simples, área de ventilação de 50% com persianas integradas. A absortância térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde à 0,30 e 0,35, respectivamente. O caso que obteve melhor desempenho para aquecimento foi o Caso 07. Sua envoltória é composta por paredes de blocos cerâmicos com isolante térmico, cobertura de forro de PVC com telha cerâmica, janelas de vidro simples e área de ventilação de 50%, sem sombreamento. A absortância térmica das paredes e cobertura corresponde à 0,70.

Em relação ao pior caso para aquecimento (Caso 12), o Caso 07 obteve redução de 28,6 kWh/m².ano (60,51%) do consumo. O Caso 17, segundo melhor caso, obteve uma redução de 27 kWh/m².ano (57,32%) do consumo para aquecimento quando comparado com o pior caso.

Figura 6 – Consumo para aquecimento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3



Fonte: autores

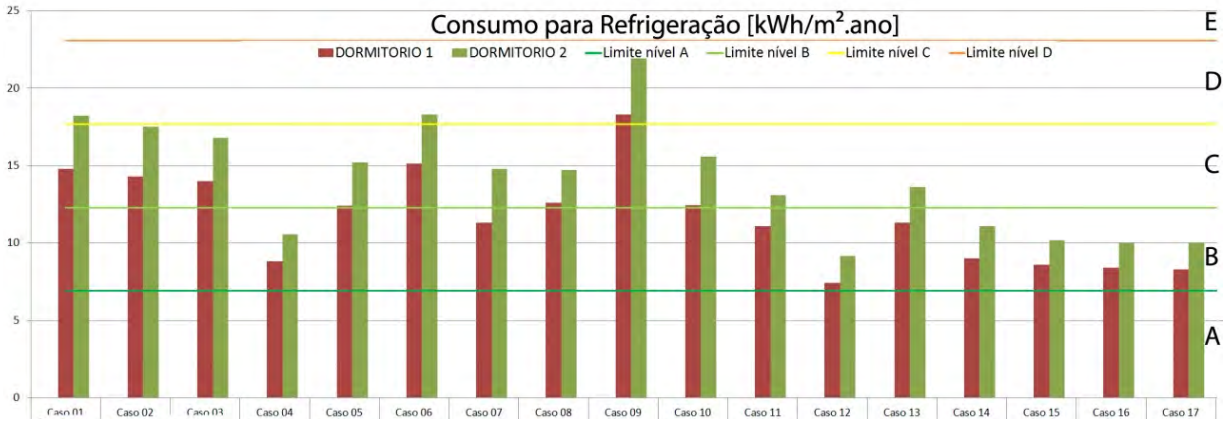
A Figura 7 apresenta os resultados de consumo para refrigeração da edificação unifamiliar nos diferentes casos na cidade de Florianópolis. O caso de pior desempenho, Caso 09, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica e janelas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. A absortância térmica atribuída às paredes e à cobertura corresponde à 0,70. O caso que obteve melhor desempenho foi o Caso 12.

Em relação ao pior caso para refrigeração (Caso 09), o Caso 12 obteve redução de 23,6 kWh/m².ano (58,83%) do consumo. O Caso 17, segundo melhor caso, tem suas características semelhantes às do Caso 12, porém, às suas paredes e à sua cobertura é adicionado isolante térmico. O Caso 17 obteve uma redução de 21,9 kWh/m².ano (54,55%) do consumo para refrigeração quando comparado com o pior caso.

A Tabela 5 apresenta a classificação energética dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3. Os seis casos com melhores desempenhos (Casos 11, 12 e 14 ao 17) possuem valor de absortância térmica de 0,30. O Caso 17, único que obteve nível A na classificação energética final da envoltória, adota o isolante térmico em toda envoltória. Os Casos 15 e 16, segundos melhores

casos, possuem também aberturas de ventilação com 90% da área do vão da janela. Os piores casos, nível D, possuem alta absortância na envoltória, janelas não sombreadas e coberturas de telha cerâmica com forro de PVC.

Figura 7 – Consumo para resfriamento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3



Fonte: autores

Tabela 6 – Nível de eficiência energética dos diferentes casos – Zona Bioclimática 3

ZB3 Florianópolis	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15	Caso 16	Caso 17
Envoltória para Verão	E	E	E	C	D	D	C	D	D	D	B	B	D	B	A	A	A
	1,0	1,0	1,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	2,3	4,0	4,7	4,7	5,0
Envoltória para Inverno	B	B	B	C	B	A	A	B	A	C	B	C	B	B	B	B	A
	3,7	3,7	3,7	3,3	3,7	4,7	4,7	3,7	4,7	2,6	3,7	3,0	3,7	3,7	3,7	3,7	4,7
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	C	C	B	C	D	C	C	D	C	C	B	C	B	B	B	B
	2,5	3,0	3,0	4,0	3,00	2,5	3,47	3,0	2,0	3,00	3,5	4,0	3,47	4,00	4,0	4,0	4,0
Envoltória geral	D	D	D	C	C	C	B	C	C	D	B	B	C	B	B	B	A
	2,0	2,0	2,0	3,1	2,6	2,95	3,59	2,6	3,0	2,2	3,9	3,6	2,8	3,9	4,3	4,3	4,9

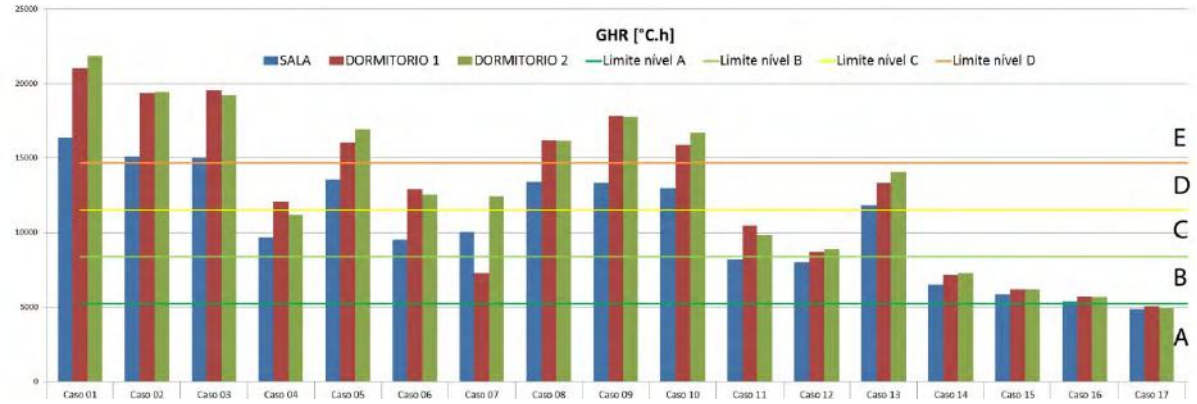
Fonte: autores

4.2 Zona Bioclimática 8 – Salvador/BA

A Figura 8 apresenta os resultados da envoltória para verão na cidade de Salvador. O Caso 01 obteve o pior desempenho. A sua envoltória é composta por: paredes de concreto maciço com absortância térmica de 0,70; cobertura de forro de PVC e telha cerâmica, também com alta absortância térmica (0,70); e aberturas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. O Caso 17 obteve o melhor desempenho.

O Caso 17 atingiu nível A em todos os ambientes de permanência prolongada na envoltória para verão (resfriamento). A redução dos graus-hora, em relação ao pior caso (Caso 01) para resfriamento, foi de 44.474 GH_R (75%). O segundo caso que obteve melhor desempenho para resfriamento foi o Caso 16. Suas características são semelhantes às do Caso 17, porém, suas paredes não possuem isolante térmico e suas aberturas possuem 90% de área de ventilação. O Caso 16 obteve uma redução de 42.483 GH_R (71,7%) quando comparado com o Caso 01.

Figura 8 – GHR dos diferentes casos na Zona Bioclimática 8



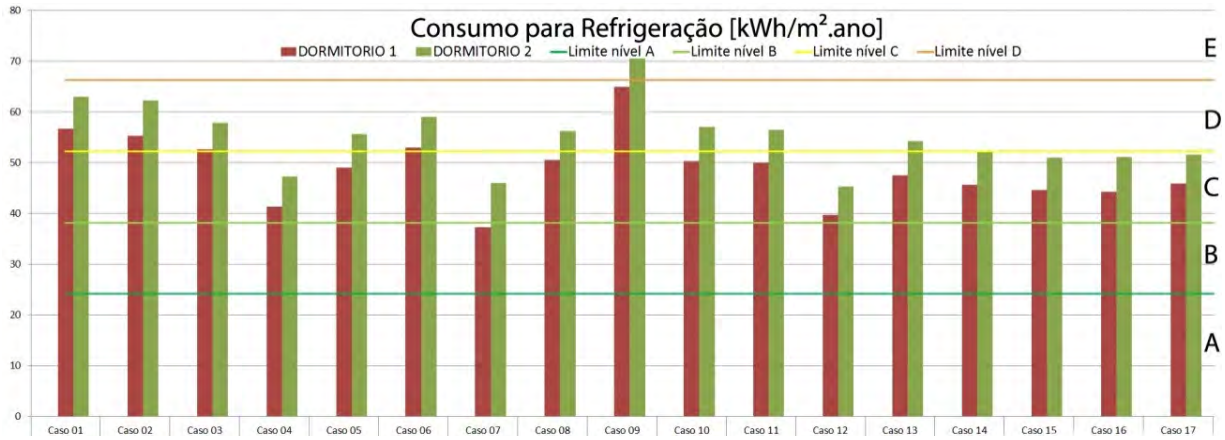
Fonte: autores

A Figura 9 apresenta os resultados de consumo para refrigeração nos diferentes casos simulados na cidade de Salvador. O caso de pior desempenho, Caso 09, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica e janelas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. A absortância térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde à 0,70. O caso que obteve melhor desempenho para refrigeração foi o Caso 07, cujas características principais da envoltória são: paredes de blocos cerâmicos com isolante térmico; cobertura de forro de PVC e telha cerâmica; janelas com vidro simples e área de ventilação de 50%, sem sombreamento; e absortância térmica de 0,70.

Em relação ao pior caso para refrigeração (Caso 09), o Caso 07 obteve redução de 52,3 kWh/m².ano (38,57%) do consumo. O Caso 12, segundo melhor caso, obteve uma redução de 50,6 kWh/m².ano (37,32%) do consumo para refrigeração quando comparado com o pior caso.

A Tabela 6 apresenta a classificação energética dos diferentes casos na Zona Bioclimática 8. Os quatro casos com melhor desempenho (Casos 14 a 17) possuem absortâncias térmica de 0,30, persianas integradas às janelas, laje pré-moldada, telha cerâmica na cobertura e paredes compostas por blocos de concreto. O Caso 16, nível de eficiência energética da envoltória B, possui cobertura com isolamento térmico. O Caso 17, único que obteve nível A na classificação energética final da envoltória, adota o uso de isolamento térmico na envoltória. Os casos de pior desempenho, níveis D e E, possuem absortâncias térmica de 0,70 na envoltória.

Figura 9 – Consumo para refrigeração dos diferentes casos na Zona Bioclimática 8



Fonte: autores

Tabela 7 – Nível de eficiência energética dos diferentes casos – Zona Bioclimática 8

ZB8 Salvador	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15	Caso 16	Caso 17
Envoltória para Verão	E	E	E	C	E	D	C	E	E	E	C	C	D	B	B	B	A
	1,0	1,0	1,0	2,7	1,3	2,3	3,0	1,3	1,3	1,3	3,3	3,3	2,0	4,0	4,0	4,0	5,0
Envoltória para Inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	D	D	C	D	D	C	D	E	D	D	C	D	C	C	C	C
	2,0	2,0	2,0	3,0	2,47	2,0	3,47	2,5	1,5	2,47	2,5	3,0	2,47	3,00	3,0	3,0	3,0
Envoltória geral	E	E	E	C	E	D	C	E	E	E	C	C	D	B	B	B	A
	1,0	1,0	1,0	2,7	1,3	2,35	2,96	1,3	1,3	1,3	3,3	3,3	2,0	4,0	4,0	4,0	5,0

Fonte: autores

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresentou a avaliação do comportamento termo energético da envoltória, pelo método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), de uma habitação unifamiliar de interesse social. Foram avaliados diferentes parâmetros construtivos cujas características influenciam na eficiência energética das edificações. Com base nos resultados é possível traçar as seguintes conclusões:

- O Caso 1 (paredes de concreto e cobertura de telha cerâmica, com alta absortância térmica da envoltória) apresentou o pior desempenho térmico da envoltória para verão para todas as zonas bioclimáticas analisadas;
- O caso 13 (uso de isolante na envoltória e sem uso de sombreamento) apresentou o melhor desempenho térmico da envoltória para verão para a Zona Bioclimática 01;
- O caso 17 (uso de isolante na envoltória e uso de persianas) apresentou o melhor desempenho térmico da envoltória para verão para a Zona Bioclimática 03 e 08;
- Com relação ao consumo de aquecimento, o Caso 13 e o Caso 07 (uso de isolante nas paredes e área de ventilação de 50%,) apresentaram o

melhor desempenho térmico da envoltória para as cidades de Curitiba e Florianópolis, respectivamente;

- Com relação ao consumo de refrigeração, o Caso 04 (paredes de blocos cerâmicos, cobertura com telha cerâmica, área de ventilação de 50% e sem sombreamento), Caso12 (paredes de blocos cerâmicos, cobertura com telha cerâmica, área de ventilação de 50% com persianas integradas) e o Caso 07 apresentaram o melhor desempenho térmico da envoltória para as cidades de Curitiba, Florianópolis e Salvador, respectivamente;
- Todos os melhores casos, que apresentaram o melhor desempenho térmico da envoltória para verão, alcançaram nível A de eficiência energética na envoltória de acordo com o RTQ-R;
- Envoltória com baixa absortância, janelas com grande abertura para ventilação e persianas integradas, aliados à baixa transmitância térmicas nas paredes e alta capacidade térmica na cobertura, reduzem a necessidade de condicionamento de ar nas zonas bioclimáticas de clima predominantemente quente;
- Nas regiões de clima predominantemente frio, cujo ganho de calor reduz o consumo para aquecimento, justificam-se aberturas sem sombreamento, de menor área de ventilação, e absortâncias médias.

REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. BEN - **Balanço Energético Nacional.** Brasília, DF, 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 13 dez. 2014.

_____.MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit habitacional no Brasil 2008.** Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.cidades.gov. br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/DHB_2008_Final_2011.pdf>. Acesso em: 05 jun. 14.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.

CAIXA. **Cadernos CAIXA Projeto padrão** – casas populares 42m². 2007. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/download/>. Acesso em: 20 nov. 2014.

DOE – Department of Energy. **Programa EnergyPlus – versão 8.1.** Califórnia, EUA, 2013. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 19 nov. 2013.

PAULSEN, J.; SPOSTO, R. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "MY HOUSE MY LIFE". **Energy and Buildings**, v.57, n. 8, p. 95-102, 2013.

INVIDIATA, A.; FOSSATI, M.; ORDENES, M.M.; LAMBERTS, R. **Improved the energy efficiency in brazilian social housing with the contribution of solar decathlon**. PLEA 2015 Conference on Passive and Low Energy Architecture 31. Bolonha, Itália, 2015.

LIMA G.L.F.; PEDRINI, A.; ALVES, A.F.M. Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de Parnamirim/RN com base no método de simulação do RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012. **Anais...** Juiz de Fora, ANTAC.

TRIANA, A.M.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 524-541, 2015.

VIEIRA, A. S.; BIGI, A.C.; BITTENCOURT, D. L.; GHISI, E.; DE FREITAS, M. N. Identificação de estratégias para aumentar a eficiência energética de habitações de interesse social localizadas na grande Florianópolis: aplicação do RTQ-R. 3° Workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência energética em habitações de interesse social, 2012. **Anais...** Florianópolis.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DE 411 CIDADES BRASILEIRAS BASEADO EM INDICADORES DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NATURALMENTE VENTILADAS[1]

INVIDIATA, Andrea (1); MELO, Ana Paula (2); VERSAGE, Rogério (3); SOUSA, Raquel Fernandes de (4); LAMBERTS, Roberto (5)

(1) UFSC, e-mail: a.invidiarta@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: a.pmelo@posgrad.ufsc.br; (3) UFSC, e-mail: rogerio@versage.com.br; (4) UFSC, e-mail: raquelfersousa@gmail.com; (5) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

A presente pesquisa cientifica tem como objetivo analisar o agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. Para simular o uso de diferentes estratégias de projeto passivas, foram elaborados nove casos distintos de uma edificação residencial unifamiliar de interesse social. Estes casos são avaliados, exclusivamente, quando naturalmente ventilados, através do programa de simulação *EnergyPlus*. O indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e aquecimento foi analisado para 411 cidades brasileiras, de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Com base nos resultados, nota-se que somente algumas das estratégias de projeto passivas utilizadas influenciam de forma significativa no comportamento térmico da edificação. Além disso, observou-se a possibilidade de agrupamento do atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) em um total de cinco zonas bioclimáticas para edificações residenciais naturalmente ventiladas, e do zoneamento proposto por Roriz (RORIZ, 2014) também em um total de cinco zonas climáticas.

Palavras-chave: Zoneamento bioclimático brasileiro. Indicador de desempenho. Edificações residenciais. RTQ-R.

ABSTRACT

The aim of this scientific research is to analyse the grouping of 411 Brazilian cities based on performance indicators of naturally ventilated residential buildings. Different cases of a single-family residential building of social interest were elaborated to simulate the use of different passive design strategies. All cases are naturally ventilated and are evaluated through the EnergyPlus simulation program. The performance indicator cooling and heating degree-hour was analysed for 411 Brazilian cities, according to the current bioclimatic zoning (ABNT, 2005) and the climatic zoning proposed by Roriz (2014). Based on results, it is noted that only some passive design strategies considered present a significantly influence on building thermal behaviour. Moreover, it was noticed the possibility of grouping the current bioclimatic zoning (ABNT, 2005) in a total of five bioclimatic zones for naturally ventilated residential buildings, and also in a total of five climatic zones proposed by Roriz (RORIZ, 2014).

***Keywords**: Brazilian bioclimatic zoning. Performance indicator. Residential buildings. RTQ-R.*

[1] INVIDIATA, Andrea; MELO, Ana Paula; VERSAGE, Rogerio; SOUSA, Raquel Fernandes de; LAMBERTS, Roberto. Análise de agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, muitos países vêm pesquisando e analisando a definição dos zoneamentos bioclimáticos da sua região, com o objetivo de dar suporte aos projetos arquitetônicos das edificações. As condições climáticas externas influenciam diretamente a maneira de se projetar e ao mesmo tempo a eficiência energética dos edifícios. Mesmo assim os atuais zoneamentos climáticos mundiais se baseiam em variáveis climáticas para definir o zoneamento construtivo de cada país (CHINA, 2014; ITALIA, 1993; DOE, 2004). É importante destacar para o fato de que, a relação número de zonas por área de território não deveria se diferenciar para algumas regiões.

Na Austrália, o Departamento de Meteorologia desenvolveu o zoneamento bioclimático com base nas temperaturas de bulbo seco e úmido, dividindo o território em oito zonas (GREENHOUSE OFFICE, 2000). Para a definição do zoneamento bioclimático chinês, foram utilizadas cinco variáveis climáticas: temperatura de bulbo seco e úmido, radiação solar global e difusa e a velocidade e direção do vento. Os critérios usados para a classificação de cada zona bioclimática foram: temperatura média mensal e os graus-dia (CHINA, 2014; LAM et al., 2006). Na Índia, o território é dividido em seis zonas bioclimáticas. Através dos dados levantados em 233 estações climáticas, foi possível dividir o território de acordo com cinco variáveis climáticas: radiação solar, temperatura média, umidade do ar, precipitações e velocidade do vento (MAZUMDAR, 2002). Para a definição do zoneamento bioclimático na Itália, que divide o território em seis zonas climáticas, foi adotada como variável de análise os graus-dias para aquecimento. Dependendo da temperatura de bulbo seco média diária externa da cidade analisada, os graus-dias de aquecimento foram calculados com temperaturas abaixo de 20°C (ITALIA, 1993). No início de 2000, pesquisadores do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2004) elaboraram um zoneamento climático simplificado, composto por oito zonas climáticas, baseado em dados de temperatura. As zonas são também divididas em três regimes de umidade A, B, e C. Assim, o território é dividido em até 24 zonas climáticas. Na América do Sul, o Chile é divido em sete regiões, adotando a variável de graus-dia de aquecimento (DEPARTMENT OF HOUSINGAND URBAN PLANNING, 2012). Enfim, na Turquia, a norma TS 825 (Heating Energy Conservation Standard for Buildings in Turkey, 1998) divide o território turco em quatro zonas bioclimáticas baseada no uso de graus-dias. Porém, a pesquisa realizada por YILMAZ (2007) apontou que o atual zoneamento não corresponde um desempenho energético uniforme das edificações, recomendando a elaboração de um novo zoneamento climático do país.

No Brasil, a Norma de "Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social" (ABNT, 2005) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro com base principalmente em três dados climáticos: as médias mensais das temperaturas máximas, as médias mensais das temperaturas mínimas, e as médias mensais da umidade relativa do ar. O zoneamento bioclimático brasileiro divide o território em oito zonas

bioclimáticas (ZB), onde a ZB1 é a zona bioclimática mais fria e a ZB8 a mais quente. Além disso, a norma ABNT-NBR 15220-3 (2005) apresenta recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social de até cinco pavimentos para cada zona bioclimática. Nos últimos anos, várias pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar o atual zoneamento bioclimático brasileiro (ZARATE et al., 2008; MARTINS et al., 2012; RORIZ, 2014).

No estado de Minas Gerais, Zárate et al. (2008) desenvolveram um estudo para aprimorar os processos de interpolação de dados climáticos na classificação bioclimática da Norma NBR-15220-3. Martins et al. (2012), avaliaram o atual zoneamento bioclimático na região do semiárido nordestino. Os autores compararam o desempenho de uma edificação padrão em duas cidades localizadas na zona bioclimática 8: Maceió (quente-úmido) e Pão de Açúcar (semiárido). Os resultados demostraram que, mesmo pertencendo a mesma zona bioclimática, as duas cidades apresentaram um desempenho muito diferente. Roriz (2012a; 2012b; 2014), desenvolveu a proposta de um novo zoneamento que divide o Brasil em um total de 24 grupos (G), onde a G1 representa a zona climática mais fria e a G24 a zona climática mais quente. A nova proposta baseia-se na utilização de quatro parâmetros para classificar os climas: média anual da temperatura do ar; diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal; média anual da amplitude térmica; e diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal.

Como se pode observar, os principais países do mundo apontam, para definição do próprio zoneamento, o uso de variáveis climáticas locais. O objetivo da presente pesquisa é analisar o agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indiciadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. O indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e aquecimento será analisado para 411 cidades brasileiras, de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014).

2 MÉTODO

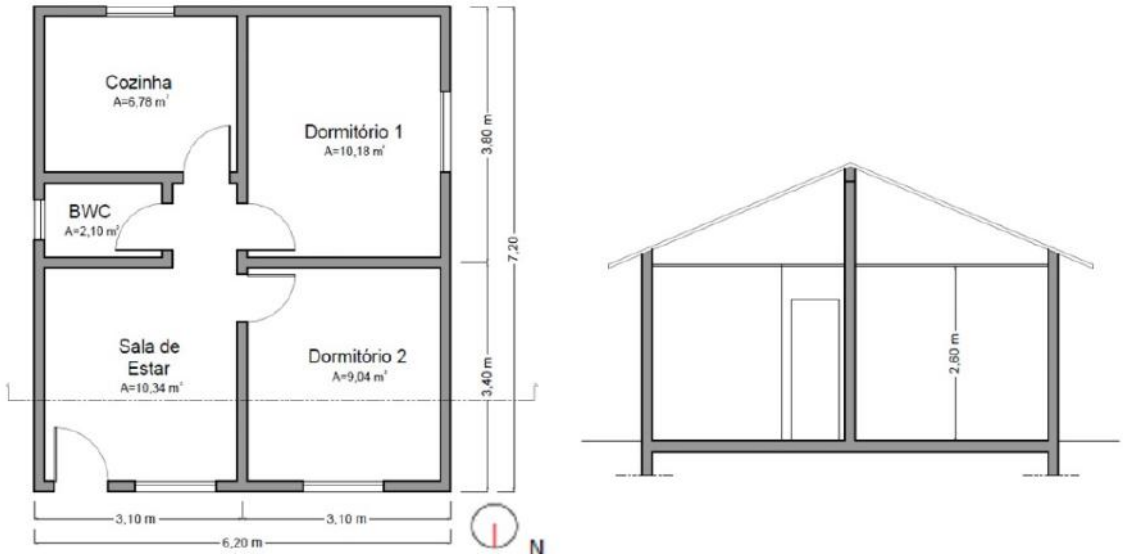
2.1 Estudo de caso

O modelo geométrico do edifício residencial é um projeto padrão de habitação popular unifamiliar (CAIXA, 2007). A edificação, com uma área de 38,16 m^2, possui um pavimento em contato direto com o solo e pé-direito de 2,60 m. A edificação é composta de uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada: sala e dois dormitórios (Figura 1).

Para avaliar diferentes estratégias de projeto na edificação e consequentemente diferentes níveis de eficiência energética de acordo com o Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012), foram elaborados nove diferentes casos com base na edificação residencial. A edificação, no seu caso base,

apresenta paredes internas e externas em blocos de alvenaria com reboco em argamassa (U=2,46W/m²k; Ct= 150kJ/ m²k; a= 0,3). A cobertura é inclinada em duas águas, com telha cerâmica, estrutura de madeira e forro em PVC (U=1,75W/m²k; Ct= 21kJ/ m²k; a= 0,35). O piso é em concreto maciço com revestimento em piso cerâmico. As janelas são de correr com vidro simples incolor de 3 mm, sem elementos de sombreamento.

Figura 1 – Planta baixa da edificação residencial.



Fonte: adaptado CAIXA (2007).

De acordo com o caso base (Caso 1) foram elaboradas oito diferentes combinações para avaliar a influência de diferentes estratégias bioclimáticas, como: inércia térmica, isolamento térmico, sombreamento e ventilação natural. As diferentes combinações construtivas da envoltória são apresentadas abaixo.

Os diferentes casos da edificação residencial foram avaliados exclusivamente quando naturalmente ventilados. Somente um caso foi avaliado sem o uso da ventilação natural, considerando apenas infiltração de ar, para simular um diferente comportamento de uso da edificação pelos usuários. Os dados de entrada para os casos com ventilação natural e infiltração foram baseados no RTQ-R (BRASIL, 2012). A Tabela 1 apresenta as caraterísticas térmicas da envoltória dos nove casos analisados.

- Caso 2: alta absortância solar das paredes e cobertura: 0,7;
- Caso 3: venezianas integradas nas aberturas dos três ambientes de permanência prolongada, com temperatura de controle de 20°C;
- Caso 4: inércia térmica (tijolos maciços de 20 cm);
- Caso 5: sem utilização de ventilação natural, considerando unicamente a taxa de infiltração;
- Caso 6: com paredes externas leves;
- Caso 7: uso de isolamento térmico nas paredes externas e cobertura com EPS 5 cm (localizado na camada externa do componente

construtivo);

- Caso 8: paredes externas leves com isolamento térmico com EPS com espessura de 5 cm (localizado na camada externa do componente construtivo);
- Caso 9: paredes leves isoladas e cobertura isolada com EPS com espessura de 5 cm (localizado na camada externa do componente construtivo).

Tabela 1 – Características térmicas da envoltória dos nove casos avaliados.

CASO	Cobertura					Parede					Piso			Aberturas			Ventilação [°C]	Estratégias bioclimáticas
	Tipo	Isol.*	U [W/(m²K)]	Ct [kJ/(m²K)]	α	Tipo	Isol.*	U [W/(m²K)]	Ct [kJ/(m²K)]	α	Tipo	Isol.	U [W/(m²K)]	Vidro	Tipo	Venezianas		
1	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural
2	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.7	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.7	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural + Ganho Solar
3	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	sim T> 20°C	T>20°C	Ventilação Natural + Sombreamento
4	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos maciço cerâmicos	Não	2.44	320	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Inércia Termica + Ventilação Natural
5	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	Não	Sem Ventilação
6	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Paredes em OSB* 1,8 cm	Não	2.18	44	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural + Parede Leve
7	Telha de barro forro PVC	Lã de rocha 5 cm	0.65	22	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Lã de rocha 5 cm	0.8	151	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Lã de rocha 5 cm	0.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural+ Parede Leve + Isol.*
8	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Paredes em OSB* 1,8 cm	Lã de rocha 5 cm	0.65	44	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural+ Parede Leve + Isol.*
9	Telha de barro forro PVC	Lã de rocha 5 cm	0.65	22	0.35	Paredes em OSB* 1,8 cm	Lã de rocha 5 cm	0.65	44	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Lã de rocha 5 cm	0.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural+ Parede Leve + Isol.*

* Isol= Isolamento Térmico OSB= Oriented Strand Board (painel de madeira)

Fonte: autores

2.2 Simulações computacionais

Para analisar o agrupamento das 411 cidades brasileiras com base no indicador de desempenho graus-hora para os nove casos, no atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014), foi utilizado o programa computacional *EnergyPlus*, versão 8.1. Os diferentes casos foram avaliados nos 411 arquivos climáticos elaborados por Roriz (2012), a partir de dados horários, registrados em 411 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 2000 e 2010.

A edificação foi avaliada considerando a ocupação constante de uma família de quatro pessoas. Os dados relativos à ocupação, carga térmica, e

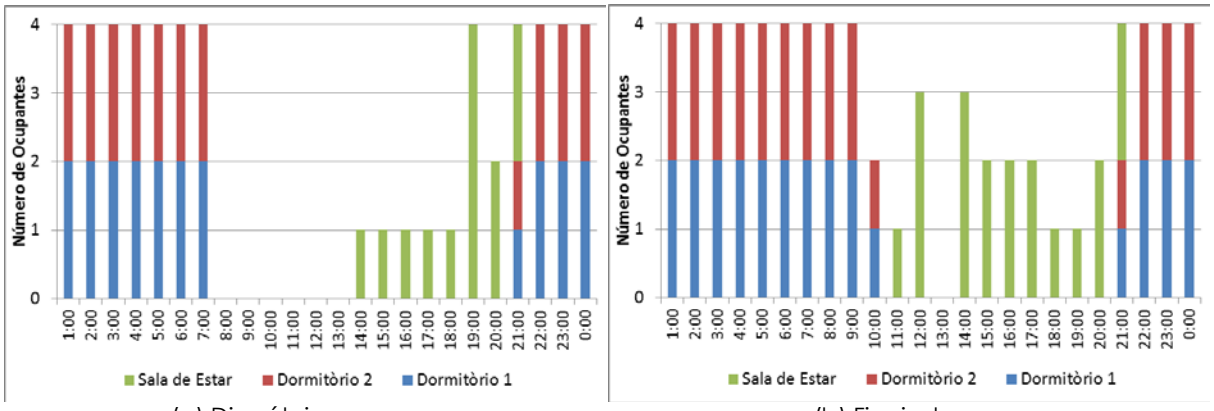
padrão de uso foram baseados no RTQ-R (BRASIL, 2012) e são apresentados na Tabela 2. O padrão de ocupação pode ser observado através da Figura 2.

Tabela 2 – Dados de carga térmica e padrão de ocupação da edificação residencial

Ambiente	Parâmetros		Especificações
Sala	Ocupação		4 pessoas
	Carga térmica interna	Iluminação	6 W/m²
		Equipamentos	1,5 W/m²
		Pessoas	60 W/m²
Dormitórios	Ocupação		2 pessoas
	Carga térmica interna	Iluminação	5 W/m²
		Pessoas	45 W/m²

Fonte: RTQ-R (2012)

Figura 2 – Padrão de ocupação da edificação para os dias úteis e finais de semana.



(a) Dias úteis (b) Finais de semana

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012).

Todos os casos foram avaliados com piso adiabático para facilitar a simulação termo energética das 411 cidades brasileiras.

A variável de saída utilizada para a análise dos dois zoneamentos bioclimáticos é o graus hora. O método de graus hora é em geral, um bom indicador para análise do desempenho térmico de edificações residenciais naturalmente ventiladas, já que considera as condições de conforto do usuário sem o uso de condicionamento artificial (VERSAGE, 2009). O grau hora pode ser definido como o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base ao longo de um ano. Para o desenvolvimento da pesquisa foram analisados dois parâmetros:

- desempenho térmico da edificação no verão: calculado através do indicador de graus-hora para resfriamento (GHR) de cada ambiente de permanência prolongada de acordo com RTQ-R (BRASIL, 2012), como mostra a Equação 1;
- desempenho térmico da edificação no inverno calculado através do indicador de graus-hora para aquecimento (GHA) de cada ambiente de permanência prolongada, como mostra a Equação 2.

$$GHR = \sum (To - 26°C) \quad (1)$$

$$GHA = \sum (18°C - To) \quad (2)$$

Onde:

GHR= graus-hora para resfriamento;

GHA= graus-hora para aquecimento;

To = temperatura operativa horária dos ambientes de permanência prolongada durante o ano todo.

2.3 Análise de agrupamento

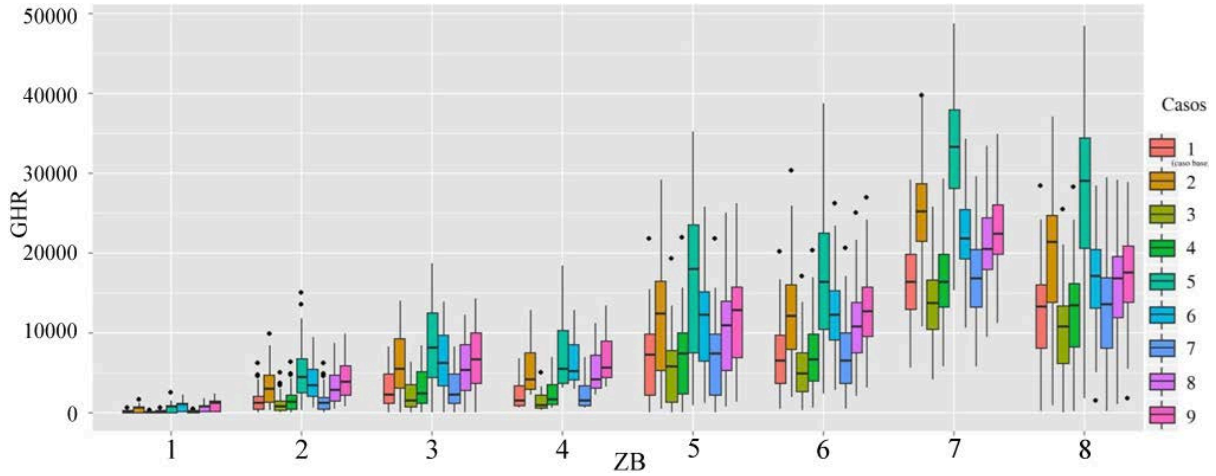
Obtidos os resultados de graus horas de desconforto da edificação nas 411 cidades nos nove casos, foi elaborada uma análise de agrupamento das zonas bioclimáticas de acordo com o desempenho da edificação para o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e para o zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Durante a análise, foram agrupadas as zonas bioclimáticas que apresentaram resultados semelhantes.

3 RESULTADOS

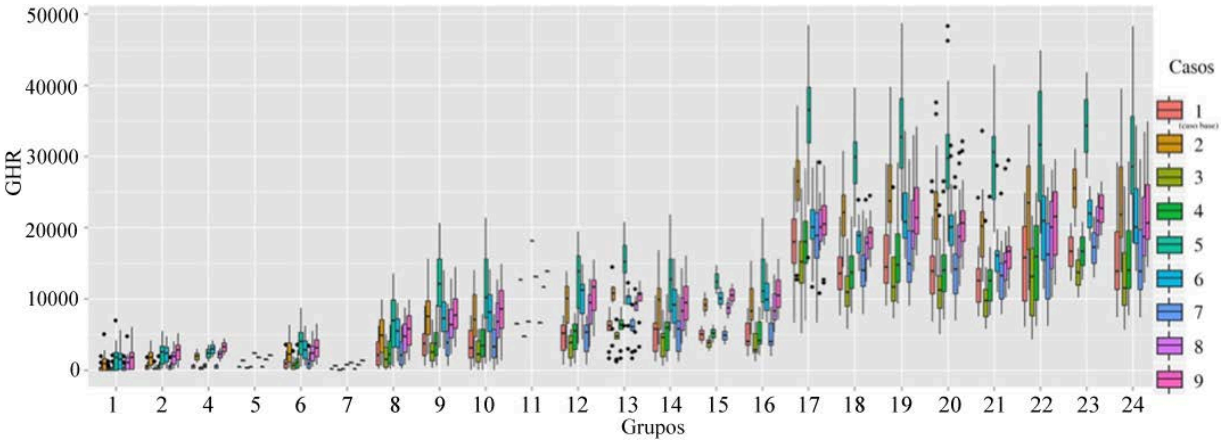
3.1 Análise dos resultados dos indicadores de desempenho

A Figura 3 apresenta os resultados de graus-horas de resfriamento dos nove casos no atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e no zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Cada *box-plot* representa a média de graus horas de desconforto dos diferentes casos analisados para a edificação residencial, considerando todas as cidades presentes na zona climática correspondente. Os pontos presentes na figura representam os resultados espúrios com relação ao desempenho térmico da edificação para cada cidade analisada. Observa-se que o pior desempenho nos dois zoneamentos foi obtido pelo caso 5, sem ventilação natural, em todas as zonas e grupos. A edificação com alta absortância na envoltória (caso 2) foi o segundo pior caso nos zoneamentos avaliados. Enquanto que o caso 3, com venezianas nas aberturas, obteve o melhor desempenho em todas as zonas e grupos para os dois zoneamentos. Os resultados obtidos evidenciam que na zona bioclimática 1 (ABNT, 2005) e no grupo climático 1 (Roriz, 2014) o número de graus horas de resfriamento é mínimo em todos os casos. No atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e no zoneamento proposto por Roriz (2004), a zona bioclimática 7 e o grupo climático 17 obtiveram o pior desempenho térmico para resfriamento.

Figura 3 – Graus horas de resfriamento nos nove casos da edificação residencial.



(a) NBR-15220 (2005)

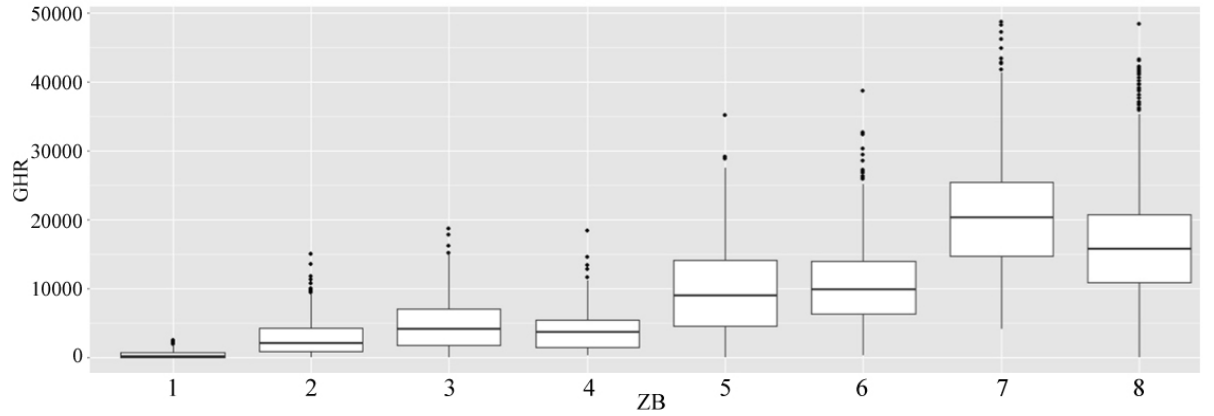


(b) Roriz (2014)

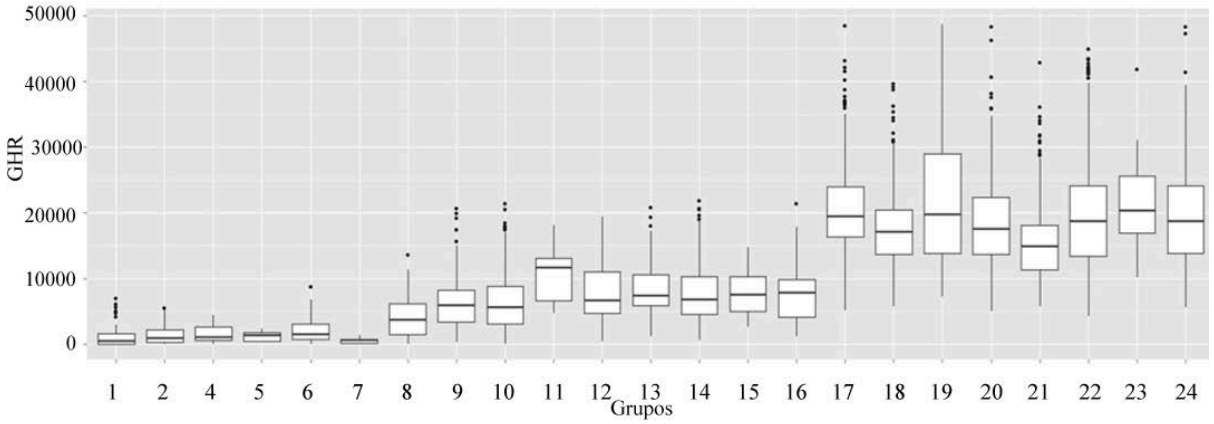
Fonte: autores

A Figura 4 apresenta os resultados do indicador de desempenho graus-hora de resfriamento da edificação residencial nos nove casos agrupados em um único diagrama de caixa, segundo o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014). Observa-se que no atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) as ZB2, ZB3 e ZB4 apresentam resultados semelhantes com uma mediana de 5.000 GHR. Este mesmo comportamento pode ser observado nos resultados das ZB5 e ZB6, onde apresentam uma mediana de 10.000 GHR. No zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014) observa-se que os grupos climáticos de 1 ao 7, de 8 ao 16 e nos grupos de 17 ao 24, apresentaram resultados semelhantes. Os resultados demostram que nos dois zoneamentos analisados, algumas zonas bioclimáticas e grupos poderiam ser agrupados. Porém, ressalta-se que esta análise de agrupamento se baseia à edificação e aos casos adotados.

Figura 4 – Graus horas de resfriamento nos nove casos agrupados.



(a) NBR-15220 (2005)

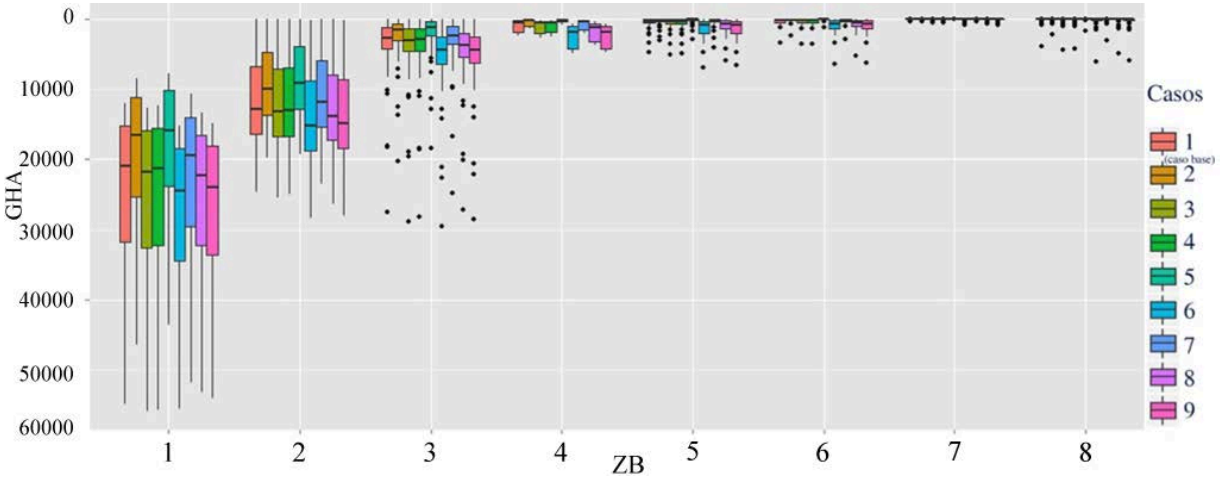


(b) Roriz (2014)

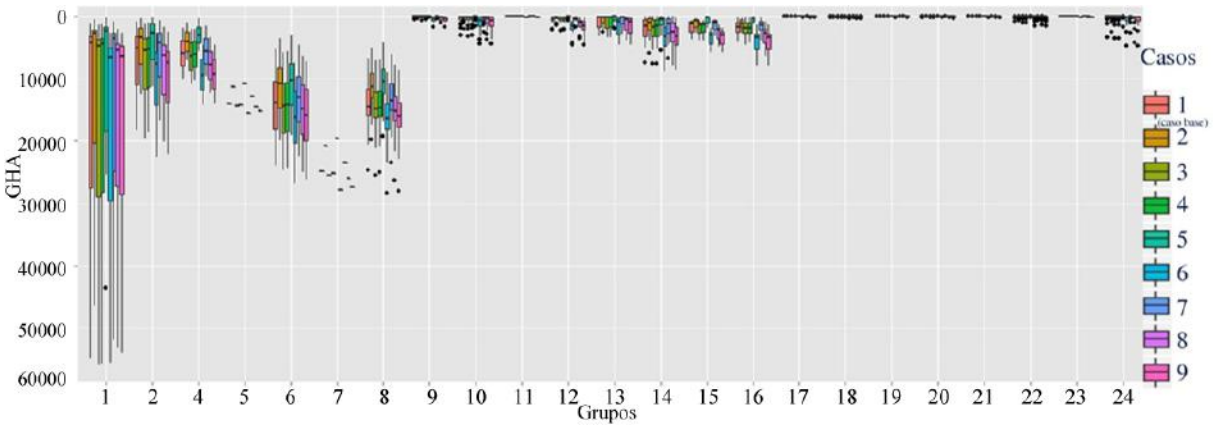
Fonte: autores

A Figura 5 apresenta os resultados de graus-horas de aquecimento da edificação nos nove casos nas diferentes zonas bioclimáticas através do diagrama de caixa, segundo o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014). Os resultados mostram que não existe uma diferença significativa entre as zonas bioclimáticas mais quentes nos diferentes casos avaliados. Assim, da ZB5 a ZB8, no atual zoneamento (ABNT, 2005) e os grupos climáticos de G9 ao G24, apresentam resultados semelhantes, onde os GHA são praticamente inexistentes. Analisando o desempenho térmico dos diferentes casos, percebe-se que o caso 2 (com alta absortância nas paredes e na cobertura) e o caso 5 (sem ventilação cruzada) obtiveram o melhor resultado nos dois zoneamentos. Por outro lado, o caso 6 (com paredes leves) e o caso 9 (com paredes leves e isolamento térmico da envoltória) foram os modelos com o pior desempenho térmico por frio em todas as zonas bioclimáticas.

Figura 5– Graus horas de aquecimento nos nove casos da edificação residencial.



(a) NBR-15220 (2005)

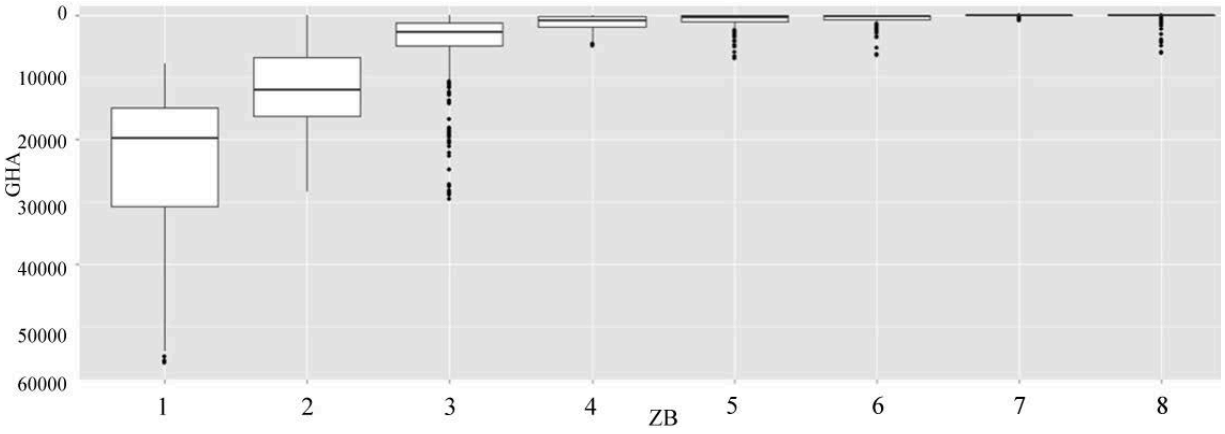


(b) Roriz (2014)

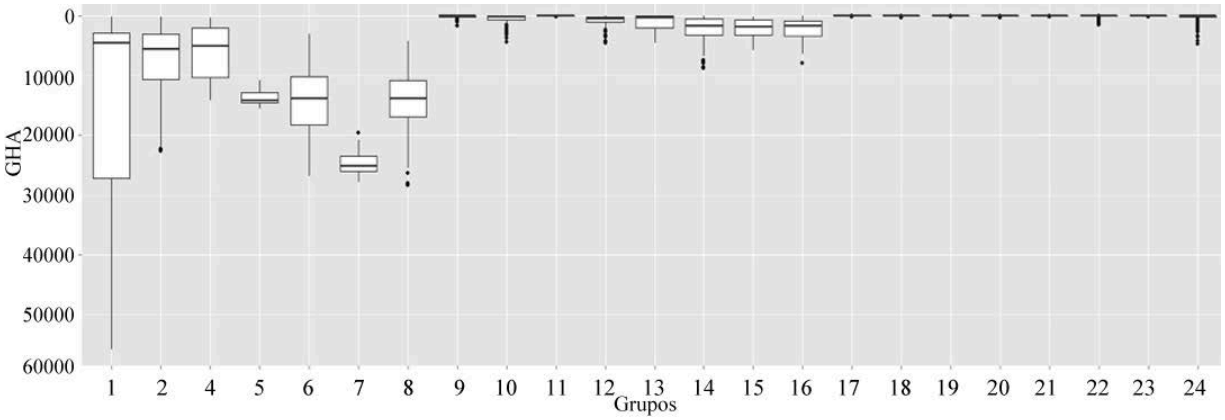
Fonte: autores

A Figura 6 apresenta os resultados de graus horas de aquecimento dos diferentes casos agrupados em um único diagrama de caixa, segundo o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014). Os resultados mostram que as zonas bioclimáticas mais quentes (ZB4 a ZB8) e os grupos climáticos quentes (de G8 ao G24) apresentaram resultados semelhantes com uma mediana inferior a 1.000 GHA, nos dois zoneamentos. No atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005), as zonas bioclimáticas mais frias (ZB1, ZB2 e ZB3) apresentaram valores de GHA diferentes entre si; enquanto que no zoneamento climático proposto por Roriz (2014) pode se observar um comportamento semelhante nos grupos climáticos frios (de G1 ao G3).

Figura 6– Graus horas de aquecimento nos nove casos agrupados.



(a) NBR-15220 (2005)



(b) Roriz (2014)

Fonte: autores

3.2 Análise de agrupamento

Através dos resultados obtidos foi possível analisar a possibilidade de agrupamento das 411 cidades brasileiras de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e do zoneamento proposto por Roriz (RORIZ, 2014). Porém, ressalta-se que esta análise de agrupamento se baseia à edificação e aos casos adotados.

3.2.1 Análise de agrupamento 1- ABNT (2005)

A Tabela 3 apresenta o agrupamento, das atuais zonas bioclimáticas, obtido através dos resultados dos indicadores de desempenho para a edificação residencial naturalmente ventilada nos diferentes casos avaliados para 411 cidades brasileiras. Os valores de GHR e GHA de cada zona bioclimática representam os valores entre o primeiro e o terceiro quartil dos *box-plot* dos nove casos agrupados, apresentados anteriormente. Os dados de GHR e GHA são a média de valores das três áreas de permanência prolongada do edifício exemplo.

O agrupamento foi elaborado com base nos resultados do indicador de consumo de graus-hora de resfriamento (GHR) e de graus-hora de aquecimento (GHA).

Tabela 3 – Análise de agrupamento do atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005).

Zoneamento Bioclimático NBR 15220	GHR /ano							
	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
	0-500	500-4700	2000-7000	1800-5300	4900-14000	6200-13800	14900-25200	15300-20100

Análise de agrupamento	ZQ1	ZQ2	ZQ3
	0-6000	6000-14000	>14000

Zoneamento Bioclimático NBR 15220	GHA /ano							
	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
	30100-17500	18000-8500	5000-1000	2000-0	1000-0	700-0	0	0

Análise de agrupamento	ZF3	ZF2	ZF1
	>18000	5000-18000	5000-0

Fonte: autores

A Tabela 4 apresenta a análise de agrupamento de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005). Os resultados representam a escala de GHR e GHA obtida para a edificação unifamiliar nos diferentes casos analisados. A análise de agrupamento observou que as 411 cidades analisadas poderiam ser representadas em um total de 5 zonas bioclimáticas.

Tabela 4: Análise de agrupamento 1 segundo o atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005).

Zonas	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
GHR/ano	0-6000	0-6000	0-6000	6000-14000	>14000
GHA/ano	>18000	18000-5000	5000-0	5000-0	5000-0

Fonte: autores

3.2.2 Análise de agrupamento 2 - Roriz (2014)

A Tabela 5 apresenta o agrupamento dos 24 grupos climáticos do zoneamento proposto por Roriz (2014), obtido através dos resultados dos indicadores de desempenho para a edificação residencial nos nove casos avaliados, para 411 cidades brasileiras. Os valores de GHR e GHA de cada grupo bioclimático representam os valores entre o primeiro e o terceiro quartil dos *box-plot* dos nove casos agrupados, apresentados anteriormente.

Tabela 5: Agrupamento das zonas climáticas– Roriz (2014).

Zoneamento Climático Roriz	GHR /ano																							
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15	Grupo 16	Grupo 17	Grupo 18	Grupo 19	Grupo 20	Grupo 21	Grupo 22	Grupo 23	Grupo 24
	0-1500	200-2200	500-3000	200-2000	700-3500	0-400	2000-6500	4200-8500	4000-9000	7000-13000	5000-11000	5800-10500	4900-10200	5000-10100	4800-9800	16000-24500	14000-20500	14000-28500	14100-22000	11500-17800	13800-24100	17000-25500	14000-24000

Análise de agrupamento	ZQ1	ZQ2	ZQ3
	0-4000	4000-14000	>14000

Zoneamento Climático Roriz	GHA /ano																						
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15	Grupo 16	Grupo 17	Grupo 18	Grupo 19	Grupo 20	Grupo 21	Grupo 22	Grupo 23	Grupo 24
	27000-3000	10500-3500	10000-2800	14500-12000	18500-10000	26000-23000	17000-10500	0	500-0	0	700-0	1800-0	2500-0	2500-400	3000-700	0	0	0	0	0	0	0	0

Análise de agrupamento	ZF4	ZF2	ZF3	ZF4	ZF3	ZF1
	>18000	10000-3000	18000-10000	>18000	18000-10000	3000-0

Fonte: autores

A Tabela 6 apresenta a análise de agrupamento 2 que também define um total de 5 zonas climáticas.

Tabela 6: Análise de agrupamento 2 segundo o zoneamento climático proposto por Roriz (2014).

Zonas	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
GHR/ano	0-4000	0-4000	0-4000	4000-14000	>14000
GHA/ano	>18000	18000-10000	10000-3000	3000-0	3000-0

Fonte: autores

As análises de agrupamento apresentados dividem o território brasileiro em um total de cinco zonas, respectivo para o atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Entre as duas análises, existe uma diferença na escala de valores de GHR e GHA determinada para o agrupamento estabelecido.

4 CONCLUSÕES

A pesquisa apresentou uma análise de agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indiciadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas.

Com base nos nove casos analisados na pesquisa, foi possível observar um amplo quadro de soluções projetuais, apresentando diferentes resultados com base no indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento. Algumas das soluções propostas não influenciam de forma significativa os resultados dos indicadores de desempenho adotados. Os resultados mostraram que, nos diferentes casos avaliados, a edificação obteve resultados do indicador de desempenho semelhante em zonas bioclimáticas e grupos climáticos diversos.

A análise de agrupamento, baseados nos dados obtidos das simulações computacionais para 411 cidades brasileiras, redesenham o atual zoneamento bioclimático e o zoneamento proposto por Roriz. As cinco zonas climáticas finais observadas na pesquisa, para o atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005) e para o zoneamento climático proposto por Roriz (2014), conseguem acoplar zonas bioclimáticas e grupos climáticos que, como demonstraram os resultados obtidos, apresentaram resultados dos indicadores de desempenho semelhante. Assim, permite-se relacionar o indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e aquecimento das edificações residenciais naturalmente ventiladas com as condições climáticas brasileiras. Ao mesmo tempo, o agrupamento de diferentes zonas bioclimáticas pode ser útil para definir as estratégias passivas mais adequadas de acordo com a análise de agrupamento.

Porém, ressalta-se que este estudo apresenta limitações, seja pela avaliação de somente uma tipologia de edificação residencial e pela avaliação da edificação unicamente quando naturalmente ventilada.

REFERÊNCIAS

ASHRAE Standard **90.1-2013**. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. I-P Edition, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações**: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012. Acesso em: 22 de setembro 2014. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf.

CAIXA. Cadernos **CAIXA Projeto padrão** – casas populares | 42m². 2007. Acesso em: 05 abr. 2013. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/download/.

CHINA. **Climate e Territory**. Pequim, 2014. Disponível em: < http://www1.chinaculture,org/library>. Acesso em: 15 de setembro 2014.

D.O.E.- U.S**. Department of Energy**. Disponível em: http://www.energy.gov/. Acesso em: 25 de outubro 2014.

DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN PLANNING. Disponível em: www.minvu.cl. Acesso em: 15 de setembro 2014.

ENERGYPLUS - D.O.E.- U.S. **Department of Energy**. Whole Building Simulation Program, 2013. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/. Acesso em: 21 de outubro 2014.

GREENHOUSE OFFICE. Feasibility Study – **A National Approach to Energy Efficiency Measures For Houses**. 2000. Disponível em: <www.greenhouse.gov.au/energyefficiency/buildings>. Acesso em: 15 maio de 2014.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, vol.18, Amsterdan, 1992.

ITÁLIA. **Dpr 26 agosto 1993 n.412** (Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10). Disponível em: http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie_generale/originario. Acesso em: 18 de setembro de 2014.

LAM, J. C; YANG, L.; LUI, J. Development of passive design zones in China using bioclimatic Approach. **Energy Conversion and Management**, v.47, p. 746-762. 2006.

MARTINS, T.A.L.; BITTENCOURT, S.L.; KRAUSE, C.M.L.B. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Revista Ambiente Construído**. V. 12, n. 2, p. 59-75. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012.

MAZUMDAR, M. Energy-Efficient Buildings in India, **TERI**, New Delhi, India, 2002.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012.

RORIZ, M. Classificação de climas do brasil – versão 3.0. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2014.

RORIZ, M. Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do brasil. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012b.

RORIZ, M. Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012a.

Turkish Standards-**TS 825**: Rules of Heat Insulation in Building, 1998.

YILMAZ, Z. Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate. **Energy and Buildings**. V.39, p. 306- 316. Elsevier, 2007.

VERSAGE, R. Ventilação natural e desempenho térmico em edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS. **Dissertação de Mestrado** - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2009.

ZÁRATE, L. E.; GONÇALVES, W. B.; ASSIS, E.S.; DIAS, S.M. Estimativa de Dados Climáticos Utilizando Redes Neurais Artificiais Para Fins de Zoneamento Bioclimático

do Estado de Minas Gerais. ENTAC- Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 12., Fortaleza, 2008. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFCE, 2008. 10 p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DUTOS VERTICAIS DE CAPTAÇÃO DE LUZ NATURAL E VENTILAÇÃO CRUZADA EM SALAS DE AULA[1]

LEDER, Solange Maria (1); QUIRINO, Luana Maria de Medeiros (2); PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti (3)

(1) UFPB, e-mail: solangeleder@yahoo.com.br; (2) UFPB, e-mail: luanammq@gmail.com; (3) UFPB, e-mail: yasminvaz_47@hotmail.com

RESUMO

A escola não pode se limitar a educar apenas através do discurso, ela própria, como lugar, deve ser um exemplo de educação ambiental. Assim, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aberturas para salas de aula capaz de proporcionar ao mesmo tempo: níveis adequados de iluminação natural e ventilação cruzada, sem os inconvenientes acústicos provenientes dos corredores. Dois tipos comuns de projeto de salas de aula foram utilizados: a) sala e corredor e b) sala, corredor e sala. A concepção do sistema de iluminação natural teve como base estudos de sombreamento e da visão do exterior com o programa SketchUp e simulações de iluminação natural com o programa Daysim. A análise do desempenho lumínico foi realizada tendo como parâmetro a Iluminância Útil da Luz Natural (IULN). Para o clima em estudo, quente e úmido (latitude 7° 05' S) o sistema de iluminação proposto apresentou: 70% do ano com iluminâncias no intervalo de 100 a 2000 lux (IULN) em 100% dos ambientes em estudo (salas de aula); distribuição homogênea dos níveis de iluminação e controle da entrada da luz solar direta no ambiente.

Palavras-chave: Iluminação natural. Ventilação natural. Salas de aula.

ABSTRACT

An school building itself should be an example of environmental education. This work focuses on developing an opening system for classrooms that uses natural resources: lighting and ventilation. The proposed system allows a separation between light and ventilation sources, avoiding acoustic conflicts. Two common types of classrooms project were used: a) classroom plus corridor and b) classroom plus corridor plus classroom. The opening system design was made taking the following steps: shadow studies and outside view using SketchUp software, and daylighting simulations using Daysim software. The analysis of daylighting performance was made using the dinamic parameter Useful Daylight. The illuminance levels were grouped into three ranges: a) below 100 lux; b) between 100 and 2000 lux (desirable level); c) above 2000 lux (related to glare problems). Considering the local climate, hot and humid (latitude 7 ° 05 'S), the proposed lighting system resulted in an satisfatory illuminance level (range of 100 to 2000 lux) in 70% of the year; homogeneous distribution of lighting levels and direct sunlight control inside the classrooms.

***Keywords**: Daylighting. Natural ventilation. Classrooms.*

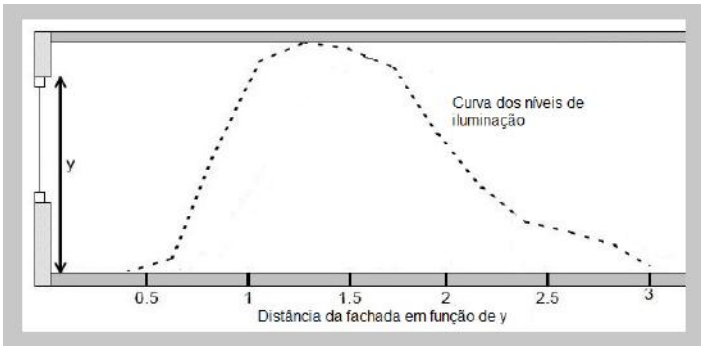
[1] LEDER, Solange Maria; QUIRINO, Luana Maria de Medeiros; PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti. Dutos verticais de captação de luz e ventilação em salas de aula: desenvolvimento e análise do desempenho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Globalmente, quase um 1/5 do montante da energia elétrica produzida é consumido com a iluminação artificial (EARTH POLICY INSTITUT, 2010), enquanto a luz natural, fonte gratuita e renovável, é abundante, especialmente em países tropicais. A economia de energia elétrica com a substituição da iluminação artificial pela natural pode chegar a até 80% (BODART e DE HERDE, 2002), além disso, ao se negligenciar a luz natural, abre-se mão dos inúmeros benefícios fisiológicos e psicológicos que a mesma proporciona. Contudo, o aproveitamento da luz natural requer um projeto arquitetônico detalhado.

Distribuição não homogênea, níveis em excesso ou insuficientes são problemas recorrentes no aproveitamento da iluminação natural. A janela unilateral, normalmente utilizada, tem a desvantagem de apresentar elevados níveis de iluminação natural em sua proximidade e baixos níveis no fundo da sala. O alcance da luz natural, neste caso, depende da altura da janela e da profundidade do ambiente. Aberturas laterais podem iluminar naturalmente um ambiente interno até uma profundidade de 1,5 a 2,0 vezes a altura da janela, acima do piso (REINHART, 2005), Figura 1.

Figura 1 – Curva dos níveis de iluminação a partir da abertura lateral



Fonte: Adaptado de Reinhart, 2005

O excesso de iluminação gera ofuscamento, reflexões, brilho ou contrastes excessivos que, além da redução da eficácia visual, provocam desconforto físico (HEERWAGEN e DIAMOND, 1992). Pesquisas indicam que, diante do desconforto ou da dificuldade em realizar suas tarefas as pessoas acabam reduzindo ou eliminando a contribuição da luz natural, com cortinas ou outros anteparos improvisados (BOYCE, HUNTER e HOWLET, 2003), desperdiçando assim os benefícios da luz natural. Níveis excessivos de luz natural também estão associados à presença de luz solar direta no ambiente interno, o que resulta em desconforto térmico nos períodos de calor.

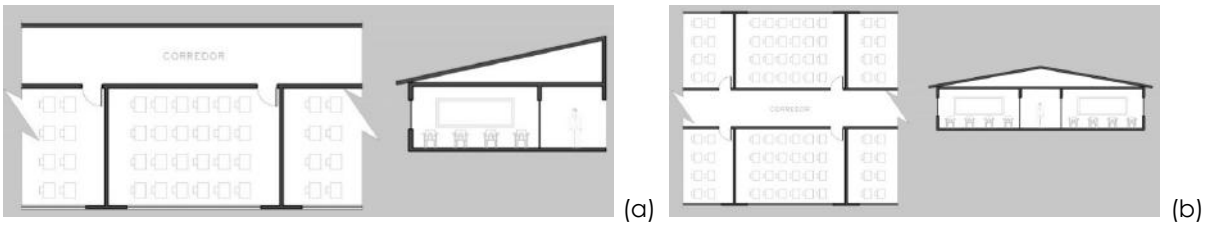
Uma solução recomendada para corrigir as limitações da abertura unilateral é a utilização de aberturas em paredes opostas que apresenta a vantagem de promover a ventilação cruzada. Contudo, em salas de aula comumente a parede oposta (à abertura lateral) faz divisa com a circulação, cujo contato direto pode gerar problemas acústicos. Assim, a substituição da abertura por um duto individualizado pode ser uma estratégia adequada.

Os dutos de iluminação voltados para o zênite (aberturas zenitais) melhoram a distribuição da luz natural no ambiente e reduzem o contraste. O potencial de iluminação do duto depende de variáveis como o comprimento e a largura, a altura e o coeficiente de reflexão interno (BAKER e STEMMER, 2002; LAM, 1986; ROBBINS, 1986).

Além da economia de energia a qualidade de vida é, seguramente, o ganho maior proporcionado pelo uso da luz natural. No edifício escolar, objeto do presente estudo, o mais importante em termos de iluminação natural são os ganhos fisiológicos e psicológicos que esta proporciona. A luz natural é o mais importante estímulo ambiental de regulação do sistema circadiano. Ela incide sobre o nosso ânimo e comportamento, regula nosso relógio biológico e a produção de elementos vitais, como a vitamina D. A exposição à luz solar, mesmo através do vidro, elimina vírus e bactérias e é útil, especialmente no inverno, quando a incidência de infecções respiratórias é maior. Principalmente em ambientes ocupados por crianças, questões relacionados com a saúde e associadas à luz natural como: a melhora da visão, a redução da miopia e da tensão ocular, o estímulo ao desempenho cognitivo, a redução de distúrbios como o déficit de atenção e a hiperatividade (BOUBEKRI, 2008; VEITCH e GALASIU, 2012; ARIES et al, 2015), não podem ser desprezados pois incidem na qualidade do aprendizado.

Na arquitetura escolar dois tipos de plantas são recorrentes: a) sala-corredor e b) sala-corredor-sala (Figura 2). Esses tipos são predominantemente utilizados em projetos de escolas térreas ou com dois pavimentos.

Figura 2 – Planta tipo sala – corredor (a) e Planta tipo sala – corredor – sala (b)



(a) (b)

Fonte: Os autores

A iluminação natural em salas de aula é através de aberturas unilaterais que, normalmente, apresentam os dois problemas já relatados, comuns em sistemas convencionais de iluminação natural. Aberturas altas, na parede entre a sala e o corredor, podem em algumas situações contribuir para melhorar a distribuição da luz natural no ambiente, estas, têm sido projetadas para promover a ventilação cruzada (natural).

Assim como a iluminação natural, a ventilação natural é também um recurso de extrema relevância para o conforto ambiental e a eficiência energética do edifício: promove a troca do ar, a redução da umidade, o conforto térmico dos usuários e o resfriamento da edificação. O bom desempenho da ventilação natural depende do desenho apropriado das aberturas do edifício, que deve estar de acordo com o clima local. Para favorecer a

ventilação natural é importante atender a algumas exigências como: aberturas localizadas em paredes opostas, que permitem a ventilação cruzada; aberturas na direção do vento e, quando possível, aberturas em diferentes alturas (SERRA, 1999; HERTZ, 1998).

Considerando a solução comumente adotada em salas de aula: aberturas laterais, quando unilaterais, a ventilação cruzada só é possível com a abertura da porta de entrada, voltada para o corredor. A disposição de aberturas bilaterais, com uma abertura voltada para o exterior e aberturas altas voltadas para o corredor, permite a ventilação cruzada constante. Porém, a ventilação natural através do corredor gera conflitos acústicos, pois, o som produzido na sala de aula, ou nos corredores, invade as salas vizinhas através dessas aberturas dispostas no corredor. Níveis impróprios de ruídos em salas de aula tem efeito nocivo na percepção oral, na leitura, na atenção e na concentração dos estudantes (ASHA, 2005). Assim, para reduzir o ruído de fundo é necessário que as aberturas para ventilação sejam independentes, com o menor contato possível com outras fontes de ruído.

A escola não pode se limitar a educar apenas através do discurso pedagógico, ela própria, como lugar, deve fazer parte do processo educacional. Proporcionando condições ambientais favoráveis ao aprendizado, tanto na dimensão cognitiva quanto fisiológica. As aberturas, como elementos arquitetônicos, através dos quais se estabelece a relação entre o espaço interno e o externo tem papel preponderante nesse processo. A visão do ambiente externo também contribui para o bem estar, particularmente se estiver associada à natureza ou uma paisagem atraente. Preferencialmente a linha do horizonte deve estar visível, evitando-se a separação entre céu e elementos do entorno construído ou natural. As recomendações da norma britânica (BS 8206:2008) priorizam: a visão do exterior, a aparência do ambiente interno e a iluminação da tarefa. Em relação à visão do exterior, a altura da abertura deve ser superior à altura de uma pessoa em pé enquanto o peitoril deve ter altura inferior à altura dos olhos de uma pessoa sentada. Em ambientes direcionados à crianças (creches, etc) a altura do peitoril dever ser adequada à altura das mesmas.

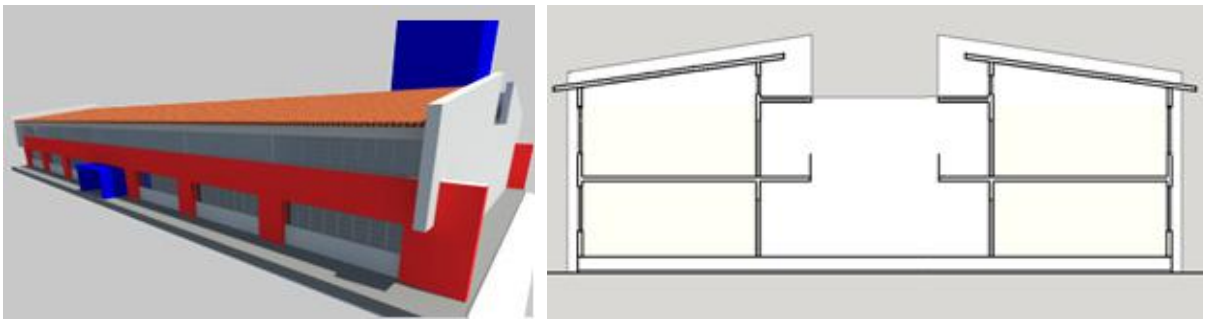
Assim, a partir dos dois tipos de planta recorrentes na arquitetura escolar contemporânea: a) planta tipo sala - corredor; b) planta tipo sala – corredor – sala (Figura 2) foi desenvolvido um sistema composto de abertura lateral e dutos que, além da iluminação natural, possibilitam a ventilação cruzada de forma independente.

2 MÉTODO

O sistema de iluminação natural e ventilação cruzada desenvolvido neste trabalho teve como base as dimensões e a geometria adotadas em um projeto padrão de escola, Figura 3. O edifício tem dois pavimentos e planta retangular alongada. As maiores fachadas estão voltadas para norte e sul. As seguintes etapas compreenderam a concepção e a definição do sistema: a) estudos de sombreamento e da visão do exterior com o SketchUp

(Figura 4); b) simulações de iluminação natural com o programa Daysim. As simulações da iluminação natural foram realizadas com os dados climáticos de João Pessoa (latitude 7°S).

Figura 3 – Projeto de escola padrão: Perspectiva e corte esquemático

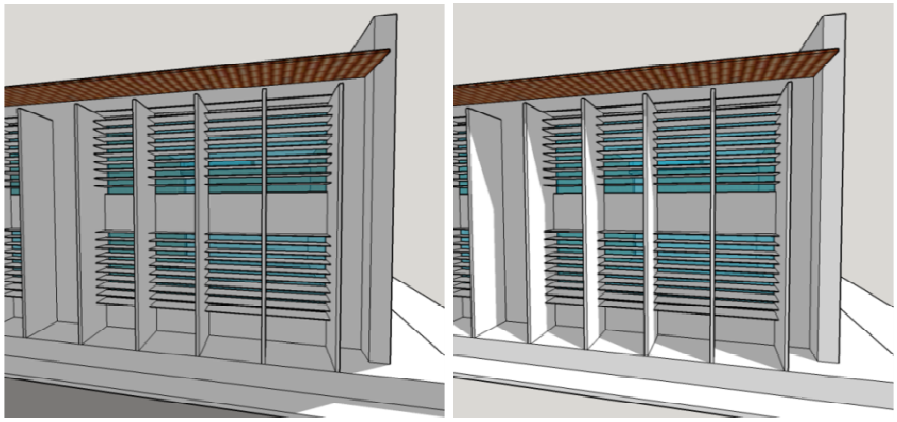


Fonte: Os autores

A dimensão da sala de aula no térreo é 7,05 x 7,05 metros e no pavimento superior é 6,45 x 7,05 metros. A largura da janela é 5,55 metros. Os coeficientes de reflexão das superfícies internas foram: piso com 0,60; paredes e forros com 0,70. A altura do peitoril da abertura lateral é de 0,6 metros, tendo esta sido definida considerando a altura da cabeça de uma criança sentada.

Os estudos de sombreamento e da visão do exterior foram realizados com o SketchUp. As Simulações de insolação foram realizadas nos solstícios de inverno e verão, em intervalos de uma hora ao longo do dia, com objetivo de identificar presença da radiação solar direta no interior da sala de aula. Vistas externas (figura 4) e internas foram geradas para essa análise, que culminou com a definição dos ângulos de proteção solar do brise externo. O impacto da proteção solar na obstrução da visão do exterior foi analisado através de perspectivas internas, renderizadas a partir de um ponto de observador localizado a 0,95 metros do piso - que corresponde a altura da visão de uma criança sentada (PANERO; ZELNIK, 2002).

Figura 4 – Estudo de insolação da proteção solar com o SkechtUp



Fonte: Os autores

A análise do desempenho lumínico foi realizada tendo como parâmetro a

Iluminância Útil da Luz Natural (IULN). Os níveis de iluminação foram agrupados nos intervalos: a) abaixo de 100 lux; b) entre 100 e 2000 lux e; c) acima de 2000 lux, sendo o intervalo entre 100 e 2000 desejável. Adotou-se como critério de análise a recomendação de Reinhart (2005), segundo esta, os níveis de iluminação natural devem ter mais da metade do ambiente com a IULN no intervalo de 100 a 2000 lux. Também foi utilizado o critério do programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED) adotado para a análise do desempenho da iluminação natural: a Autonomia Espacial da Luz Natural (AeLN) e a Exposição anual à luz Solar (EALs). O parâmetro AeLN consiste na identificação das iluminâncias acima de 300 lux e abaixo de 1000 lux, que devem atingir um número de horas, ao longo do ano, de no mínimo 50%. O nível de iluminância de 300 lux atende também a indicação da NBR ISO/CIE 8995-1. O EALs, por sua vez, está associado às iluminâncias acima de 1000 lux, a iluminação no ambiente será considerada eficiente se o EALs não ultrapassar o limite de 10% das horas do ano. Para cada sala de aula foi elaborada uma malha de pontos com as coordenadas dos sensores de iluminância no plano de trabalho. Os pontos estão distanciados 0,5 m da parede, a 0,8 m do piso e com um espaçamento de 0,73 m entre os sensores, que resulta em uma malha com 91 pontos.

No programa Daysim o montante anual da luz do dia, em um espaço, é quantificado através das métricas dinâmicas derivadas dos perfis anuais de iluminância de hora em hora, que são gerados usando um arquivo de clima local (TRY). Um modelo tridimensional deve ser construído (geometria), assim como, devem ser inseridos no programa: a descrição dos materiais do edifício e dados do entorno da edificação. As simulações da iluminação natural foram realizadas com o arquivo climático de João Pessoa (latitude 7°S). O horário estabelecido para as simulações foi das 7:00 às 17:00h, totalizando uma rotina de 10 horas por dia. Os coeficientes de reflexão das superfícies internas foram: piso com 0,60; paredes e forros com 0,70. Para cada ambiente foi elaborado uma malha de pontos com as coordenadas dos sensores de iluminância no plano de trabalho.

3 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho serão apresentados na seguinte sequência: a) detalhamento do sistema de iluminação e ventilação natural; b) desempenho do sistema proposto. O desempenho do sistema proposto será apresentado em relação aos seguintes aspectos: iluminação natural e visão do exterior.

3.1 Detalhamento do sistema de iluminação natural e ventilação cruzada

O elemento principal proposto neste trabalho consiste em um duto de iluminação zenital inserido na parede do fundo da sala (adjacente ao corredor). Este duto, em conjunto com a abertura lateral, na parede oposta, além de melhorar a iluminação natural permite a ventilação cruzada nas

duas possibilidades de planta em análise: sala-corredor e sala-corredor-sala, tanto em um edifício térreo, quanto com dois pavimentos. Para o edifício, objeto de estudo deste trabalho, que possui dois pavimentos, dois dutos, com 0,50 m de largura e 2,92 m de comprimento servem de caminhos para a iluminação e ventilação natural das salas de aula – uma no térreo, outra no pavimento superior. Os dois dutos iluminam naturalmente (abertura zenital) as salas, porém, somente um deles permite a ventilação natural, que é exclusiva para cada sala, ver Figura 6 e 7. A altura total do duto é de 4,26 m, até a saída do ar próxima ao telhado. A abertura de saída do ar (no telhado) tem 0,50 m de altura. As paredes internas do duto possuem coeficiente de reflexão de 70%. A cobertura do duto (iluminação zenital) é com material translúcido, com 0,55 de transparência e 0,25 m de largura.

Tanto a ventilação quanto a iluminação podem ser controladas nos dutos. A dimensão da abertura zenital, com material translúcido (Figura 6 e 7), pode variar, de acordo com o clima do local. A ventilação natural é contínua, em locais de clima quente e úmido e baixas latitudes, enquanto, em localidades com baixas temperaturas e inverno, esta pode ser controlada ou interrompida. Além do duto, o sistema inclui, ainda, a abertura lateral, com peitoril de 0,60 metros, 2,0 metros de altura e 5,50 metros de largura. Vidro do tipo claro com espessura de 3 mm e 0,85 de transmissão e um sistema de proteção solar composto de elementos horizontais e verticais fixos (Figura 8).

Figura 6 – Corte AA e planta do piso superior: duto de iluminação e ventilação

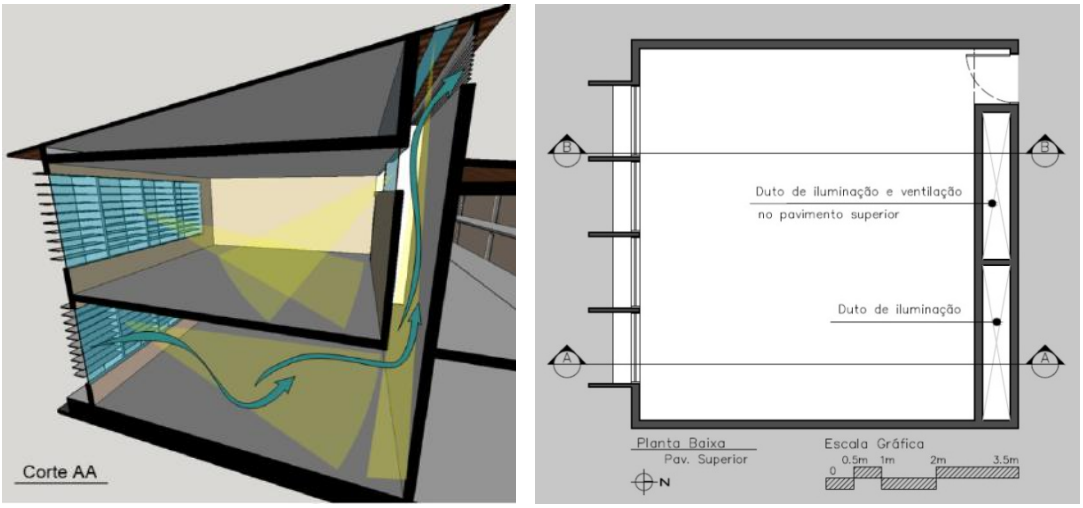


Figura 7 – Corte BB e planta do piso térreo: duto de iluminação e ventilação

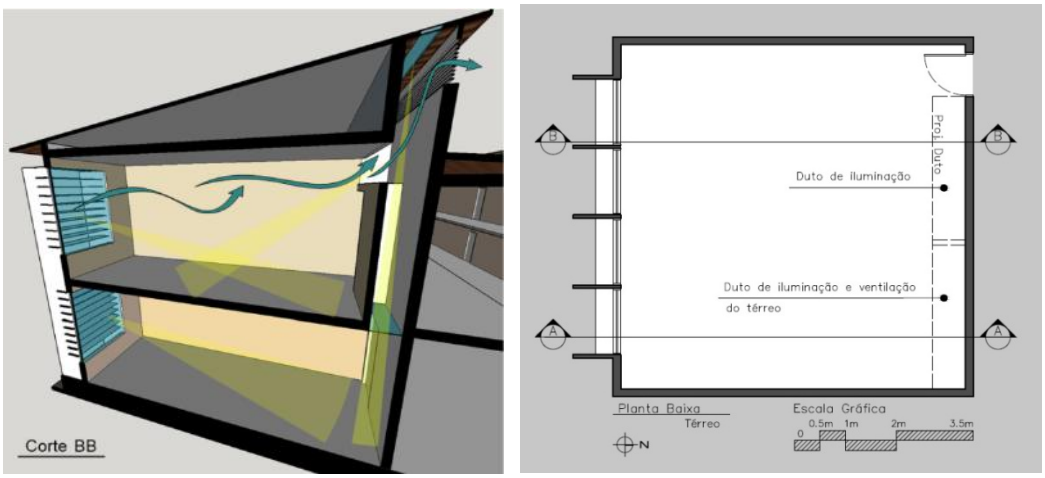
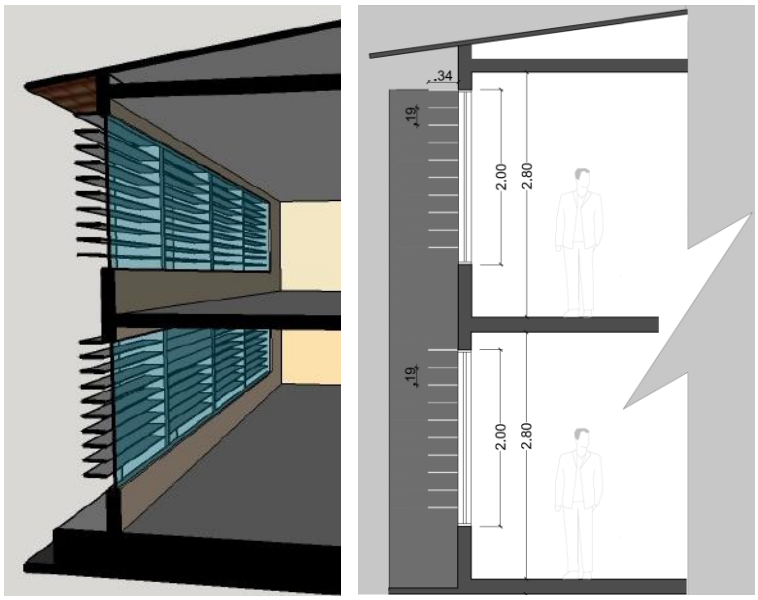


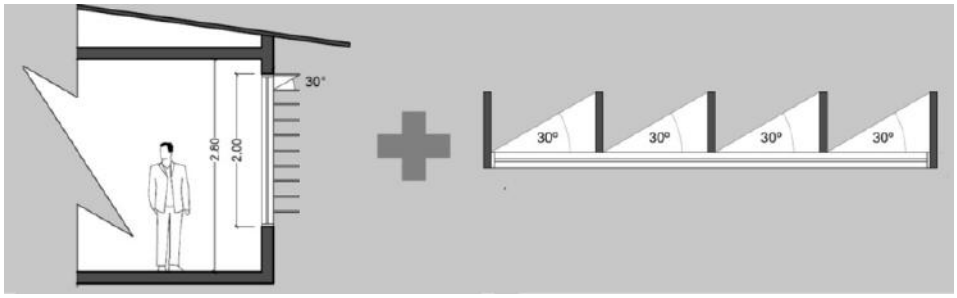
Figura 8 – Abertura lateral com a proteção solar (perspectiva e corte)



Fonte: Os autores

Na concepção do sistema de proteção solar a opção por um sistema fixo deve-se a uma maior economia de manutenção. Os ângulos de proteção solar são de 30°, tanto o ângulo horizontal – em planta, quanto o ângulo vertical – em corte, ver Figura 9, estes, foram definidos com o auxílio da simulação da insolação. A partir dos ângulos de proteção solar o sistema de proteção solar desenvolvido pode apresentar desenhos distintos, mantendo o desempenho desejado e permitindo variedade das soluções arquitetônicas. Assim, cada escola pode ter um aspecto diferenciado.

Figura 9 – Corte da abertura lateral com esquema da proteção solar

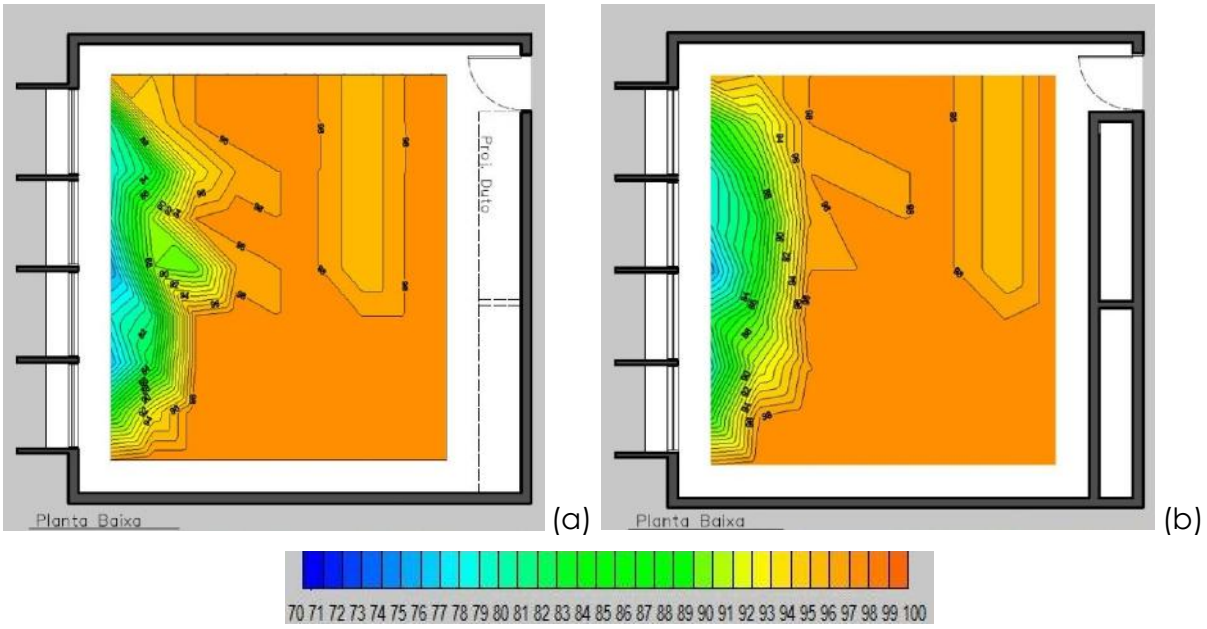


Fonte: Os autores

3.2 Desempenho da iluminação natural e do controle do ofuscamento

Sobre o desempenho da iluminação natural, a IULN no intervalo de 100 e 2000 lux, em 100% das salas é superior a 70% do ano. Nos dois pavimentos, térreo e superior, e nas orientações norte e sul, o sistema desenvolvido apresenta níveis adequados de iluminação e de distribuição, como pode ser observado nos gráficos com isolinhas apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Isolinhas da IULN 100 a 2000 lux – Térreo (a) e Pavto Superior (b)



Fonte: Os autores

Em relação aos resultados obtidos com os parâmetros AeLN e EALs: o AeLN é 57,8%, o que caracteriza um desempenho satisfatório da iluminação natural, enquanto o EALs, de 16,8%, excede o limite de 10%, apontando a necessidade de redimensionamento do sistema de controle da luz natural. O sistema de iluminação natural proposto pode atender às exigências estabelecidas pelo programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED), sendo necessário um ajuste no sistema de proteção solar para reduzir o valor de EALs.

3.3 Visão do exterior e variações do sistema de proteção solar

O impacto da proteção solar na visão do exterior foi analisado através de perspectivas internas, renderizadas a partir de um ponto de observador localizado a 0,95 metros do piso - que corresponde a altura da visão de uma criança sentada (PANERO; ZELNIK, 2002). A partir dos ângulos de proteção (horizontais e verticais) utilizados foram desenvolvidas algumas variações no sistema de proteção solar que podem ser utilizadas para que as escolas possam ter um aspecto arquitetônico diversificado. Algumas variações estão, exemplificadas nas Figuras 12 a 14.

Figura 12 – Combinação 1: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna

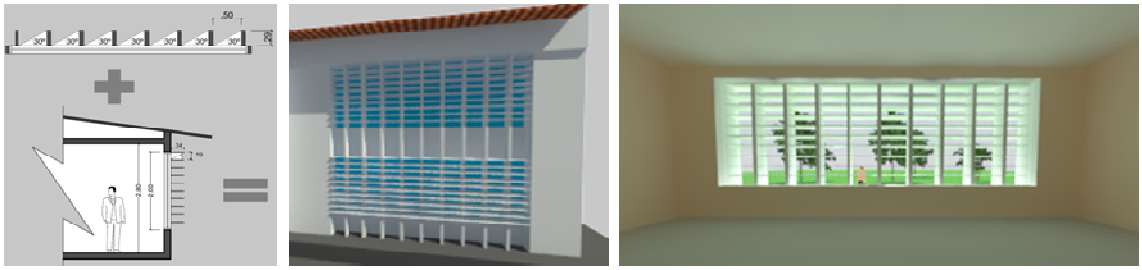


Figura 13 – Combinação 2: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna



Figura 14 – Combinação 3: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido neste trabalho possibilita: a visão e o contato com o ambiente externo, a iluminação natural e a ventilação cruzada. O desempenho do sistema proposto apresentou Iluminação Útil da Luz Natural (IULN), no intervalo de 100 a 2000 lux, superior a 70% do ano, em 100% do ambiente. Nos dois pavimentos, térreo e superior, e nas orientações norte e sul, o sistema desenvolvido apresenta níveis de iluminação adequados ao uso previsto, assim como, estes estão bem distribuídos. A Autonomia Espacial

da Luz Natural (AeLN) é superior a 57,8%, o que também caracteriza um desempenho satisfatório da iluminação natural. Em relação à Exposição anual à luz Solar (EALs) o limite de 10% é excedido, aspecto que pode ainda ser melhorado com o ajuste no sistema de proteção solar. Assim, considerando os resultados obtidos com os parâmetros AeLN e EALs, o sistema de iluminação natural proposto neste trabalho pode atender às exigências estabelecidas pelo programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED). Os estudos de visão do exterior através de perspectivas renderizadas permitem afirmar que a relação interior-exterior, fundamental para o conforto psicológico necessário ao aprendizado, é assegurada pelo sistema proposto. As possibilidades de variação da fisionomia arquitetônica dos edifícios, através de diferentes arranjos geométricos do sistema de proteção solar das janelas, de que foram vistos alguns exemplos, possibilitam superar a monotonia formal característica de projetos padrão de escolas.

AGRADECIMENTOS

À prof. Eliana Lima/IFPB e ao Cnpq/UFPB pela bolsa pibic.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION (ASHA). **Guidelines for addressing acoustic in educational settings.** Rockville: Asha, 2005. Disponível em: http://www.asha.org/policy/GL2005-00023. Acesso em 2015.

ARIES, M. B. C.; AARTS, M. P. J.; VAN HOOF, J. **Daylighting and health: A review of the evidence and consequences for the built environment.** Lighting Research and Technology, v. 47, p. 6-27, 2015.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings:** A Handbook for Architects and Engineers**.** London: James & James, 2002.

BODART, M.; DE HERDE, A. **A global energy savings in offices buildings by the use of daylighting.** Energy and buildings, London: Elsevier, V. 34, p.421-429, 2002.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLET, O. **The benefits of daylight through windows.** 2003. Disponível em: http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/daylightbenefits.pdf Acesso em 2014.

British Standard 8206. **Lighting for buildings – Part 2: Code of practice of daylighting**, 2008.

BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health: Building design strategies.** Oxford: Elsevier, 144 p., 2008.

EARTH POLICY INSTITUTE. **World on the Edge by the Numbers**: Shining a Light on Energy Efficiency. Julho 2011. Disponível em: http://www.earth-policy.org/data_highlights/2011/highlights15. Acesso em 2015.

HEERWAGEN, J.; DIAMOND, R. C. **Adaptations and coping: occupant response to discomfort in energy efficient buildings.** In Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, USA, 1992.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura.** São Paulo: Pioneira, 1998.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as a formigiver for architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores.** Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

REINHART, C. F. Simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylit zone depth rule-of-thumb. **Anais do Buildings Simulation 2005.** Canadá, 2005.

ROBBINS, C. L. **Daylighting**: design and analysis. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

SERRA, R. **Arquitectura y climas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

UNITED STATES GREEN BUILDING CONCIL (USGBC). **LEED v4 for Building Design and Construction**. Disponível em http://www.usgbc.org/leed. Acesso em 2015.

VEITCH, J.; GALASIU, A. **The physiological and Psychological effects of windows, daylight, and view at home.** NRC-IRC Research Report RR325. Ottawa: National Research Council, 2012. Disponível em http://doi.org/10.4224/20375039.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E DO USUÁRIO, EM EDIFICAÇÃO APÓS PROCEDIMENTO DE ETIQUETAGEM[1]

LEITE, Larissa R. (1); GUTIERREZ, Grace C.R. (2)

(1) EA/UFMG, e-mail: larissaribleite@gmail.com; (2) EA/UFMG, e-mail: gracegutierrez@ufmg.br

RESUMO

A integração da iluminação natural e artificial é necessária para o conforto do usuário e para a eficiência energética. Nesse sentido observa-se o desenvolvimento de projetos de iluminação que empregam técnicas e dispositivos de controle que integram a luz natural e artificial. O objetivo desse trabalho foi identificar se as variáveis analisadas para a etiqueta parcial de iluminação do RTQ-C, convertem-se em melhorias em relação à integração da luz natural e artificial, e do comportamento do usuário. O método foi fundamentado em levantamento bibliográfico e de campo. Para o ambiente de escritório da edificação selecionada foram realizados: levantamento do ambiente, medição dos níveis de iluminância, e entrevistas com os usuários. Os resultados revelaram que os níveis de iluminação e sua distribuição no ambiente estavam de acordo com as atividades realizadas, mas que as estratégias que visam à redução do consumo através da integração dos sistemas com a luz natural que dependem do acionamento de dispositivos por parte dos usuários não ocorrem efetivamente, principalmente em relação ao controle de persianas e interruptores.

Palavras-chave: Iluminação. Comportamento do usuário. Eficiência energética.

ABSTRACT

The integration of daylight and artificial lighting is necessary for user comfort and energy efficiency. Actually the development of lighting design involves techniques and control devices to integrate daylight and artificial light. The aim of this study was to identify the variables analyzed for the lighting system of RTQ-C label of an office area, become improvement on the integration of daylight and artificial light, and user behavior. The method was based on literature and field measurements. For the selected building office were considered: design and lay-out characteristics, measurement of illuminance levels, and user's interviews. The results showed that the levels of illumination and distribution in the office room were in accordance with the activities carried out, but these strategies that aimed to reducing consumption by integrating systems with daylight in depends on the drive devices for users do not occur as designed, especially in the control of blinds and switches.

***Keywords**: Lighting. Users behavior. Energy efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento, implantação e aplicação da regulamentação de

[1] LEITE, L. R.; GUTIERREZ, G. C. R. Estudo do sistema de iluminação e do usuário, em edificação após procedimento de etiquetagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

etiquetagem de eficiência energética de edificações e certificações de sustentabilidade de edifícios representam um grande potencial para redução dos impactos da ação humana no ambiente. No entanto, Keyvanfar et al (2014) comentam que os usuários de edifícios sustentáveis relatam insatisfação em relação ao controle automatizado das condições de iluminação, em comparação com edifícios convencionais. Dessa forma, ainda que o ambiente construído incorpore essas medidas mitigadoras, a importância da contribuição das atitudes do próprio usuário desse espaço construído é uma das mais significativas dentre essas.

> O usuário do edifício é o elemento ativo do contexto, e é nele que as atenções devem estar focadas, para se estabelecer as necessidades que a forma projetada deverá cumprir. (MOREIRA; KOWALTOWSKI, 2011, p. 102)

Com relação à iluminação, a atitude de controle do sistema de iluminação do ambiente depende fundamentalmente da percepção do usuário, devido à grande capacidade de adaptação do sistema visual (IESNA, 2000). A percepção dessa variabilidade pelo usuário é subjetiva, pois o sistema visual não identifica quantidades, mas estabelece comparações em relação às condições ambientais: ocorrência de contraste elevado e/ou ofuscamento, em relação à condição dos espaços de transição (HARA, 2006), ou por redução expressiva dos níveis de iluminância. Essas situações alertam a percepção do usuário podendo levá-lo a tomar uma atitude em relação ao acionamento dos interruptores do sistema de iluminação.

Crisp (1978) observou que a posição dos controles tem relação direta com seu uso ou não. Hunt (1979) relata que quando o usuário entra num ambiente onde a iluminação artificial já está ligada e não há percepção de desconforto, os usuários dificilmente acionam ou desligam a luz durante o período de ocupação. Citam também outros motivos para não acionar os controles: para não incomodar outros usuários; para não interromper o trabalho; por não perceberem que as lâmpadas estão ligadas; ou não desligam a luz ao sair.

Abbaszadeh et al (2006) aborda as diferenças no comportamento do usuário em ambientes em planta livre e em escritórios com salas, fato associado à sensação de ausência de privacidade e/ou de apropriação do espaço de trabalho.

Assim, o comportamento do usuário nem sempre corresponde ao previsto seja pela percepção do ambiente, desconhecimento, ou por preferências subjetivas, sendo possível destacar também que os usuários não se sentem responsáveis pelo ambiente de trabalho ou se apropriam deste espaço.

O Regulamento para classificação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas RTQ-C visa classificar a edificação em relação ao consumo de energia. São avaliados três sistemas parciais: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, mais bonificações. Para a etiqueta parcial do sistema de iluminação do RTQ-C são analisados: os pré-requisitos específicos (divisão de circuitos,

contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema), e a densidade de potência instalada. A integração da luz natural e artificial é considerada nos pré-requisitos, especificamente na contribuição da luz natural, mas também está relacionada com a divisão de circuitos. Já o comportamento dos usuários não é avaliado, mas o procedimento indica a necessidade do controle manual de acionamento dos interruptores, que deve ser acessível e localizado de forma visível, e se necessário com informações ao usuário.

Assim, a finalidade de permitir o controle de acionamento do sistema de iluminação é garantir autonomia aos usuários visando assegurar conforto, produtividade e bem-estar. O conforto ambiental da edificação impacta diretamente o bem-estar do homem, mas também depende da interação do homem em relação ao controle dos dispositivos.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi identificar o comportamento do usuário em relação ao sistema de iluminação num ambiente de escritórios de uma edificação que edifício foi objeto de etiquetagem de eficiência energética em edificações pelo método prescritivo do RTQ-C. Se as variáveis analisadas para a etiqueta parcial de iluminação resultam em efetiva integração da luz natural e artificial em relação ao comportamento do usuário.

3 METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento deste estudo utilizou pesquisa bibliográfica, análise do projeto e do procedimento de etiquetagem, medições in loco, observações e questionários.

A edificação foi selecionada dentre os edifícios construídos que obtiveram a etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) para edificações comerciais, de serviços e públicas, e que tiveram entre as medidas de eficiência energética adotadas, soluções para a integração da luz natural e o sistema de iluminação artificial. Dessa forma, a edificação e o ambiente de permanência prolongada em estudo (pavimento tipo – atividade de escritório) foram caracterizados, em relação aos seus requisitos de projeto e dos parâmetros analisados no processo de etiquetagem, e realizadas medições dos níveis de iluminância in loco. O questionário buscou identificar aspectos comportamentais dos usuários no uso e apropriação do espaço.

3.1 Descrição do local

A edificação selecionada está situada na cidade Belo Horizonte MG, localizada na latitude de 19,56^0 S, longitude 43,56^0 O, e altitude de 850 m. O município está classificado como ZB 03. As estratégias que influenciam a entrada e distribuição da luz natural em relação à posição e dimensionamento das aberturas: diminuir a exposição ao sol com as aberturas localizadas à norte e sul, de dimensões médias de 25 a 40% da

superfície das paredes. Necessário proteger da insolação direta (ABNT, 2003).

Com relação à disponibilidade de luz natural foram considerados os dados obtidos pelo software DLN, versã0 2.06, para dias luminosos típicos mensais, bem como a luz difusa disponível na cidade onde a edificação se situa.

No RTQ-C as recomendações relativas às aberturas e integração da luz natural previstas no atendimento ao pré-requisito de contribuição da luz natural: acionamento da fileira de luminárias próxima das aberturas de forma independente. Esse pré-requisito está relacionado com a divisão de circuitos e facilidade de acesso aos interruptores (controle manual), assim como em relação ao comportamento do usuário, pois prevê o acionamento independente das fileiras próximas as aberturas.

Este estudo analisa as condições de iluminação natural e, portanto, as recomendações que serviram de base para a análise dos resultados: as dimensões, a posição e a proteção das aberturas, pois se referem diretamente às condições luminosas do ambiente.

3.2 Descrição da edificação

A edificação foi selecionada dentre os edifícios construídos que foram avaliados pelo procedimento de etiquetagem conforme Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações. Comerciais, de Serviços e Públicas RTQ-C (INMETRO, 2009).

O edifício Robson Braga de Andrade, sede da FIEMG Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (Figura 1), está localizado na região da Av. Contorno em Belo Horizonte, região consolidada e verticalizada. O edifício foi avaliado segundo o método prescritivo do RTQ-C, na primeira versão publicada deste procedimento de etiquetagem (INMETRO, 2009). A etiqueta global (Figura 2) com classificação final "A" obtida pela edificação no ano de 2010 resultou da combinação da avaliação dos sistemas parciais e da bonificação.

Fig.1 – Edifício, e 2 – Etiqueta.





Fig. 3 e 4 – Detalhe da fachada: vidro e granito.





Fonte: www.aecweb.com.br / www.skyscrapercity.com (acesso em maio/2014)

A edificação tem 18 pavimentos, com quase 15 mil m² de área total construída. É composto de subsolo, térreo, dois pavimentos de garagem, um pavimento de restaurante, um pavimento em pilotis com auditório, e onze pavimentos tipo (7º ao 14º andar) que abrigam os escritórios. As fachadas são em granito cinza claro jateado e vidro de controle solar com fator solar

FS 0,43 (Figuras 3 e 4), e a cobertura de laje de concreto na cor branco neve.

3.3 Descrição do ambiente analisado

O ambiente de permanência prolongada analisado foi um dos pavimentos em planta livre (Figura 5), entre os pavimentos tipo do 7º ao 14º andar, cuja atividade é de escritório. Para esse ambiente, foram realizados: levantamento das características do ambiente, medição dos níveis de iluminação, e entrevistas sobre o comportamento dos usuários no uso e apropriação do espaço.

Com relação especificamente ao sistema de iluminação, foram definidos:

Atendimento aos pré-requisitos:

- a divisão de circuitos, como controle manual (interruptores), e controles diferenciados nas fileiras próximas as janelas para assegurar a contribuição da luz natural;
- a área do pavimento ≤ 1000,00 m^2 foi dividida em áreas de até 250,00 m^2;
- o desligamento automático do sistema de iluminação.

Procedimento de avaliação:

- níveis de iluminância requeridos pela NBR 5413 (norma válida em 2009) para atividade de escritório (500lux), bem como os níveis calculados de projeto, de início e final de vida útil;
- cores claras nas paredes, teto e mobiliário dos ambientes (ρ_{med}=0,75);
- luminárias com lâmpadas e reatores de alto rendimento: os ambientes são iluminados por luminárias conforme distribuição mostrada na Figura 6, cada qual com 3 lâmpadas fluorescentes T5 de 14W (que em função da refletância do ambiente receberam três lâmpadas ao invés de quatro, resultando numa economia de 25% da potência instalada). As luminárias possuem aletas para evitar ofuscamento.

Figura 5 – Ambiente em planta livre.



Figura 6 – Distribuição das luminárias no ambiente.

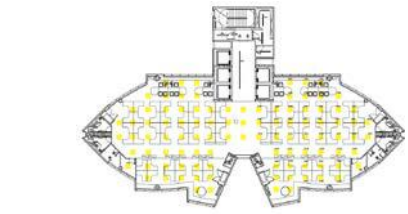
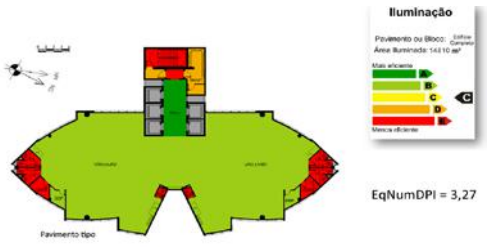


Figura 7 – Etiqueta parcial de iluminação.



Fonte: LABCON EA/UFMG, 2010.

Como resultado a avaliação obteve para os ambientes de escritório (permanência prolongada) a classificação "B" (Figura 7).

3.4 Medições in loco

Foram realizadas três medições no local do estudo, no período de verão, durante o mês de fevereiro de 2013, pela manhã (entre 9:00 e 11:00hs), com condição de céu claro. Os níveis de iluminância foram medidos num ambiente de escritório em planta livre, do pavimento tipo, considerando:

- situação real – parte das persianas fechadas e luzes acesas;
- persianas abertas e luzes apagadas;
- persianas fechadas e luzes acesas.

Os equipamentos utilizados foram 02 luxímetros, posicionados sobre o plano de trabalho (0,75m) e junto à abertura.

3.5 Questionário

O questionário busca obter os resultados da percepção de usuários, de caráter qualitativo, para compará-los com dados de projeto e resultados de medições, de caráter técnico e quantitativo.

O questionário desenvolvido para análise do comportamento do usuário, baseado na pesquisa de Ochoa, 2010 e em técnicas de avaliação pós-ocupação APO (ORNSTEIN e ROMERO, 1992), foi estruturado com perguntas objetivas, de múltipla escolha, visando à identificação das características do usuário e do ambiente de trabalho:

- do usuário (idade, sexo, turno de trabalho);
- do ambiente (quantidade e distribuição das janelas, tipo de vidro, persianas e interruptores);
- e posto de trabalho (lay-out e distância das janelas, equipamentos, superfícies e cores);

e de percepção do usuário:

- em relação ao ambiente e condições de iluminação (homogeneidade, brilho, reflexo, sombra, contraste, ofuscamento);
- em relação ao comportamento (preferências, frequência e motivo para controle de persianas e interruptores).

Os questionários foram entregues aos usuários do ambiente, sendo respondido no momento das medições. Do total de usuários do ambiente 82% responderam ao questionário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados consideraram os aspectos quantitativos apresentando os níveis de iluminância do ambiente nas condições previamente descritas, e aspectos qualitativos em relação à percepção do usuário, analisados a partir dos resultados dos questionários e observações no local.

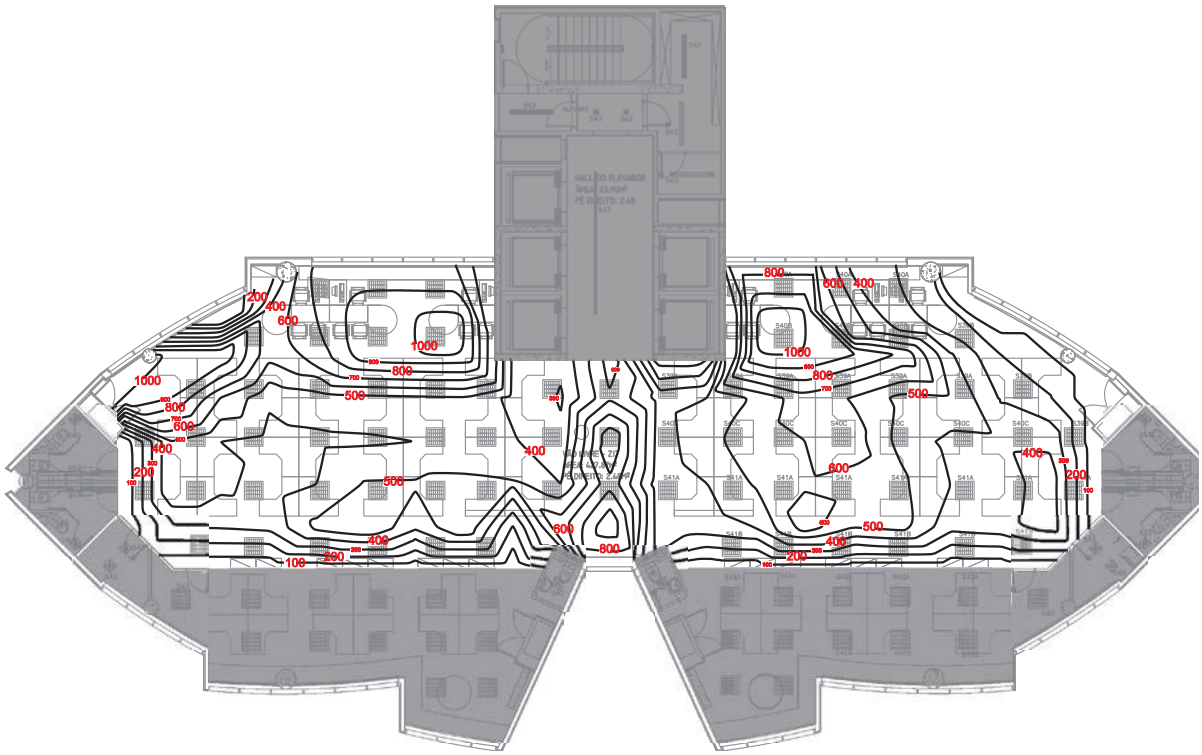
4.1 Resultados das medições in loco

Os resultados obtidos revelaram que para as medições realizadas nas condições de uso, com parte das persianas fechadas e luzes acesas (Figuras 5 e10), os níveis de iluminância (Figura 8) estão de acordo com as necessidades das atividades realizadas, bem como sua distribuição no ambiente através do uso dos sistemas de iluminação artificial. A variação nos valores se dá em função do lay-out e localização das luminárias, ou seja, se o plano de trabalho onde foi posicionado o sensor estava sob a luminária.

Na Figura 8, próximo à janela com as persianas abertas se tem os maiores valores registrados (máx. de 4000lux). Os menores valores se concentram no corredor próximo a caixa de elevadores, e à direita, próximo aos banheiros e armários (80 lux).

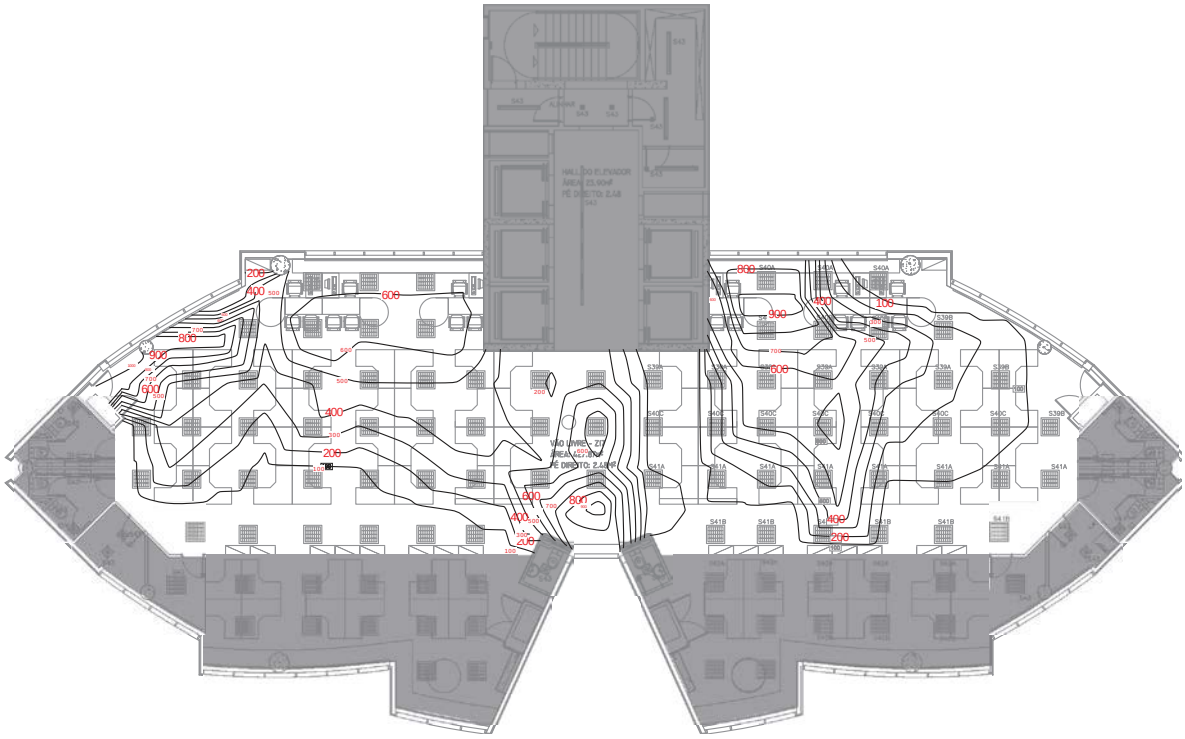
Para a Figura 9 se observa apenas a distribuição resultante da luz natural (o sistema artificial foi desligado durante a medição). As linhas isolux mostram os maiores valores junto as aberturas, no eixo do hall no corredor central com 900lux, e nas janelas na face oeste sendo à direita com os valores máximo registrado 4000lux, e à esquerda observou-se o efeito do autossombreamento do bloco de circulação vertical e níveis de 600 a 900lux. A contribuição da luz natural é significativa, mesmo com parte das persianas fechadas, assim como se percebe uma significativa influência da forma e autossombreamento do edifício na distribuição da luz natural.

Figura 8 – Iluminância em uso: luz natural e artificial, em uso.



Fonte: Os autores.

Figura 9 – Iluminância: apenas luz natural, lâmpadas apagadas.



Fonte: Os autores.

4.2 Resultados dos questionários

4.2.1 Caracterização dos usuários

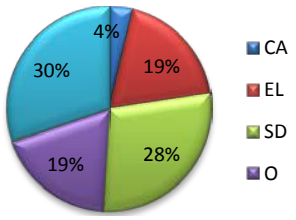
Foram coletados dados para caracterização do usuário do ambiente em estudo, como idade, sexo e turno de trabalho. A maioria dos usuários é constituída por mulheres (62%); 75% dos usuários tem idade acima de 31 anos; e o turno de trabalho é diurno, não há turno noturno.

4.2.2 Percepção do usuário em relação ao ambiente de trabalho

Foram coletados dados da percepção do usuário sobre seu ambiente de trabalho como: quantidade e distribuição de janelas no ambiente, tipo de vidros, dispositivos de proteção solar, controle do dispositivo de proteção solar, com que frequência e motivo. Os resultados são apresentados a seguir.

No Gráfico 1, os usuários se manifestaram em relação ao motivo para controlar as persianas, sendo: 30% em função do calor, 28% em função da ocorrência de sol direto sob o plano de trabalho, o excesso de luminosidade e outros motivos aparecem com 19% cada, não respondeu 4%. Alguns dos motivos comentados pelo usuário sobre o controle das persianas resultam da irradiação térmica do vidro e da recomendação de mantê-las fechadas em função do sistema de condicionamento de ar.

Gráfico 1: Controle das persianas



Legenda:
CA - calor; EL - excesso de luminosidade; SD - sol direto; O - outros; NR - não respondeu.

Fig. 10 – Ambiente de trabalho.

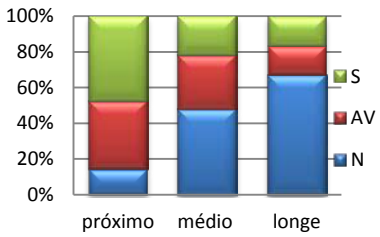


Fonte: Os autores.

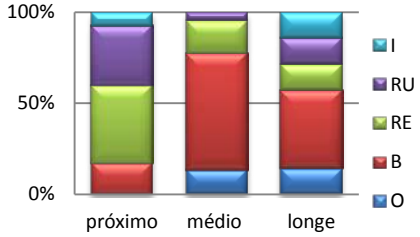
No entanto, as respostas acerca do controle das persianas observa-se que 60% dos usuários distantes da janela não costumam regulá-las, e mesmo aqueles que estão em postos de trabalho próximos às janelas apenas 50% as regulam com frequência (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Controle das persianas em relação ao posto de trabalho.

Gráfico 3 – Quant. de janelas em relação à proximidade do posto de trabalho.



Legenda:
S - sim; AV – às vezes; N - não.



Legenda:
I - Insatisfatório; RU - Ruim; RE - Regular; B - Bom; O – Ótimo.

Fonte: Os autores.

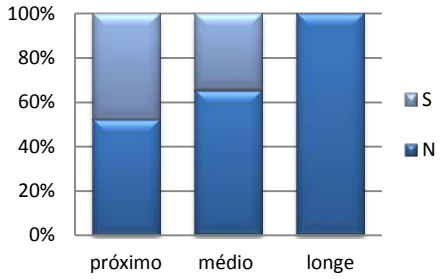
Com relação à quantidade de janelas (Gráfico 3) a maioria dos usuários classifica como ótimo e regular independente da distância do posto de trabalho, sendo que à média distância esse percentual atinge cerca de 80% das respostas. Já a maior situação de insatisfação observada foi nos postos próximos às janelas em que cerca de 30% dos usuários acham ruim a quantidade de janelas, ou seja, em excesso.

4.2.3 Percepção do usuário às condições de seu posto de trabalho

Foram coletados dados da percepção do usuário sobre seu posto de trabalho como: localização em relação à janela, homogeneidade da iluminação, existência de brilhos, reflexos, sombras, contraste, ofuscamento, superfícies e cores.

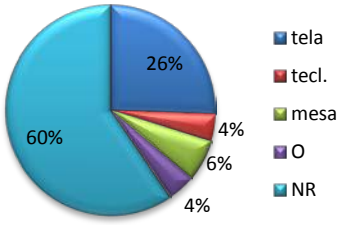
No Gráfico 4 observa-se a ocorrência de reflexos entre os usuários próximos ou à média distâncias das janelas, entre 50 e 35% dos usuários, respectivamente. Com relação a reflexos no plano de trabalho 60% dos usuários informam não ter reflexo, e entre aqueles que relataram reflexos 26% o percebem no monitor dos computadores (Gráfico 5 e 6). Em relação à qualidade da luz no ambiente, 70% relatam ter condição de luz homogênea, 14% relatam a ocorrência de brilho e 10% de sombra no posto de trabalho.

Gráfico 4 – Reflexo no plano de trabalho, proximidade das janelas aos postos de trabalho



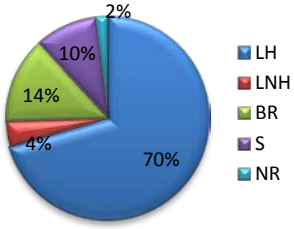
Legenda:
S - sim; N - não.

Gráfico 5 – reflexo nas superfícies



Legenda:
tela; teclado; mesa; O – ofuscamento; NR – não respondeu.

Gráfico 6 – qualidade da luz



Legenda:
LH – luz homogênea; LNH – luz não homogênea; BR - brilho; S- sombra; NR – não respondeu.

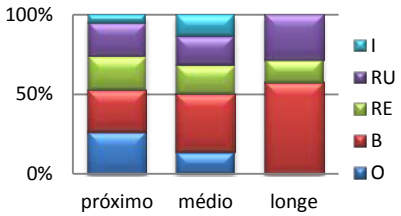
Fonte: Os autores.

4.2.4 Percepção do usuário em relação à luz natural e à luz artificial

Foram coletados dados da percepção do usuário em relação à luz natural no ambiente como: luz direta/difusa, variação da luz natural, quantidade e qualidade da luz natural, satisfação com a luz natural, manchas de sol no posto de trabalho. Os gráficos a seguir apresentam os resultados de preferências do usuário em relação à luz natural (Gráfico 7)

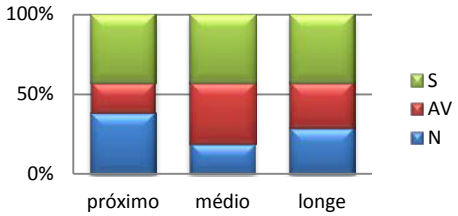
Com relação à percepção da luz natural, os usuários mais distantes relatam satisfação com a quantidade de luz natural, já entre os mais próximos há um percentual equilibrado entre as preferências de resposta. No Gráfico 8 observa-se que os usuários à média distância é que tem menor percepção da variabilidade da luz natural.

Gráfico 7 – Percepção em relação à quantidade de luz natural



Legenda:
I - Insatisfatório; RU - Ruim; RE - Regular; B - Bom; O – Ótimo.

Gráfico 8 – Percepção acerca da variabilidade da luz natural

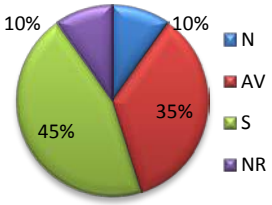


Legenda:
S - sim; AV – às vezes; N - não.

Fonte: Os autores.

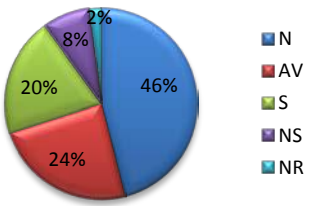
Em relação às preferências (Gráfico 9), observa-se que a maioria dos usuários manifestou preferir a luz natural (difusa) para o desenvolvimento de seu trabalho, sendo 35% sim e 45% às vezes. Para a ocorrência de incidência da luz solar direta no plano de trabalho: a maioria 46% não tem incidência direta, 24% às vezes, e apenas 20% tem ocorrência indesejável (Gráfico 10).

Gráfico 9 – Preferência de trabalhar com luz natural



Legenda:
S - sim; AV – às vezes; N – não; NR – não respondeu.

Gráfico 10 – Frequência incidência da luz solar direta no posto de trabalho



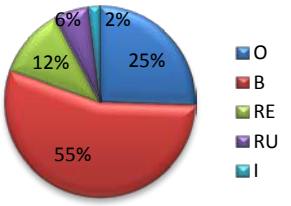
Legenda:
S sim; AV às vezes; N não; NS não sabe; NR não respondeu.

Fonte: Os autores.

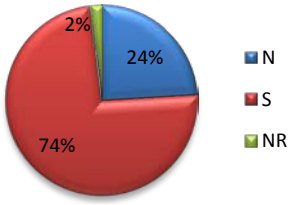
Gráfico 11 – Percepção da quantidade de luz artificial no ambiente

Gráfico 12 – Usuário tem percepção que há interruptores acessíveis?

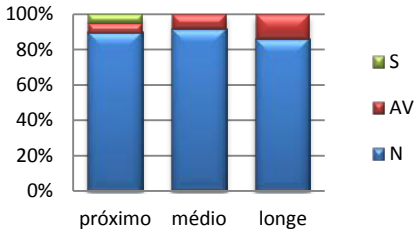
Gráfico 13 – Controle dos interruptores em função da proximidade dos mesmos.



Legenda:
I - Insatisfatório; RU - Ruim; RE - Regular; B - Bom; O – Ótimo.



Legenda:
S - sim; N – não; NR – não respondeu.



Legenda:
S - sim; AV – às vezes; N – não.

Fonte: Os autores.

Com relação à iluminação artificial, foram coletados dados da percepção do usuário no ambiente: quantidade e qualidade da luz artificial, necessidade de complementação da luz natural, período de utilização, acesso e uso dos sistemas de controle da luz artificial, manutenção das lâmpadas e luminárias. As respostas em relação à iluminação artificial (Gráfico 11) demonstram satisfação da maioria dos usuários, 80% responderam ótimo e bom.

Em relação ao controle dos interruptores (Gráficos 12 e 13) nota-se que embora conheçam a existência dos mesmos, não fazem uso do dispositivo de controle independentemente da proximidade do mesmo.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que para o sistema de iluminação artificial do RTQ-C foram atendidos os pré-requisitos específicos, e para o ambiente de escritório os níveis de iluminância nos postos de trabalho atendem as normas quando integrados a luz natural e artificial.

Através das observações e entrevistas, verificou-se que: a luz artificial permanece ligada o dia inteiro independentemente da disponibilidade da luz natural; o usuário desconhece a divisão dos circuitos e da fileira de acionamento independente próximo às janelas; o usuário embora saiba que há um dispositivo de controle da luz artificial, não o utiliza; nem o controle das persianas é efetivo, sendo acionada apenas em função do calor. Tais resultados confirmam as conclusões de pesquisas anteriores, pois não se observou no ambiente, contrastes expressivos nos níveis de iluminância entre espaços fim e transição, não sendo possível identificar diferenças de percepção. Dessa forma, o comportamento dos usuários no controle de dispositivos seja sobre as persianas ou interruptores não ocorre efetivamente.

Ressalta-se que há potencial para reduções de consumo do sistema de iluminação caso algumas medidas sejam consideradas: conscientização do usuário quanto aos controles e a eficiência energética, introduzir a iluminação de tarefa com autonomia do usuário para seu acionamento, identificar graficamente o acionamento dos interruptores, posicionar os interruptores do circuito próximo às janelas perto dos usuários que trabalham nessa área ou utilizar sensores fotométricos para regular seu acionamento.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à FAPEMIG pelo auxílio financeiro, e à FIEMG que permitiu o desenvolvimento deste estudo no Edifício sede da FIEMG, em Belo Horizonte MG.

REFERÊNCIAS

ABBASZADEH, S., ZAGREUS L., LEHRER, D., HUIZENGA, C. Occupant satisfaction with indoor environmental quality in green buildings. In **Proceedings** HEALTHY BUILDINGS, Lisbon, 2006. Vol. III, p. 365-370.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

CRISP, V. H. C. **The light switch in buildings**. Lighting Research and Technology. 1978. Vol.10, nº.2, p. 69-82.

IESNA. ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting handbook**: Reference & Application. United States, 9ed, 2000.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Requisito técnico da qualidade para nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.** Brasília: INMETRO, 2009. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?>

HARA, A. H. **Adaptação às condições de iluminação natural:** uma investigação da atitude do usuário sobre a iluminação artificial em salas de aula. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - UFSC, Santa Catarina, 2006.

HUNT, D. R. G. The Use of Artificial Lighting in Relation to Daylight Levels and Occupancy. In **Building & Environment**. Pergamon Press Ltd. Great Britain, vol. 14, 1979. P. 21-33.

OCHOA, J. H. **Análise do Conforto Ambiental em Salas de Aula da Universidade Federal de Goiás**. Goiânia, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pósgraduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

KEYVANFAR, A., SHAFAGHAT, A., MAJID, M. Z. A., LAMIT, H. B., HUSSIN, M. W., ALI, K. N. B., SAAD, A. D. User satisfaction adaptive behaviors for assessing energy efficient building indoor cooling and lighting environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** V 39. 2014. p 277–295.

MOREIRA, D.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. O Programa Arquitetônico. In: **O processo de projeto em arquitetura.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

ORNSTEIN, S.; ROMERO, M. **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo: Studio Nobel, 1992.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

RENOVAÇÃO DE AR EM EDIFÍCIOS: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CÁLCULO[1]

LEITE, Renan C. V. (1); FROTA, Anésia B. (2)

(1) UNIFOR, e-mail: renancid@bol.com.br; (2) FAUUSP, e-mail: arfrota@uol.com.br

RESUMO

A previsão do comportamento das correntes de ar e o cálculo das taxas de renovação do ar em edifícios são fundamentais ao conforto térmico. Entretanto, a previsão do potencial da ventilação natural para atender a estes requisitos torna necessário o cálculo do fluxo de ar que atravessa as aberturas em um determinado período. Os métodos de cálculo variam desde algoritmos simplificados a ensaios com modelos físicos, modelos embutidos em programas de desempenho térmico, até códigos CFD. Comumente, são necessários dados nem sempre disponíveis ou adequados para os cálculos envolvendo a ventilação natural. Neste estudo, dois dos mais comuns algoritmos disponíveis para previsão das taxas de renovação do ar são comparados a um método simplificado e ao modelo CFD para calcular a vazão de ar em um apartamento utilizado como modelo. As principais dificuldades na obtenção de dados em cada método, variações nas metodologias utilizadas e as diferenças entre os resultados das simulações e modelos analíticos são discutidas. Os resultados demonstram que as diferenças entre os dados interferem significativamente nos valores calculados. Avanços na determinação das taxas de renovação do ar são fundamentais para avaliações mais adequadas do desempenho térmico no ambiente construído.

Palavras-chave: Vazão de ar. Métodos de cálculo. Simulação computacional.

ABSTRACT

Predicting the air movement and airflow rates in buildings is essential for reaching thermal comfort. However, predicting natural ventilation potential to meet this requirements makes necessary airflow calculation that crosses the openings in a given period. The calculation methods vary since simplified algorithms to physical models, thermal performance built-in models to CFD codes. Commonly, often unavailable nor inappropriate data is required for the calculus involving natural ventilation. In this research, two of the most applied and available algorithms to predict air changes rate are compared to a simplified method and a CFD model to calculate airflow in an apartment used as a model. Important difficulties in obtaining data for each applied method and the differences between simulation and analytical model results are discussed. Results indicate that the differences between data significantly interfere in calculated values. Advances in determining air changes rates are fundamental to more precise thermal performance evaluations in the built environment.

***Keywords**: Airflow rate. Calculation methods. Computational simulation.*

[1] LEITE, Renan C. V.; FROTA, Anésia B. Renovação de ar em edifícios: comparação entre métodos de cálculo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das características específicas dos fluxos que atravessam um determinado ambiente, assim como o cálculo da vazão de ar em edifícios, torna-se necessário por razões de conforto térmico e pelo potencial de economia de energia (SWAMI; CHANDRA, 1987; ALLARD, 1998). Tais aspectos são fundamentais diante das atuais necessidades que se colocam de sustentabilidade no ambiente construído.

Existem diversas formas de analisar a ventilação natural e prever as taxas de renovação do ar em ambientes internos. Os métodos variam desde algoritmos simplificados que resultam de métodos empíricos (AYNSLEY; MELBOURNE; VICKERY, 1977; SWAMI; CHANDRA, 1987; BS 5925, 1991; ASHRAE, 2001), alguns teóricos presentes em Liddament (1986), até medições precisas que utilizam gás traçador em ensaios com modelos físicos, passando pelos modelos zonais embutidos em programas de desempenho térmico, até a complexidade dos avançados códigos CFD, que reúnem as equações de conservação de massa, momento e energia, baseadas na solução da equação de transporte. De acordo com a técnica utilizada aumentam a complexidade dos procedimentos envolvidos e a precisão dos resultados, elevando os custos para sua execução (ETHERIDGE, SANDBERG, 1996; CÓSTOLA, 2006; MATOS, 2007).

No entanto, a despeito da maior complexidade de um método em relação a outro, invariavelmente são necessários dados de entrada para os cálculos de ventilação natural. A área de abertura e o coeficiente de descarga, o nível de obstrução do entorno e a rugosidade do meio, a velocidade do ar e a pressão sobre as aberturas são algumas das informações necessárias. Considerando que a área de abertura e o coeficiente de descarga são definidos por meio de decisões arquitetônicas baseadas em fatores como custos, tecnologias construtivas disponíveis, plástica do edifício, e que, ao mesmo tempo, o projetista tem pouca ou nenhuma interferência sobre o entorno, conclui-se que a maior dificuldade consiste em definir o campo de pressões devido ao vento incidente sobre as fachadas da edificação e a velocidade dos fluxos, uma vez que estas sofrem alterações mais significativas em função da forma urbana (CÓSTOLA, 2006).

Diante dos obstáculos que envolvem a previsão do campo de pressões devido ao vento, determinante para as taxas de vazão de ar, programas de cálculo do desempenho térmico de edificações como o TAS ou o *DesignBuilder* (*EnergyPlus*), entre outros, comumente solicitam ao projetista a quantidade de renovações do ar por hora. Os valores são estimados com base em cálculos a partir de equações simplificadas ou algoritmos que levam em consideração uma variedade de parâmetros.

Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na previsão das taxas de renovação do ar em ambientes é fundamental para uma avaliação mais precisa do desempenho térmico de edificações. Neste estudo, toma-se um apartamento utilizado em Silva & Saraiva (2005) para comparar os resultados de vazão de ar calculados através de dois

conhecidos métodos a um modelo simplificado e à técnica CFD.

1.1 Objetivo

Avalia-se, neste trabalho, a precisão de um modelo CFD em relação a três diferentes métodos para determinar a vazão de ar em edificações.

Algumas das dificuldades de cada método, as variações nas metodologias utilizadas e as diferenças entre os resultados da simulação e modelos analíticos são discutidas ao longo do estudo comparativo.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O fluxo de ar que atravessa um espaço pode ser provocado pela diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo (efeito chaminé), pela pressão devido ao vento incidente sobre as aberturas do edifício ou pelo efeito combinado de ambos (FROTA; SCHIFFER, 2003; YARKE, 2005).

A influência da temperatura sobre o potencial do efeito chaminé é significativa, sendo associada às características de dimensão e posição das aberturas. Entretanto, na região quente e úmida, e, sobretudo em edificações residenciais, onde as cargas térmicas internas são reduzidas e cujas características construtivas comumente determinam pequenas diferenças entre a temperatura externa e interna, sua influência é reduzida.

Em relação à ventilação natural devido à ação do vento, a distribuição da pressão com que o ar incide sobre as superfícies do edifício constitui um dos parâmetros de maior importância para a ventilação natural. Ao criar zonas de alta e baixa pressão nas diferentes faces do edifício, o vento induz o movimento do ar em seu interior e esses fluxos dependem essencialmente dos coeficientes de pressão nas fachadas. A presença de aberturas nas fachadas pode alterar estruturalmente esse comportamento.

A troca do volume de ar de um ambiente ao longo do tempo em função da ventilação natural depende de uma série de fatores. Além das características determinadas pelo entorno como nível de rugosidade e intensidade de turbulência, a quantidade de aberturas para a passagem do ar, suas dimensões, características, orientação em relação ao vento incidente e a posição que ocupam nas fachadas exercem influência significativa nas taxas de vazão de ar.

Diversos métodos para estimar a vazão de ar estão disponíveis em literatura, variando em função da quantidade de informações solicitadas.

O modelo proposto pela *British Standard* 5925 (1991) para determinar a vazão de ar é um dos mais difundidos para prever a quantidade de trocas de ar que ocorrem em um intervalo de tempo. Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) também apresentam uma equação para calcular a vazão de ar em ambientes. Este modelo é classificado por Bittencourt & Cândido (2005) como uma opção de precisão e simplicidade.

Um método simplificado foi proposto por Silva & Saraiva (2005) para estimar as taxas de vazão de ar. Neste modelo, assume-se que o percurso do ar

através dos ambientes pode ser determinado e compara os ambientes internos a dutos interconectados segundo configurações em série ou em paralelo. Os autores examinaram o fluxo de ar através de cinco aberturas de um edifício residencial utilizado para avaliar o modelo proposto por eles, determinando a vazão de ar devido à diferença de pressão sobre as fachadas.

A Dinâmica de Fluidos Computacional, ou CFD (*Computacional Fluid Dynamics*), pode ser aplicada a diferentes campos do conhecimento. Os códigos CFD têm reconhecida precisão em comparação aos modelos empíricos, maior agilidade e menores custos em relação ao túnel de vento.

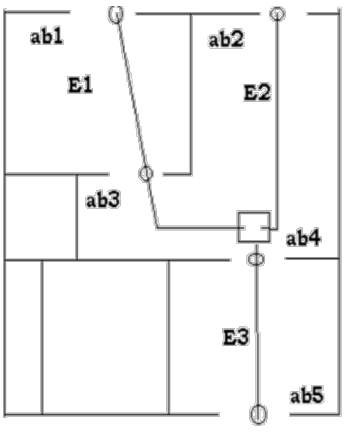
3 MÉTODO

No presente artigo, tomou-se o mesmo apartamento apresentado em Silva & Saraiva (2005) para comparar com os valores de vazão de ar obtidos através dos modelos BRE (1978), Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) e o método simplificado de Silva & Saraiva (2005) com simulações CFD.

O apartamento possui três zonas onde o ar flui (E1, E2 e E3), estando fechados outros dois ambientes, onde não há correntes de ar. As aberturas ab1 e ab2 recebem os fluxos, estando as aberturas ab1 e ab3 em série, cuja resultante é uma ramificação em paralelo com a ab2 e, a partir daí, a equivalente em série com ab4-ab5, como descreve a figura 1.

O cálculo da ventilação interna inclui a perda de carga (ς) que ocorre em fluxos de ar e que tem peso consideravel nos cálculos, como discutido mais adiante.

Figura 1 – Distribuição das aberturas e fluxos no apartamento.



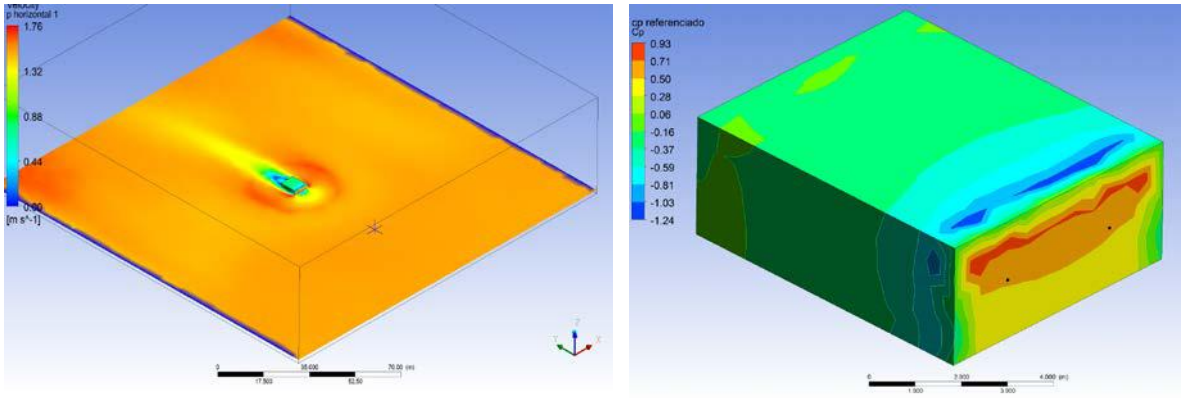
Fonte: Silva & Saraiva (2005)

Utilizou-se o programa ANSYS CFX 13.0. As simulações tridimensionais foram consideradas em regime estacionário, incompressível e turbulento. O modelo K-epsilon padrão foi utilizado. A pressão de referência foi de 1 atm e a temperatura de 25 ^{o}C.

Inicialmente foi simulado o fluxo no ambiente externo do apartamento

utilizado para determinar valores de Cp e velocidade dos fluxos a serem aplicados às equações 1 e 4. O edifício foi inserido em um domínio regular, onde o perfil de vento seguiu o recomendado pela equação 3 (BRE, 1978), como demonstra a figura 2. Como resultados foram gerados dados de Cp para o centro das aberturas, destacadas pelos pontos na figura 2. Estes valores foram tomados nas simulações internas para cálculo da vazão de ar.

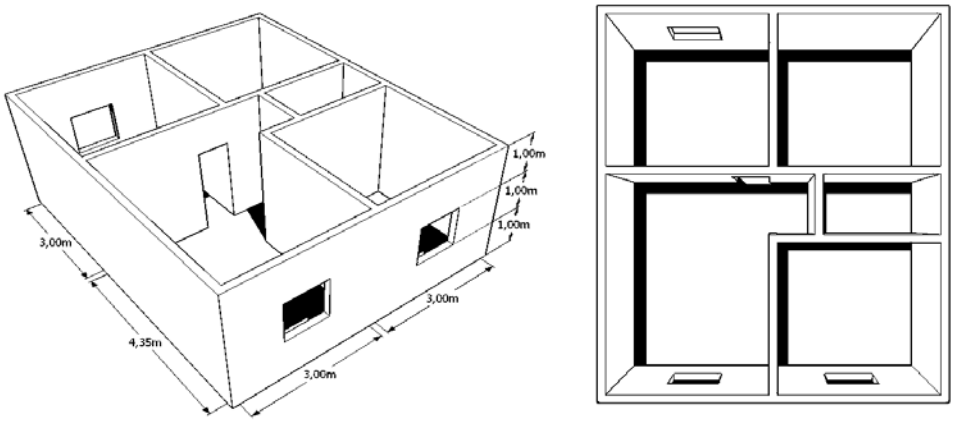
Figura 2 – Fluxos no exterior do apartamento e dados de Cp no centro das aberturas



Fonte: o autor

As aberturas estavam desprovidas de esquadrias e as correntes entram nos dois ambientes a barlavento, saindo pela única abertura a sotavento.

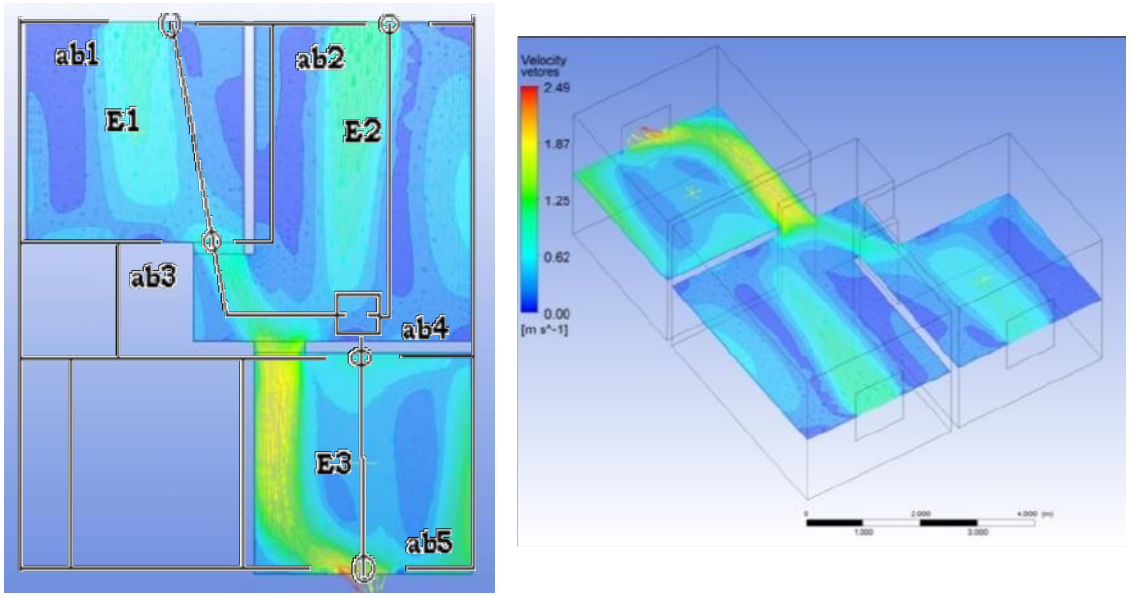
Figura 3 – Perspectiva e vista superior do Edifício utilizado por Silva & Saraiva (2005)



Fonte: Adaptado de Silva & Saraiva (2005)

A partir dos dados de pressão sobre as aberturas calculados em CFD foi realizada a simulação da ventilação no interior da edificação, indicando a vazão de ar. A figura 4 apresenta o esquema de fluxos definido por Silva & Saraiva sobreposto à simulação das correntes de ar.

Figura 4 – Esquema de aberturas e Simulação CFD dos fluxos no apartamento



Fonte: o autor

Faz-se fundamental ressaltar, no entanto, que a determinação da pressão incidente sobre as aberturas, realizada separando-se a simulação dos fluxos externos da análise da ventilação no interior do edifício, aspecto fundamental a esta metodologia, somente foi possível diante da baixa porosidade da fachada do edifício utilizado, calculada em 11,5% de área de aberturas em relação à área total de fachada. Este valor deve ser considerado na aplicação desta metodologia em outras situações, sob pena de produzir resultados imprecisos.

Bittencourt & Candido (2005) concordam que valores de Cp obtidos com base em ensaios em túnel de vento utilizando modelos selados são confiáveis apenas para edifícios com porosidade até 20%, uma vez que que os fluxos que atravessam edificações altamente porosas tendem a reduzir as pressões nas suas fachadas. Seifert et al (2006) advertem o limite de 25%.

Uma vez garantida tal condição à simulação, os mesmos dados de Cp obtidos no modelo CFD foram inseridos em planilha eletrônica contendo tanto o método simplificado empreendido por Silva & Saraiva (2005) como os algoritmos BS 5925 (1991) (equação 1) e de Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) (equação 4). Os resultados foram comparados em termos da vazão de ar obtida em cada caso.

A equação 1 é descrita como parte do método BS 5925.

$$\Phi = Cd.A_0.V.\sqrt{Cpe - Cps} \qquad (1)$$

O valor do coeficiente de perda de carga (Cd) depende da dissipação da energia devido à pressão exercida pelo vento. Seu valor varia em função de características da abertura tais como geometria e a forma como esta

interage com o fluxo de ar. O coeficiente traduz o potencial de energia efetivamente convertido em ventilação natural pela abertura, variando de 0 a 1. Frota & Schiffer (2003) sugerem o valor de 0,6 para Cd, correspondendo às características de aberturas comumente encontradas.

Quanto ao valor da área de abertura equivalente (A_0), este é calculado a partir da equação 2. Diferentemente da soma aritmética realizada na presença de aberturas em paralelo, para os casos onde existam aberturas em série é necessária a adoção do inverso dos quadrados entre a área de entrada do ar (Ae) e a área de saída do ar (As).

$$A_0 = 1/Ae^2 + 1/As^2 \quad (2)$$

O valor da velocidade do ar (V) é obtido a partir da relação entre a velocidade do ar na estação meteorológica (V_0) e corrigido em função da altura da abertura e devido à influência do entorno. Algumas equações para o perfil logarítimico do vento podem ser utilizadas. A equação proposta pelo BRE (1978) estabelece coeficientes k e a em função do terreno. Neste caso, foram adotados os valores de 0,35 e 0,25, respectivamente, representando um entorno urbano. Ainda, para o caso de incidências de vento oblíquas em relação à abertura, a velocidade do ar para a altura desejada (z) deve ser multiplicada pelo cosseno do ângulo formado entre a direção do fluxo e a normal à fachada (Θ), como indica a equação 3.

$$V = (V_0.k.z^a).\cos \Theta \quad (3)$$

O coeficiente de pressão (Cp) é um parâmetro empírico e adimensional que caracteriza o comportamento do fluxo de ar. Este representa as alterações na pressão induzidas pelo movimento do ar e que são causadas por influência das características do entorno sobre o vento local (LIDDAMENT, 1986; ALLARD, 1998). Os valores de Cp modificam-se de acordo com a direção e intensidade do vento, a forma, as dimensões e a orientação da superfície, os obstáculos do entorno e a rugosidade do meio. Assim, cada ponto da fachada que sofre pressão do vento apresenta valores específicos de Cp de acordo para cada direção de vento. A raiz da diferença entre os coeficientes de pressão na abertura de entrada (Cpe)e de saída (Cps) constitui o elemento de maior complexidade nesta equação.

O algoritmo proposto por Aynsley; Melbourne; Vickery (1977) é apresentado na equação 4.

$$\Phi = \sqrt{(Cp_1 - Cp_{n+1}).Vz^2 \;/\; 1/\; Cd^2.\; A_1^2 + Cd_2^2.\; A_2^2 + \ldots + Cd_n^2.\; A_n^2} \quad (4)$$

Onde:
Cp1 é o coeficiente de pressão na abertura de entrada
Cpn+1 é o coeficiente de pressão na abertura de entrada
Vz é a velocidade do ar na altura da cobertura da edificação

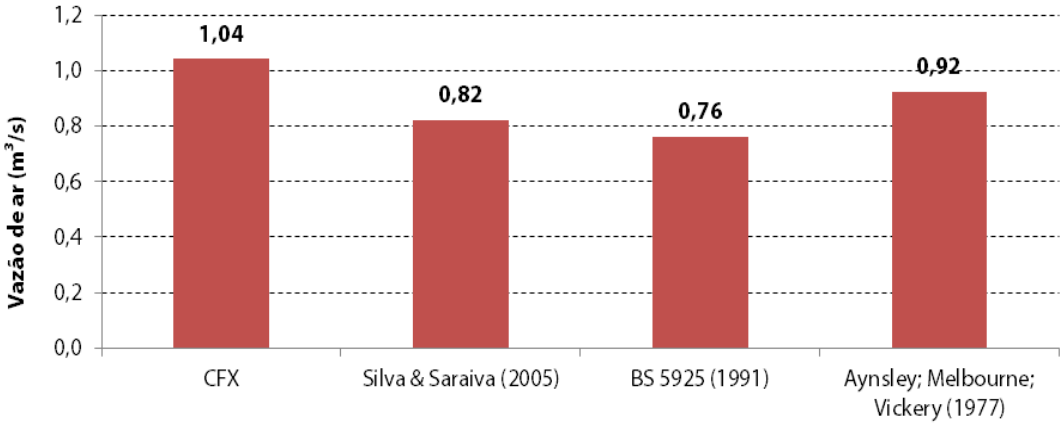
Cd1 é o coeficiente de perda de carga da abertura de entrada
Cd2 é o coeficiente de perda de carga para aberturas internas
Cdn é o coeficiente de perda de carga da abertura de saída
A1 é a área de abertura da entrada de ar
A2 é a área de abertura interna
An é a área de abertura da saída de ar

Os valores de Cd são tomados como valores recomendados em literatura (0,6 para janelas comuns). A maior dificuldade, novamente, reside na determinação de Cp para as aberturas que funcionam como entradas e àquelas que constituem saídas de ar.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A vazão de ar foi de 1,04 m³/s para a simulação CFD, valor 27% superior ao determinado pelo método de Silva & Saraiva (2005). A vazão de ar simulada pelo ANSYS CFX foi 37% mais elevada em relação ao algoritmo apresentado em BS 5925 (1991) e 13% superior ao valor previsto com base no método descrito por Aynsley; Melbourne; Vickery (1977), como resume o gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação da vazão de ar obtida pelos quatro métodos avaliados



Fonte: o autor

A maior vazão de ar obtida através do método de simulação computacional em relação aos demais encontra respaldo em Seifert et al (2006). Em suas investigações simulando a ventilação natural em edifícios, os autores ressaltam que os valores calculados através de CFD foram superiores ao método simplificado nas três configurações testadas.

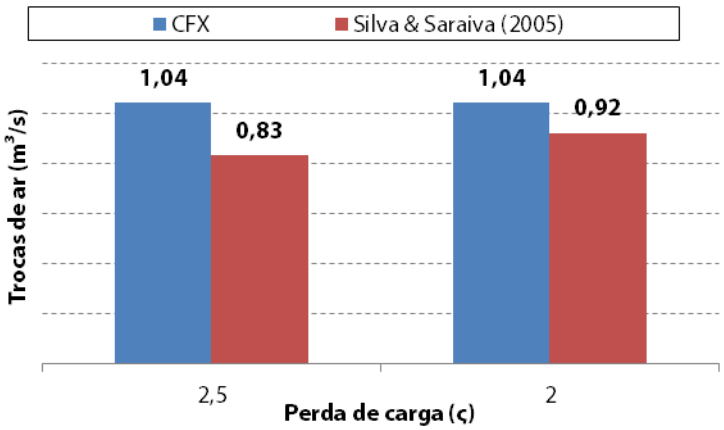
As simulações realizadas por Asfour & Gadi (2007) apresentam diferenças de 3,3% a 7,5% comparadas a um modelo analítico. Ressalta-se, porém, a utilização de modelos demasiadamente simples e de área reduzida, dotados de duas aberturas apenas, o que contribui para a aproximação dos resultados.

Na presente pesquisa, as diferenças entre os algoritmos podem ser explicadas, em parte, pela complexidade conferida aos fluxos desde a sua entrada na edificação, cujas aberturas situam-se em paralelo, passando, posteriormente, por duas configurações em série, o que, possivelmente, compromete a abrangência de tais modelos. Analisa-se, especificamente, a diferença entre o método simplificado proposto por Silva & Saraiva (2005) e os resultados obtidos com a simulação.

A diferença entre os métodos foi interpretada como aceitável pelo professor Dr. Jorge Gil Saraiva, coautor do modelo simplificado. O pesquisador apontou o peso que a perda de carga (ς) assume no cálculo. Em Silva & Saraiva (2005) o valor é de 2.5 e foi estimado a partir de ajustes realizados em análises utilizando apartamentos reais. Nestas foi contabilizado o efeito do mobiliário e dos equipamentos presentes nestes ambientes, que contribuem para as perdas adicionais que ocorrem na passagem dos fluxos. No caso do método numérico, existem problemas associados à passagem do ar pelas aberturas, somente contornável com a adoção de malhas extremamente pequenas ou determinando condições de fronteira adicionais específicas para considerar tais efeitos.

A simples redução no valor da perda de carga para 2, mais adequado para o caso das simulações em CFD, uma vez que inexistem obstáculos internos, representa uma aproximação maior na vazão de ar entre os dois métodos, resultando em uma diferença de 13%, como indicado pelo gráfico 2.

Gráfico 2 – Peso da variável perda de carga (ς) nos cálculos de vazão de ar



Fonte: o autor

Com a correção realizada, o valor obtido pelo método simplificado se aproxima ainda mais do resultado da simulação. Ao mesmo tempo, alcança os 0,92 m³/s do modelo de Aynsley; Melbourne; Vickery (1977). Assim, dois modelos tem diferença de pouco mais de 10% do valor alcançado pelo modelo CFD.

Em relação ao modelo BS 5925 (1991), a redução da perda de carga de 0,6 para 0,65 eleva o valor para 0,82 m³/s. Ao se reduzir ainda mais sua influência, situando o valor em 0,8 obtém-se o valor de 1,02 m³/s, muito

próximo do obtido no modelo CFD. Concorda-se, assim, com as observações de Cóstola; Alucci; Etheridge (2009) quanto ao peso que assume o valor determinado como perda de carga, pois este afeta linearmente a quantidade de energia disponível na abertura e seu valor possui mesma importância que o da área da abertura.

Muito embora se verifique a proximidade dos resultados para o caso da edificação avaliada, faz-se necessário destacar a incapacidade de algoritmos simplificados em abranger situações mais complexas encontradas em edificações reais, nas quais há um número maior de aberturas e ambientes.

Dispostos em diferentes configurações, tais situações levam a uma maior complexidade no comportamento dos fluxos diante das pressões que se colocam às fachadas. No caso do método proposto por Silva & Saraiva (2005), sua aplicação somente é possível quando é possível definir, ***a priori***, o percurso dos fluxos no interior dos ambientes, aspecto nem sempre viável ou facilmente reconhecido. Nestes casos, comumente chega-se a um número de variáveis (velocidade do escoamento em cada fronteira) impraticável para o cálculo simplificado, o que torna fundamental a simulação computacional.

Acrescente-se, ainda, o campo de pressões sobre as fachadas em ambientes urbanos, reiterando a necessidade de determinar a vazão de ar a partir de um modelo numérico capaz de lidar com tal nível de complexidade.

5 CONCLUSÕES

Awbi (1999) adverte que algumas simplificações são necessárias como forma de estabelecer algumas relações ou tornar possível prever de taxas de vazão de ar. Entre estas, assume-se que o escoamento do ar acontece de maneira constante ao longo do tempo e em condições isotérmicas, características comuns em ensaios em túnel de vento ou análises fluidodinâmicas estacionárias, porém bastante diferentes do que se verifica na realidade.

Conclui-se que, mesmo diante das diferenças obtidas entre a técnica CFD e os algoritmos difundidos em literatura, é possível compreender que a simplificação destes pode determinar valores mais baixos.

Adicionalmente, além da precisão da simulação em relação aos demais modelos, destaca-se a necessidade em se incorporar a técnica é devido à complexidade vivenciada em edificações reais quanto ao número de aberturas e o desconhecimento do percurso das correntes de ar, o que reforça o papel dos modelos CFD como forma de determinar adequadamente a taxa de vazão de ar em edificações.

Destaca-se, ainda, a possibilidade de realização da metodologia de simulação CFD em duas etapas distintas, separando a análise do vento da avaliação dos fluxos internos e, mais especificamente, calculando a

quantidade de renovações do ar.

As medidas aqui apontadas visam evitar a inserção de valores equivocados ou mesmo o uso de bibliotecas padrão embutidas em programas de cálculo da performance termoenegética de edifícios. Estes foram desenvolvidos em outros países, com técnicas construtivas diferentes, mais isoladas em grande parte dos casos, apresentando taxas de vazão de ar mais baixas em comparação à realidade brasileira, cujos edifícios possuem baixo nível de isolamento, com trocas de ar que ocorrem de maneira mais livre.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

ALLARD, F. **Natural ventilation in buildings: a design handbook**. James & James, 1998.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2001.

ASFOUR, O. S.; GADI, M. B. **A comparison between CFD and network models for predicting wind-driven ventilation in buildings**. Building and Environment 42: 4079 – 4085, 2007.

AWBI, H. B. **Ventilation of buildings**. London: E & FN Spon, 1991.

AYNSLEY, R.; MELBOURNE, W.; VICKERY, B. **Architectural aerodynamics**. Applied Science Publishers Ltd., Londres, 1977.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Principles of natural ventilation**. BRE Digest n. 210. BRE, Garston, 1978 apud Bittencourt & Cândido (2005).

BRITISH STANDARD INSTITUTE. **BSI – BS 5925: Code of Practice for Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation**. Londres, 1991.

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. (Dissertação). Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Tecnologia da Arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CÓSTOLA, C.; ALUCCI, M. P.; ETHERIDGE, D. **Caracterização de janelas no cálculo de vazão por meio do coeficiente de descarga**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. Anais... Natal: ANTAC, 2009.

ETHERIDGE D. W.; SANDBERG, M. **Building Ventilation: theory & measurement**. Chichester: Jonh Wiles & Sons, 1996.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Editora Nobel, 7 ed., São Paulo, 2003.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques - an applications guide**. Grã-Bretanha: The Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), 1986.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em florianópolis utilizando a ventilação natural**. (Dissertação). Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SEIFERT, J.; LI, Y., AXLEY, J.; ROSLER, M. **Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. V. 94, 2006.

SILVA, F. M.; SARAIVA, J. A. G. **A simplified model to estimate natural ventilation flows for simple dwelling layouts**. International Journal of Ventilation 3, 353 – 362, 2005.

SWAMI, M. V.; CHANDRA, S. **Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings**. ASHRAE Research Project 448 – RP. Florida, 1987.

YARKE, E. **Ventilación natural de edificios**. 1 ed. Buenos Aires: Nobuko, 2005.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ADENSAMENTO URBANO E CONDIÇÕES AMBIENTAIS INTERNAS: A INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA SOBRE A RADIAÇÃO SOLAR E O VENTO PARA O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO[1]

LEITE, Renan C. V. (1); FROTA, Anésia B. (2)

(1) UNIFOR, e-mail: renancid@bol.com.br; (2) FAUUSP, e-mail: arfrota@uol.com.br

RESUMO

A manutenção de condições ambientais adequadas no espaço construído é, em grande parte, determinada pelas prescrições edilícias. A limitação ou permissividade construtiva de planos diretores e códigos de obra impõem formas ao tecido urbano, alterando a permeabilidade ao vento e a maior ou menor incidência solar, constituindo o objeto desta pesquisa. Tais aspectos têm reflexos diretos sobre a envoltória de edifícios, questionando-se, portanto, sua influência combinada sobre o desempenho termoenergético de edificações. Objetivou-se comprovar a hipótese de que o maior adensamento urbano através da verticalização é compatível com o conforto térmico em edifícios residenciais naturalmente ventilados durante a maior parte do ano. Partiu-se da avaliação da ventilação urbana em quatro níveis de adensamento construtivo através de CFD, que forneceu dados para simulação do comportamento dos fluxos e renovação do ar em edifício modelo. Avaliou-se o total de horas dentro da zona de conforto segundo o modelo adaptativo da ASHRAE (2004). Em alguns casos, cenários mais verticalizados apresentaram maiores quantidades de horas em conforto mesmo com vazões de ar 40% mais baixas. Desde que mantidas condições para ventilação e resfriamento dos ocupantes, é possível compatibilizar maiores níveis de densidade e condições ambientais satisfatórias em edifícios residenciais.

Palavras-chave: Adensamento urbano. Condições ambientais. Ventilação natural.

ABSTRACT

Maintaining appropriate environmental conditions within the built environment is mainly determined by constructive prescriptions. The limitation or building permissiveness of urban master plans and building codes impose forms to the urban fabric, modifying wind permeability and higher or lower solar incidence, which constitutes the object of this research. These aspects directly affect the building's envelope, questioning its combined influence on building's thermal and energetic performance. The aim is to prove the hypothesis that higher urban density thru tall buildings is compatible with thermal comfort in free running buildings during most part of the year. The research started evaluating urban natural ventilation in four constructive density levels using a CFD code, which provided data to simulate indoor natural ventilation and airflow rates in a model building. Total hours within the thermal comfort zone based on ASHRAE (2004) adaptive model were analyzed. In some cases, more verticalized scenarios pointed out more hours within the comfort zone even with 40% lower airflow rates. Since natural ventilation conditions and occupants refreshing

[1] LEITE, Renan C. V.; FROTA, Anésia B. Adensamento urbano e condições ambientais internas: a influência da morfologia urbana sobre a radiação solar e o vento para o conforto no ambiente construído. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

possibilities are maintained it is possible to match higher density levels and proper environmental conditions in buildings.

***Keywords**: Urban densification. Environmental conditions. Natural ventilation.*

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano constitui desafio na agenda de governos e para o cotidiano dos citadinos. Sob outro viés, no entanto, a urbanização pode ser um meio para alcançar a sustentabilidade. Ao criar espaços de interação social e efervescência cultural, alivia, também, as pressões do crescimento populacional sobre remanescentes rurais. Uma população mais concentrada significa melhor prestação de serviços ao aproveitar a infraestrutura instalada, reduzindo investimentos, deslocamentos e o consumo energético (UNFPA, 2011).

Diversas correntes do urbanismo contemporâneo são categóricas ao afirmar os benefícios do adensamento urbano. Contudo, a relação entre densidade e conforto térmico em edifícios é um complexo equilíbrio entre parâmetros climáticos locais, organização espacial urbana e características arquitetônicas. Mesmo considerando as vantagens da maior concentração urbana, o adensamento tem efeitos diretos sobre o uso e ocupação do solo, por sua vez, determinantes para a qualidade ambiental de edifícios.

O desempenho térmico, as condições de conforto e o consumo de energia em edifícios são, em grande parte, determinados pelas trocas térmicas que ocorrem entre sua envoltória e o entorno imediato. Na maioria dos casos, esse meio é o contexto urbano, com suas formas, dimensões, materiais e tipologias, responsáveis pelas características físicas, térmicas e aerodinâmicas que definirão a qualidade ambiental em edificações.

Nas grandes cidades, a temperatura tende a ser mais elevada e o comportamento dos fluxos de ar é significativamente alterado. A complexa morfologia dos centros urbanos torna imprevisível o comportamento do vento, impedindo a determinação de quais formas comprometerão ou mesmo incrementarão o movimento do ar. Adicione-se a obstrução provocada pelos edifícios, impedindo a incidência de parcelas da radiação solar sobre suas superfícies.

Atuando em conjunto, tais aspectos têm reflexos diretos sobre a envoltória, seja na dificuldade para ventilar as fachadas ou devido ao sombreamento provocado pelo entorno, cabendo o questionamento da sua influência combinada sobre a performance termo-energética de edificações. A forma urbana adensada através da verticalização, recorrentemente abordada sob o viés dos impactos negativos sobre a ventilação natural, poderia contribuir para a melhoria das condições ambientais internas, sendo necessário avaliar diferentes arranjos espaciais urbanos para determinar sua influência.

1.1 Objetivo

Avaliam-se, através de metodologia empreendida, os efeitos combinados

da obstrução ao sol e aos ventos que inevitavelmente resultam do processo de adensamento urbano na qualidade ambiental de edifícios residenciais.

O método vale-se de simulações computacionais em diferentes escalas de abordagem, em etapas sucessivas e complementares, refinando as análises e fornecendo condições de contorno mais precisas para o estágio seguinte.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Atualmente, tem-se buscado não somente a utilização e o desenvolvimento de fontes de energia renovável, mas também, e principalmente, a diminuição do consumo através do uso de estratégias naturais para condicionamento ambiental com objetivo de produzir ambientes mais sustentáveis, confortáveis e saudáveis para os usuários e energeticamente eficientes em seus contextos.

A despeito de sua influência negativa sobre outras variáveis do conforto ambiental, o adensamento através da verticalização pode influenciar significativamente o desempenho térmico de edificações. Ao reduzir parcelas visíveis de céu e sol devido à presença de obstáculos no entorno imediato, diminui-se, também, a radiação solar incidente e absorvida por suas superfícies do edifício. Os impactos dessa obstrução variam de acordo com a latitude e as necessidades de condicionamento local.

Em clima quente, a diminuição da quantidade de radiação solar absorvida pode ser válida para a melhoria das condições ambientais internas. Gupta (1987) investigou a relação entre a forma urbana mais protegida em comparação à ocupação mais aberta em clima quente e seco, enfatizando os benefícios da primeira. A possibilidade efetiva de reduzir a demanda por resfriamento em edifícios comerciais em condições mais adensadas valendo-se de simulações computacionais foi avaliada por Lam (2000) e, mais tarde, por Li & Wong (2007). O aumento nos ângulos de obstrução do céu são acompanhados pela redução na carga térmica interna. Martins; Adolphe; Bastos (2014) abordaram o tema, porém sob a ótica da diminuição no potencial de geração fotovoltaica. A investigação lidava com dois aspectos conflitantes para uma cidade de clima quente e úmido: a redução no potencial para geração de energia e o aumento no consumo devido aos indesejáveis ganhos de calor em edifícios devido ao sol.

A motivação destas pesquisas deve-se ao fato de que o sol constitui a principal fonte de ganhos de calor em edifícios residenciais na região tropical. Nessas localidades não é a temperatura do ar a principal causa de desconforto térmico, mas a temperatura radiante, resultado da incidência solar sobre as superfícies, que irradiam energia para o interior do edifício. Assim, a densidade construída poderia constituir estratégia de resfriamento.

Edifícios mais altos situados em determinados contextos desviam fluxos e elevam a turbulência, podendo gerar zonas de recirculação do ar e criar condições mais favoráveis à ventilação natural se comparadas a trechos nos quais os edifícios possuem a mesma altura, podendo atingir o nível de

pedestre e as aberturas de edifícios mais baixos (GOLANY, 1996; GIVONI, 1998; DUARTE; SERRA, 2003; GONÇALVES, 2003; BRANDÃO, 2010).

O planejamento criterioso da verticalização da paisagem urbana pode determinar, inclusive, maiores velocidades aos fluxos, imprimir maior intensidade ao campo de pressões devido ao vento sobre as fachadas, aumentando as taxas de renovação do ar e contribuindo para a qualidade do ar em edifícios (ALLARD; GHIAUS; SZUCS, 2010). As avaliações em túneis de vento ou através de simulações das correntes em meio urbano representam uma realidade cada vez mais incorporada aos estudos ambientais, porém o avanço consiste na sua incorporação às prescrições edilícias, como em Ng (2008; 2009).

No presente estudo, a opção por uma cidade de clima tropical quente e úmido deve-se ao fato de que, nessas localidades, as principais estratégias passivas para o conforto térmico consistem na ventilação natural associada à proteção solar (FROTA; SCHIFFER, 2003). Ademais, no processo de adensamento através da verticalização pelo qual atravessam a maioria das cidades litorâneas nordestinas, e Fortaleza não foge à característica, é possível identificar, numa série de formas urbanas, situações que retratam as condições de obstrução de parte do percurso solar e ao fluxo de ar que são determinantes para o desempenho térmico de edificações.

Em edifícios residenciais, a carga térmica interna devido à ocupação, iluminação e equipamentos é inferior comparada a outros tipos de edificações, o que contribui para a adoção de diretrizes passivas como forma de reduzir o consumo de energia.

3 MÉTODO

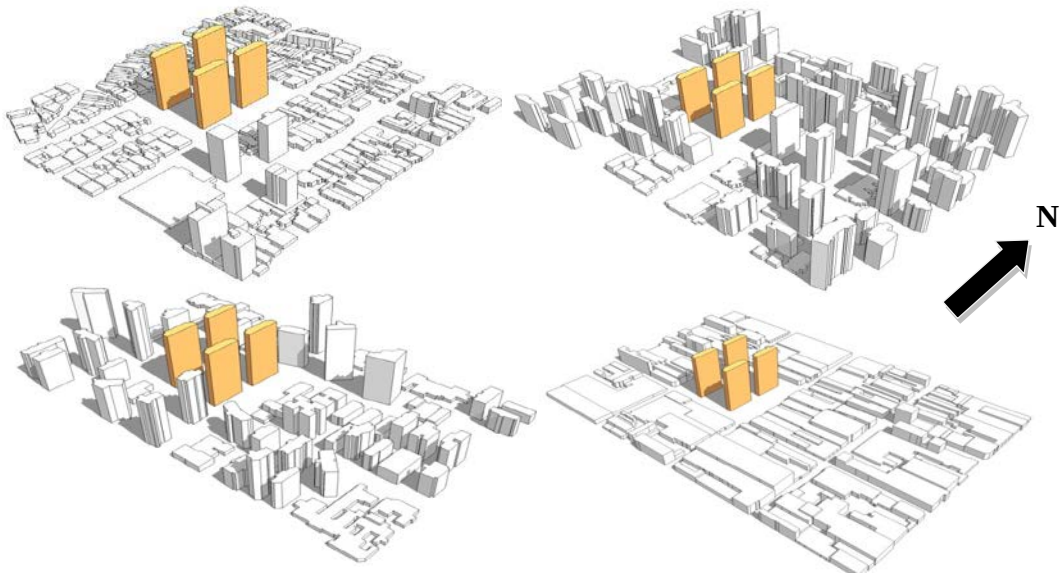
Um dos principais produtos da investigação, a metodologia elaborada teve papel fundamental ao permitir analisar algumas das variáveis que influenciam o conforto térmico de edifícios naturalmente ventilados em escalas de abordagem mais adequadas. Especificamente, para atender o objetivo, empreendeu-se um método para avaliar os impactos da forma urbana adensada sobre o vento e a radiação solar desde a dimensão da cidade até seus reflexos nos fluxos internos e, consequentemente, no desempenho térmico de edificações residenciais.

Diferentemente de outras pesquisas, a abordagem é considerada utiliza diferentes ferramentas de simulação computacional de acordo com o potencial específico de cada uma, em etapas sequenciais e que se complementam a partir dos dados obtidos na fase anterior, fornecendo condições de contorno mais definidas e precisas para o estágio seguinte.

Nesse sentido, a reconhecida qualidade dos modelos CFD foi empregada para analisar o comportamento dos parâmetros ambientais envolvidos no processo de ventilação natural. Simularam-se os fluxos de ar desde o contexto urbano formado por cada um dos quatro diferentes cenários urbanos espalhados pela cidade de Fortaleza. Duas direções de vento

principais (leste e sudeste) foram simuladas, resultando em oito análises. Os cenários, contendo doze quadras, foram modelados num arranjo 3 x 4 (3 quadras de largura e 4 na profundidade) e foram escolhidos devido à sua representatividade quanto à morfologia urbana (figura 1).

Figura 1 – Quatro cenários representativos da densidade urbana escolhidos



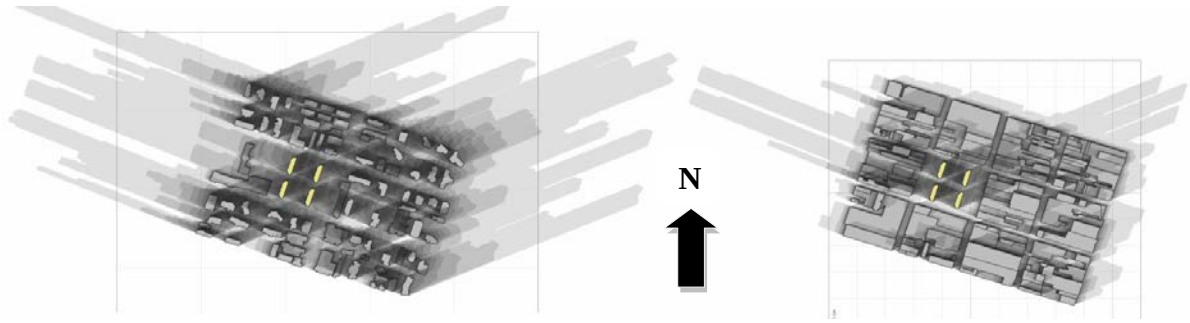
Fonte: o autor

As simulações da ventilação urbana determinaram um campo de pressões diferente sobre as aberturas do apartamento em três pavimentos do edifício modelo formulado. Estes dados determinaram vinte e quatro simulações dos fluxos internos, com diferentes vazões de ar cada.

Finalmente, os dados de trocas de ar por hora obtidos em cada simulação da ventilação interna alimentaram as simulações anuais de desempenho térmico dos ambientes de permanência prolongada (sala, suíte casal e dormitório) nos pavimentos primeiro, décimo primeiro (intermediário) e vigésimo terceiro (abaixo da cobertura).

Utilizou-se o programa *DesingBuilder* 3.2.0, interface gráfica do *EnergyPlus*. Adotou-se o arquivo TMY (8.760 horas). Todos os elementos do entorno foram modelados como elementos adiabáticos, resultando em maior ou menor obstrução à radiação solar, como demonstra a figura 2.

Figura 2 – Diferença de obstrução solar provocada pelos cenários 2 (esq.) e 4 9(dir.)

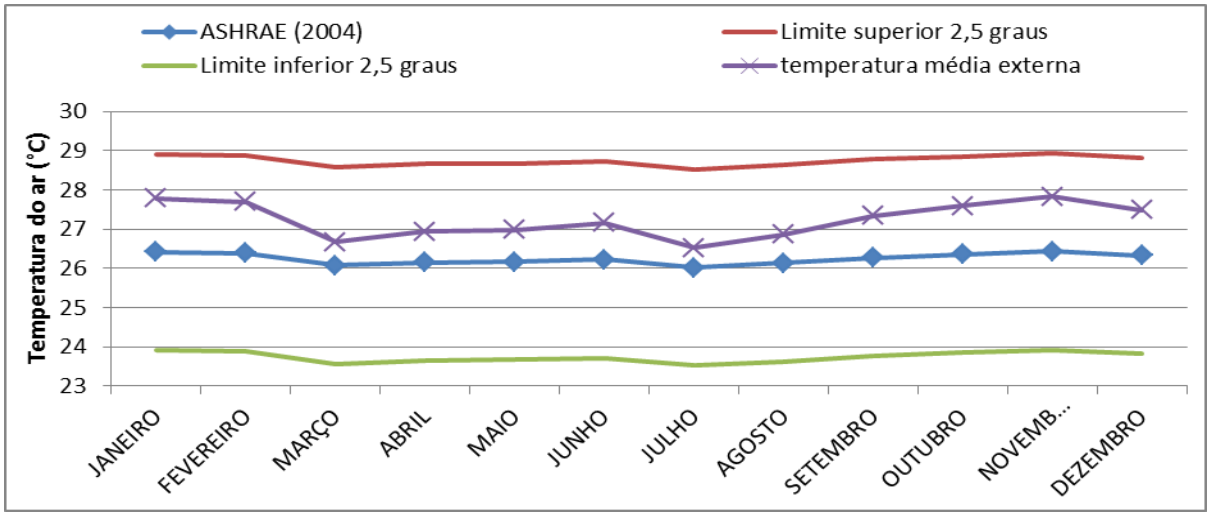


Fonte: o autor

A envoltória é em alvenaria convencional (15 cm) revestida por peças cerâmicas (U = 2,356 W/m². K) e as janelas de correr com vidro simples (FS = 0,86). O padrão de cargas internas considerou a rotina de ocupação de uma família de quatro membros em atividade sedentária, com carga térmica de 6 W/m² devido à iluminação artificial e equipamentos. A ventilação natural permaneceu ativa durante todo o ano.

Os dados de temperatura operativa na suíte, no dormitório e na sala foram comparados ao índice adaptativo da ASHRAE (2004) (gráfico 2). Os resultados são analisados em termos da quantidade de horas dentro dos limites da zona de conforto. Adotou-se o intervalo de 2,5 graus a mais e a menos para retratar o rigor da condição de umidade relativa elevada.

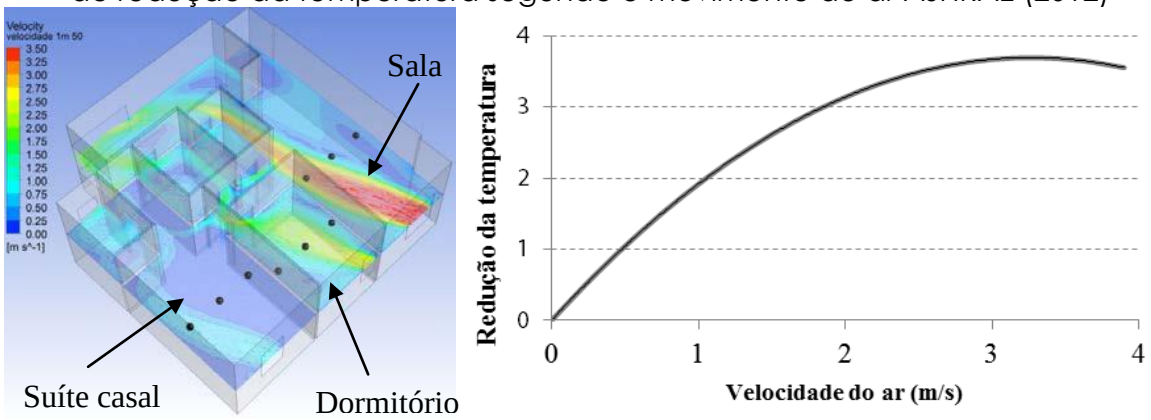
Gráfico 1 – Limites da zona de conforto estabelecida para a cidade de Fortaleza segundo o modelo adaptativo da ASHRAE (2004)



Fonte: adaptado de ASHRAE (2004)

A velocidade do ar no interior dos ambientes foi incorporada à análise dos resultados, calculada como a média entre três pontos alinhados na largura do ambiente, a 1,5 m do solo, como demonstra a figura 4, evitando que correntes concentradas em partes do ambiente segundo a direção do vento no exterior apontassem valores muito elevados ou muito baixos. O potencial para resfriamento fisiológico dos ocupantes, capaz de estender os limites aceitáveis de operativa, foi reconhecido em adendo à norma ASHRAE 55, que definiu valores (ASHRAE, 2012). O gráfico a seguir (figura 3) prevê a ampliação na temperatura operativa aceitável a partir da velocidade do ar.

Figura 3 – Contornos de velocidade do ar em simulação no apartamento modelo e de redução da temperatura segundo o movimento do ar ASHRAE (2012)

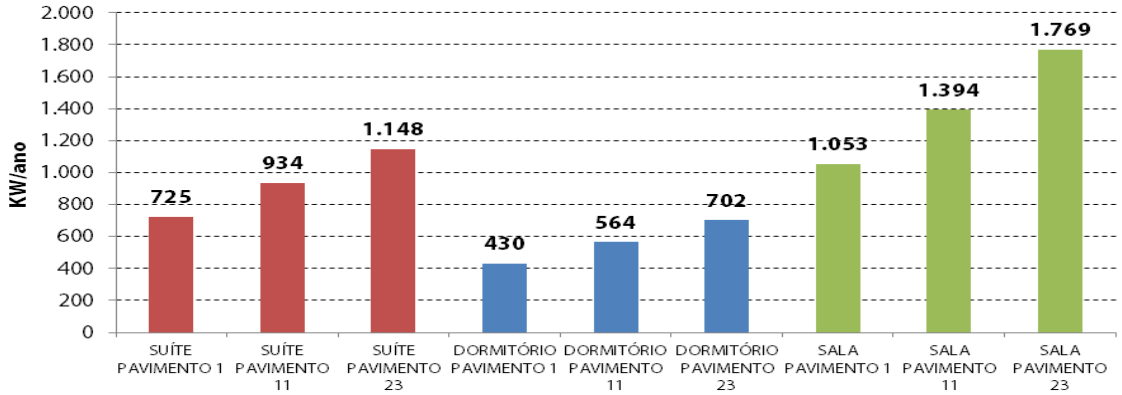


4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, era fundamental confirmar a sensibilidade do programa à obstrução causada pelo entorno, expressando uma redução dos ganhos de calor devido à radiação solar. Paralelamente, a redução da temperatura operativa com o aumento nas taxas de renovação de ar deveria ocorrer. Uma série de testes atestou a capacidade dos algoritmos inseridos no programa quanto aos dois aspectos fundamentais à pesquisa.

No verticalizado cenário 2, por exemplo, a carga térmica anual devido à radiação solar no apartamento no vigésimo terceiro pavimento é 27% maior do que no pavimento intermediário e até 68% a mais comparando-se com o primeiro pavimento, mais obstruído, como resume o gráfico 2.

Gráfico 2 - Ganhos de calor devido à insolação entre os pavimentos no cenário 2



Fonte: o autor

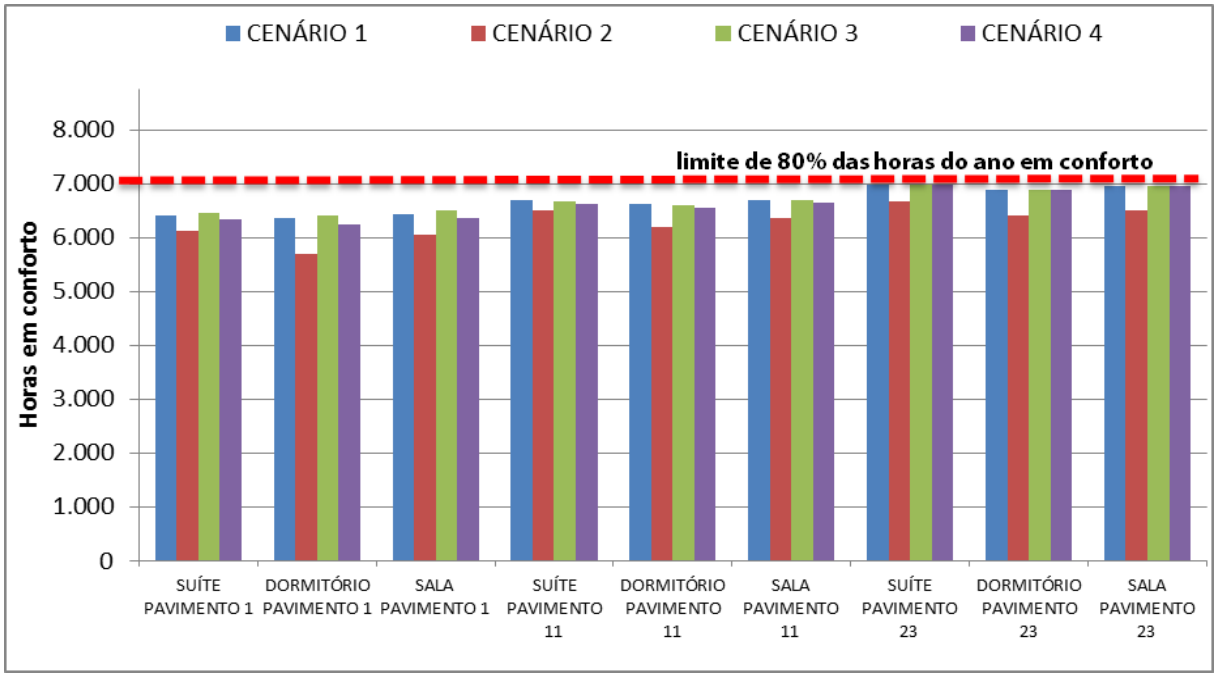
Após a confirmação da influência da obstrução do entorno na redução dos ganhos de calor devido à radiação solar, avaliam-se as horas de conforto em cada caso de acordo com as vazões de ar determinadas às simulações do desempenho térmico.

Os resultados do conjunto de simulações foram exportados para uma planilha eletrônica, reunindo-os segundo a incidência de vento (leste e sudeste), e apresentando-os sob a forma de gráfico. Nestes destaca-se a linha de 80% das horas como o objetivo para representar a maior parte do ano em situação de conforto térmico.

De maneira geral, os ambientes nos quatro cenários obtiveram a maioria das horas do ano dentro da zona de conforto. Os casos fora dos limites estabelecidos como confortáveis somente ocorrem em função do calor e, predominantemente, durante o período da tarde (entre 70% e 90% dos períodos em desconforto). Credita-se a maioria expressiva de horas dentro dos limites da zona de conforto térmico às vazões de ar elevadas em grande parte dos casos simulados. Além das altas taxas de renovação do ar, a menor transmitância térmica das paredes externas, dotadas de revestimento cerâmico, contribui para a qualidade térmica nos ambientes internos.

Analisando os resultados por ambiente, o mais agravado registrou 65% de horas em situação de conforto térmico, enquanto quatorze superaram 79% das horas do ano em que as condições foram satisfatórias, despontando como as melhores situações. Contudo, sem considerar a velocidade do ar para resfriamento dos ocupantes, nenhum destes atingiu o objetivo de 80% do ano (7.008 horas) em conforto, como resume o gráfico 3.

Gráfico 3 – Total de horas em conforto por ambiente nos quatro cenários com vento leste



Fonte: o autor

Com o vento leste, as mais baixas quantidades de renovações do ar ocorrem no cenário 2. Neste cenário, de elevada densidade construída, os ambientes situados no primeiro pavimento alcançaram os piores resultados.

No cenário 1, em contrapartida, os ambientes do no vigésimo terceiro pavimento obtiveram maiores percentuais de horas dentro da zona de conforto, em torno de 79%. Os valores alcançados pelos cômodos nos cenários 3 e 4, nesse mesmo nível, foram bastantes próximos, como pode-se perceber no gráfico 3.

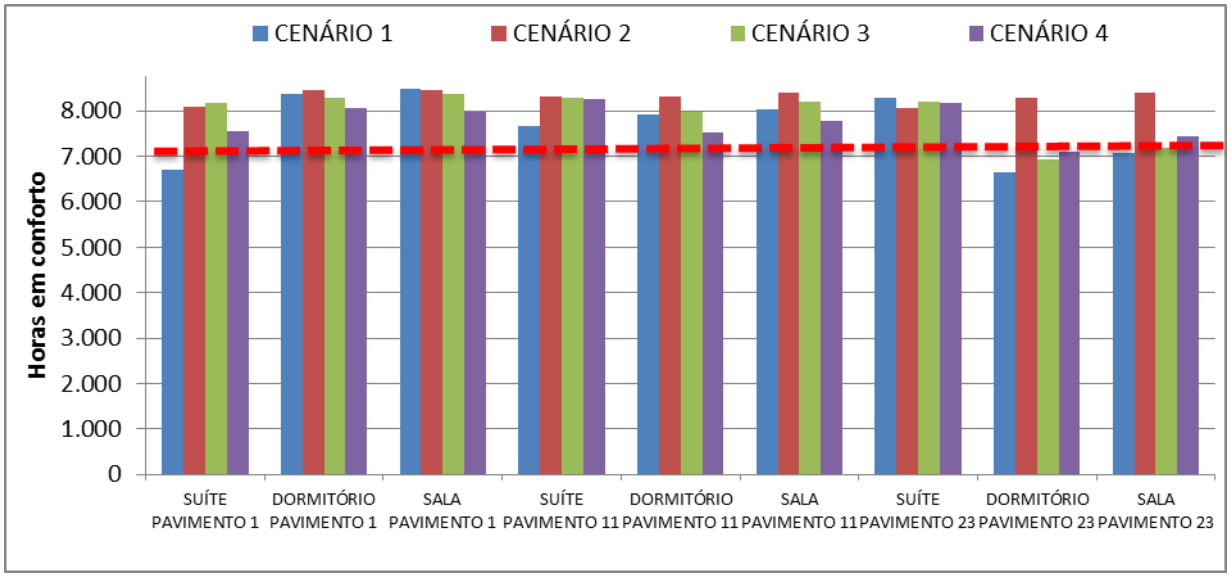
Conclui-se que a obstrução à radiação solar não influencia significativamente a quantidade horas em conforto quando as taxas de vazão de ar são mais expressivas. No entanto, quando se analisam os três ambientes no primeiro pavimento dos cenários 1, 3 e 4, observa-se uma discreta diferença na quantidade de horas em conforto. Entre todos os casos neste nível, o cenário 3 apresentou os melhores resultados. As diferenças na vazão de ar neste cenário são menos de 10% menores do que nos cenários 1 e 4. É possível afirmar, portanto, que o melhor desempenho dos ambientes em meio ao cenário 3 ocorre devido a maior obstrução à radiação solar determinada por esse cenário, cuja verticalização é bem mais expressiva do que nos arranjos 1 e 4.

Com o vento sudeste, as situações em conforto térmico obedecem relações semelhantes àquelas verificadas com o vento leste. Os maiores períodos de conforto foram anotados nos ambientes de pavimentos mais altos, sofrendo reduções nos pavimentos baixos, uma vez que são menores as taxas de vazão de ar.

O que se destaca é a maior quantidade de horas em conforto em todos os ambientes nos pavimentos primeiro e décimo primeiro do cenário 2 em comparação aos demais cenários. Com o vento sudeste, as taxas de vazão de ar no cenário 2 foram significativamente superiores ao vento leste e aproximam-se dos valores dos demais cenários, ainda que mais baixos.

No cenário 2, o primeiro pavimento apresenta taxa de renovação do ar 33% menor do que o verificado no mesmo nível no cenário 3 e 43% inferior em comparação ao cenário 4. No pavimento intermediário persistem tais diferenças, agora 31% menores em relação ao cenário 3 e 41% abaixo do cenário 4. Mesmo diante das menores vazões de ar registradas, o cenário 2 apresenta entre 150 e 370 horas a mais em conforto entre os casos envolvendo ambientes nos pavimentos primeiro e décimo primeiro, como percebe-se no gráfico 4. Tais valores atestam melhores condições ambientais neste contexto devido à redução da carga térmica em função da forma urbana mais obstruída, que promove maior sombreamento.

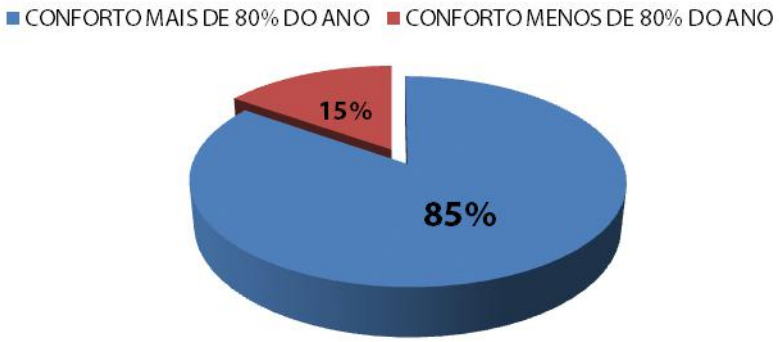
Gráfico 4 – Total de horas em conforto por ambiente nos quatro cenários com vento sudeste



Fonte: o autor

Após rodar a série de simulações de desempenho térmico, acrescentou-se aos resultados os dados de velocidade do ar nos ambientes. A alteração na sensação de desconforto por calor no interior do apartamento é evidente e em 85% dos casos é possível atingir pelo menos 80% do ano em conforto térmico, como indica o gráfico 5.

Gráfico 5 - Percentual de casos com mais de 80% das horas do ano em conforto térmico considerando o movimento do ar nos ambientes



Fonte: o autor

5 CONCLUSÕES

O conjunto de simulações CFD, não detalhadas neste artigo, mas que integram o estudo, indicaram condições específicas de circulação do ar em cada cenário e reforçaram a imprevisibilidade do comportamento da ventilação natural em meio urbano, reforçando a necessidade de avaliar

precisamente as especificidades que o dinamismo formal inerente às cidades determina.

A análise isolada dos ganhos de calor solar atestou reduções significativas devido à obstrução de cada cenário urbano, como esperado. Apesar de impedir que parcelas significativas de radiação solar atingissem as superfícies verticais dos ambientes situados nos pavimentos mais baixos, sobretudo nos cenários 2 e 3, a ventilação natural mostrou-se fator de maior peso sobre o desempenho térmico e, consequentemente, o conforto nos ambientes avaliados.

Contudo, tomando como base seis casos do cenário 2 com vento sudeste, apresentados pelo gráfico 4, e mais quatro casos do cenário 3 com vento leste, expostos pelo gráfico 3, pode-se concluir que, em climas quentes e úmidos, sob condições de ventilação natural semelhantes ou até mesmo um pouco mais baixas, a obstrução ao sol provocada pelo entorno passa a ser fator importante para a melhoria das condições ambientais internas. Os resultados indicam que mesmo que a ventilação natural em contextos urbanos mais verticalizados atinja valores abaixo daqueles verificados em um meio menos obstruído, como as diferenças na vazão de ar entre 30% e 40% menores no cenário 2 em relação aos arranjos urbanos 1 e 4, dentro de certos níveis, o sombreamento pode compensar a ausência de fluxos mais intensos e garantir condições ambientais semelhantes àquelas possíveis em situações urbanas de baixa densidade.

Como visto, o maior nível de obstrução à radiação solar devido aos edifícios altos no entorno não implicou na redução direta da temperatura operativa, uma vez que, em todos os cenários, os pavimentos mais baixos do edifício modelo apresentaram menores períodos de conforto térmico comparados aos apartamentos em níveis mais elevados. Por outro lado, considerando os casos em que não houve diferenças significativas na vazão de ar entre os pavimentos intermediário e o mais alto, como em grande parte das situações envolvendo os cenários 1, 3 e 4, as diferenças na qualidade ambiental interna fundavam-se somente na quantidade de carga térmica devido ao sol acumulada e perdida durante o ciclo diário.

De maneira geral, os resultados corroboram a afirmação de Givoni (1994) quanto à necessidade de priorizar a ventilação natural em relação à orientação solar em regiões quentes e úmidas, uma vez que a vazão de ar mais elevada nos casos em que os ambientes estavam mais expostos sobrepôs-se à influência da quantidade de radiação solar absorvida durante o ano.

Além de outros aspectos não descritos aqui, como valores da diferença de Coeficientes de Pressão (ΔCp) entre as fachadas leste e oeste próximos entre os cenários simulados e baixas correlações entre a vazão de ar e a altura média dos edifícios, a quantidade expressiva de horas dentro da zona de conforto térmico obtida mesmo nos cenários mais verticalizados reforça a hipótese de que maiores níveis de densidade urbana são compatíveis com a manutenção de condições térmicas adequadas em edifícios residenciais.

A inserção dos dados de cada etapa foi realizada manualmente. Acredita-se ser possível desenvolver uma sistematização dos dados para alimentar o estágio de simulação seguinte de forma automatizada, através de interfaces integradas aos programas como forma de aprimorar a metodologia aqui empreendida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

ALLARD, F.; GHIAUS, C.; SZUCS, A. **Natural ventilation in high-density cities**. In: Designing high-density cities for social and environmental sustainability. Edward Ng (org.). Earthscan: Londres, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55-2004: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2004.

_____. **Addendum to ANSI/ASHRAE standard 55 – 2010: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2012.

BRANDÃO, R. S. **Urban microclimate**. In: GONÇALVES, J. C. S. UMAKOSHI, E. M. The environmental performance of tall buildings. London: Earthscan, 2010.

DUARTE, D. H. S., SERRA, G. G. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador**. Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 3: 7 – 20, 2003.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Editora Nobel, 7 ed., São Paulo, 2003.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley and Sons, 1994.

_____. **Climate considerations in buildings and urban design**. New York: John Wiley e Sons, 1998.

GOLANY, G. S. **Urban design morphology and thermal performance**. Atmospheric Environment, 30: 455 – 465, 1996.

GONÇALVES, J. C. S. **A sustentabilidade do edifício alto**. (Tese). Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

GUPTA, V. **Thermal efficiency of building clusters: an index for non airconditioned buildings in hot climates**. In: D. Hawkes (Ed.), Energy and Urban Built Form, Butterworths, UK, 1987.

LAM, J. C. **Shading effects due to nearby buildings and energy implications**. Energy Conversion & Management 41: 647 – 659, 2000.

LI, D. H.W.; WONG. S. L. **Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings**. Applied Energy 84: 1199 – 1209, 2007.

MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. E. G. **From solar constraints to urban design opportunities: optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city**. Energy and Buildings 76: 43 – 56, 2014.

NG, E. **An investigation into parameters affecting an optimum ventilation design of high density cities**. International Journal of Ventilation, n. 4. V.6, 2008.

_____. **Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong**. Building and Environment 44: 1478–1488, 2009.

UNFPA (United Nations Population Fund). **People and possibilities in a world of 7 billion**. United Nations. New York, 2011.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A FORMA URBANA E O FLUXO DE AR EM EDIFICAÇÕES: PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL URBANA E SUA INFLUÊNCIA EM AMBIENTES INTERNOS[1]

LEITE, Renan C. V. (1); FROTA, Anésia B. (2)

(1) UNIFOR, e-mail: renancid@bol.com.br; (2) FAUUSP, e-mail: arfrota@uol.com.br

RESUMO

O aproveitamento da ventilação natural depende das condições de vento no local e da forma como este atinge as fachadas. O campo de pressões sobre as superfícies é um dos principais parâmetros no processo de ventilação natural. Porém, a determinação de dados de Cp adequados é tarefa complexa e quase sempre inacessível aos projetistas. A complexa morfologia urbana e a variabilidade da geometria dos edifícios reduz a aplicabilidade das informações disponível, podendo produzir erros significativos. Propõe-se um método para analisar detalhadamente o comportamento do fluxo de ar desde o ambiente exterior até seus reflexos na ventilação interna. Utiliza-se um modelo de dinâmica dos fluidos computadorizada (CFD) e quatro diferentes cenários representativos da densidade urbana. Formulou-se um apartamento típico para testar a influência da forma urbana em cada caso. A metodologia é aplicável às condições em que o vento domina o processo de ventilação, desprezando-se o efeito chaminé e em edifícios de porosidade reduzida. Quaisquer direções de vento podem ser ajustadas e os principais parâmetros das simulações são descritos. Os resultados apontaram a redução nos valores da diferença de Coeficientes de Pressão (Cp) e menores taxas de renovação do ar de acordo com o nível de adensamento e verticalização em cada cenário.

Palavras-chave: Ventilação natural urbana, Ventilação natural interna, Vazão de ar.

ABSTRACT

The use of natural ventilation depends on wind conditions at the site and how it affects the facades. Pressure field on the surfaces is one of the main parameters involved in natural ventilation process. However, determining suitable Cp data is a complex task and often inaccessible to designers. Complex urban morphology and variability of building geometry reduce the applicability of available information and might produce significant errors. It is proposed a method to analyze airflow from external environments to its effects on internal natural ventilation. A Computational Fluid Dynamics (CFD) code was used and four different representative urban density scenarios. A typical apartment was formulated to test the influence of higher urban roughness in each case. The methodology can be applied in conditions which the wind dominates natural ventilation process, disregarding the air stack effect and in low porosity buildings. Any wind direction can be adjusted and the main parameters involved in simulations are described. Results pointed the reduction of Pressure Coefficients (Cp) difference across facades and lower airflow rates in accordance to the urban density level in each scenario.

[1] LEITE, Renan C. V.; FROTA, Anésia B. A forma urbana e o fluxo de ar em edificações: proposta de método para análise da ventilação natural urbana e sua influência em ambientes internos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Urban natural ventilation, Internal natural ventilation. Airflow.*

1 INTRODUÇÃO

Entre os elementos que compõem o clima, o vento é o que mais facilmente pode ter seu comportamento alterado e, ao mesmo tempo, controlado pelo desenho urbano. A densidade construída, a altura e a largura dos edifícios, a orientação das ruas e o espaçamento entre as edificações, o tamanho e a distribuição das áreas livres são responsáveis pela permeabilidade do vento no meio urbano (GIVONI, 1998).

O nível de rugosidade do meio, os desvios sofridos pelos fluxos, a criação de zonas de redução da velocidade do ar ou mesmo a formação de corredores de aceleração das correntes influenciam diretamente o campo de pressões nas fachadas. A esse processo associa-se a variabilidade formal que os objetos arquitetônicos podem assumir na prática projetual. Combinados, tais aspectos tornam inadequada grande parte das referências contendo dados de coeficientes de pressão (Cp), parâmetro determinante para o processo de ventilação natural, impedindo o uso de bibliotecas padrão, modelos simplificados, paramétricos ou matemáticos e recursos gráficos como forma de obter informações adequadas.

Em edifícios residenciais situados em regiões de clima quente e úmido, onde a maior necessidade é por resfriamento, a ventilação natural constitui a mais simples estratégia para obtenção de conforto quando a temperatura interna é elevada (GIVONI, 1994). Nessas localidades há pouca variação da temperatura do ar ao longo do dia e elevados níveis de umidade relativa, que dificultam o efeito de resfriamento promovido pelo suor. Torna-se fundamental o controle da radiação solar e o incremento da ventilação no espaço urbano e no interior das edificações. Os edifícios devem evitar ganhos de calor do meio externo, dissipando aqueles produzidos em seu interior através do movimento do ar, principal responsável pelo reestabelecimento da condição de conforto térmico (KOENIGSBERGER et al, 1974; FANGER, 1987, AYNSLEY, 1999; FROTA; SCHIFFER, 2003).

Uma limitação à ventilação natural, entretanto, deve-se à redução da velocidade do ar devido aos obstáculos no entorno. A despeito dos benefícios da condição urbana mais concentrada, o maior nível de densidade construída alcançado através da verticalização pode se converter em dificuldade para ventilar as fachadas, comprometendo o potencial de resfriamento proporcionado pelo movimento do ar.

Ao considerar o adensamento como uma das formas mais eficientes para reduzir os impactos ambientais provocados pela condição urbana, e sendo o edifício multifamiliar um produto cada vez mais incorporado à paisagem da cidade, tornam-se necessários meios mais acessíveis para avaliar a influência de cada forma urbana específica sobre a possibilidade de manutenção das condições de ventilação natural em edificações.

1.1 Objetivo

Objetiva-se elaborar um método para avaliar de maneira mais simples os impactos provocados por diferentes formas urbanas na ventilação natural até seus reflexos no comportamento dos fluxos de ar em edificações.

O método pretende-se mais completo e preciso, fugindo às limitações recorrentes ao integrar a análise da ventilação natural em ambientes internos ao que ocorre na escala da cidade.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Quando o ar flui das áreas adjacentes para o ambiente urbano, este se ajusta às novas condições definidas pela cidade. A altura da camada limite atmosférica é elevada e a velocidade do ar próximo à superfície é reduzida. É justamente no nível obstruído desta primeira camada que o fluxo de ar livre tem seu momento transformado em pressão sobre as fachadas de edifícios, afetando o comportamento do vento nas regiões adjacentes.

A presença de obstáculos no entorno modifica o comportamento do vento, invariavelmente elevando a turbulência e diminuindo a sua intensidade, o que pode agravar as condições ambientais internas ao reduzir a possibilidade de arrefecimento da envoltória, a retirada do calor acumulado no interior dos edifícios e o resfriamento dos ocupantes (OKE, 1987). Por outro lado, a complexa morfologia verificada nos centros urbanos torna imprevisível o comportamento do vento. Do ponto de vista do desenho da cidade, a variação da altura de edificações desvia fluxos e pode gerar áreas de maior e menor circulação do ar, atingindo o nível do pedestre e até aberturas de edifícios mais baixos (GIVONI, 1998).

As principais normas disponíveis (ASHRAE, 1985; BS 5925, 1991; CISBE, 1997), apesar de reconhecerem a significativa influência das estruturas urbanas sobre o comportamento do ar no interior das edificações, não contém informação suficiente. Santamouris (2006) adverte que, apesar do desenvolvimento das análises da ventilação natural em edifícios nos últimos cinquenta anos, mais especificamente em relação à medição da vazão e o campo de velocidades do ar, inexistem métodos capazes de abranger as possibilidades que se colocam diante da diversidade de condições.

Muito embora o tema da ventilação natural urbana tenha sido abordado em diversas pesquisas, a interferência da forma urbana no potencial de ventilação para o conforto térmico e a redução do consumo de energia de edifícios permanece pouco explorada (CHEUNG; LIU, 2011). Pesquisas recentes investigaram o potencial da ventilação natural para redução da carga térmica em edificações residenciais (CARRILHO DA GRAÇA et al, 2002; KOTANI; SATOH; YAMANAKA, 2003; PRIYADARSINI; CHEONG; WONG; 2004; LIPING; HIEN, 2007; LIU et al, 2014). Alguns estudos abordam, mais especificamente, a aplicação da estratégia para o conforto térmico na condição tropical quente e úmida (WONG et al, 2002; HIRANO et al, 2006; PRAJONGSAN; SHARPLES, 2012).

A escolha por edificações residenciais deve-se ao fato de que nestas é maior o potencial para aplicação de meios naturais para garantir o conforto térmico. Os ganhos de calor devido à ocupação, iluminação e outros sistemas são menores se comparados a outros edifícios (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Ainda, a adaptação ao campo térmico envolvente também são maiores no ambiente residencial, sobretudo em clima quente e úmido, onde a preferência é pelo maior movimento do ar (ASHRAE, 2004).

3 MÉTODO

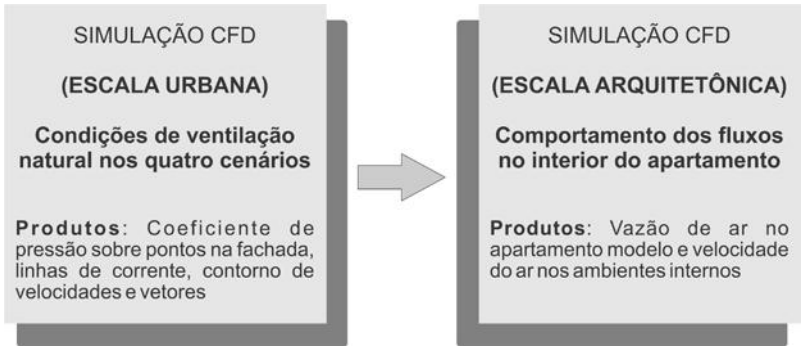
O método empreendido permite avaliar impactos da forma urbana sobre o vento desde a dimensão urbana até seus reflexos no fluxo de ar em edifícios.

A metodologia desenvolve-se em etapas sequenciais e complementares, sendo considerada desassociada porque os dados são incorporados em dois momentos distintos. Busca-se integrar duas escalas de análise diferentes em relação à ventilação natural, evitando, assim, limitações verificadas em pesquisas semelhantes que, na maioria dos casos, não associam as condições de vento no entorno à ventilação natural interna.

Comumente, análises dos fluxos de ar na edificação assumem dados de Coeficientes de Pressão (Cp) e taxas de renovação do ar de forma arbitrária, padronizada ou baseada em dados estatísticos preestabelecidos em situações genéricas. É ainda permitido ao usuário informar tais dados. Contudo, a dificuldade está em relacionar o que ocorre na especificidade de cada arranjo construtivo urbano, determinante para o campo de pressões sobre as aberturas e à velocidade do ar nos ambientes internos.

Na presente pesquisa, no entanto, simulam-se as condições de vento para o contexto urbano em questão, fornecendo dados de pressão devido ao vento em pontos de interesse na fachada (aberturas) de um edifício selado para, no estágio seguinte, serem simulados os fluxos nos ambientes internos.

Figura 1 – Esquema da metodologia empregada e produtos de cada etapa



Fonte: o autor

A abordagem utiliza a reconhecida qualidade dos códigos CFD. A técnica permite realizar um maior número de análises comparado a outros métodos, como ensaios em túnel de vento. Facilmente, pode-se variar-se a geometria e as condições de contorno sem grandes investimentos e em menor tempo. A medida representa, portanto, alternativa viável e, almeja-se, mais prática

e acessível a projetistas para avaliar mais precisamente os impactos da forma urbana sobre o potencial de ventilação natural de edifícios, como em Carrilho da Graça et al (2002); Hirano et al (2006); Carrilho da Graça et al (2012); Liu et al (2014). Ao separar as escalas de análise, reduz-se o esforço computacional e, consequentemente, o tempo de processamento, além de fundamental para a precisão dos resultados.

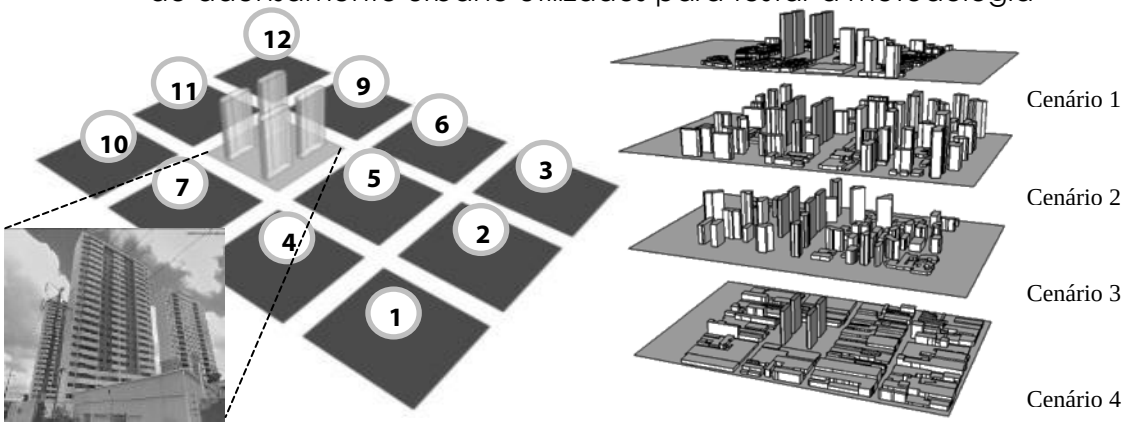
É necessário ressaltar que a aplicação do método aqui empreendido somente é possível se ação do vento deve dominar a ventilação natural, desprezando-se o efeito chaminé, aspecto comum às edificações no contexto quente e úmido. Ainda, e principalmente, a separação das simulações de fluxos internos das análises de ventilação urbana somente é adequada se a área total de aberturas for menor do que 20% da área de fachada. Tais considerações decorrem do fato de que edificações com maiores porosidades tendem a reduzir as pressões nas fachadas, induzindo a erros no cálculo da vazão de ar.

Para testar a metodologia, quatro trechos urbanos espalhados pela cidade de Fortaleza, com diferentes níveis de adensamento construtivo cada, foram selecionados devido à sua representatividade, como em Martins; Bonhomme; Adolphe (2013). O cenário 1 apresenta verticalização pouco expressiva, contrastando com a presença quase uniforme de edifícios altos no cenário 2. O cenário 3 representa uma transição entre o adensamento através da verticalização, enquanto que o cenário 4 possui elevada taxa de ocupação do solo, formado por edificações baixas.

Elaborou-se um edifício modelo baseado na produção imobiliária local, implantando-o em cada cenário. Adotaram-se os valores de pressão nas aberturas dos apartamentos no primeiro, décimo primeiro e vigésimo terceiro pavimentos como condição inicial às simulações na escala arquitetônica.

Na modelagem dos cenários urbanos adotou-se um conjunto de doze quadras, com seis quadras à frente de um trecho livre, onde se implantaram os edifícios modelo (figura 2). Tal configuração é recomendada devido à necessidade em analisar os efeitos aerodinâmicos a barlavento.

Figura 2 – Esquema de modelagem e os quatro diferentes cenários representativos do adensamento urbano utilizados para testar a metodologia



Fonte: o autor

3.1 Desenvolvimento das simulações

O empreendimento de um método inteiramente baseado em simulações computacionais torna necessário descrever quais os parâmetros envolvidos em cada etapa de análise, que, por sua vez, são determinantes para a qualidade e precisão das análises.

As simulações CFD foram realizadas pelo programa ANSYS CFX 13.0 e foram consideradas em condição estacionária, isotérmica, incompressível e turbulenta. A pressão adotada como referência é de 1 atm e a temperatura de 25 °C. Empregou-se o modelo de turbulência K-epsilon padrão. O fechamento de toda a série de simulações situou-se dentro do nível de resíduos considerado adequado (10^{-4} ou inferior).

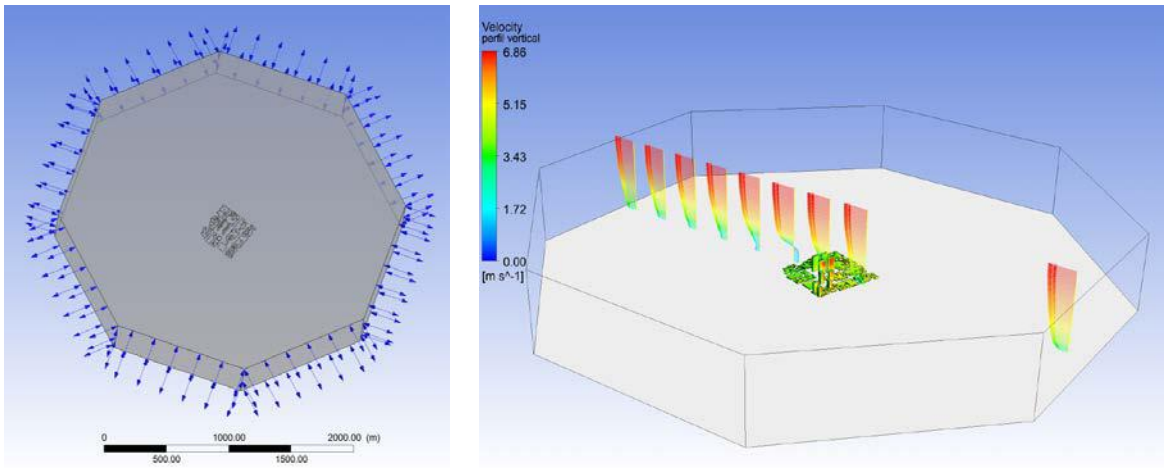
As malhas, compostas por elementos tetraédricos e prismáticos em formação desestruturada para melhor se adaptar às formas urbanas, passaram por testes de independência, sendo avaliada sua qualidade ortogonal e assimetria dentro de valores recomendados (CFX, 2003).

Nas análises do comportamento do vento utilizou-se um domínio fluido em formato octogonal (figura 3). A opção permitiu simular as duas principais direções dos fluxos indicadas pelo diagnostico climático (leste e sudeste). O formato evita o efeito de blocagem e facilita a alteração da direção dos ventos a partir da indicação do ângulo. As fronteiras do domínio foram consideradas aberturas (0 Pa).

Recomenda-se a inserção de uma equação para representar a alteração da camada limite imposta pela rugosidade do meio. A metodologia utilizou a equação do BRE (1978) apud Bittencourt & Cândido (2005) para descrever o perfil vertical de vento, onde a velocidade do ar (V) numa determinada altura (z) é a velocidade medida na estação (V_0) corrigida pelos coeficientes k e a, com valores de 0,35 e 0,25, respectivamente, representando um entorno urbano.

$$V = (V_0.k.z^a) \quad (1)$$

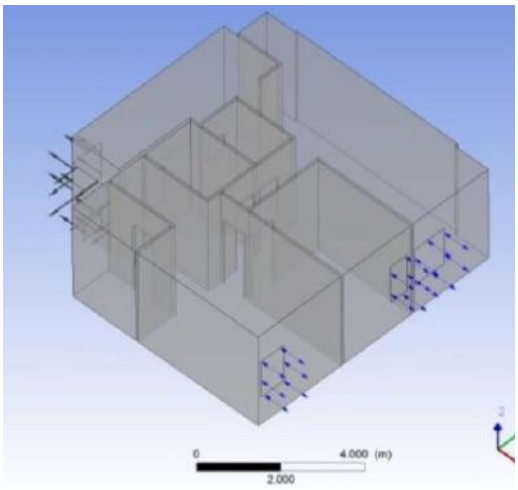
Figura 3 – Domínio para simulação da ventilação urbana e perfil de vento



Fonte: o autor

As avaliações da ventilação natural no apartamento modelo tomam este como domínio, como mostra a figura 4. As janelas constituem entradas e saídas do ar, sendo o valor de pressão adotado como o necessário para forçar os percursos das correntes.

Figura 4 – Domínio para as análises de ventilação natural no apartamento

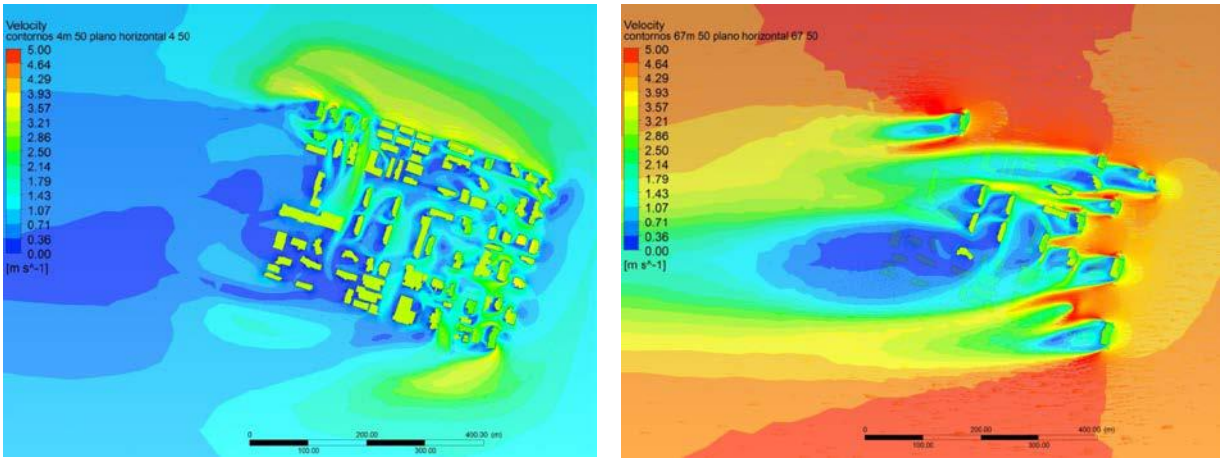


Fonte: o autor

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das simulações de ventilação natural nos quatro cenários urbanos podem ser avaliados com base em aspectos qualitativos e quantitativos. Do ponto de vista qualitativo, as análises foram realizadas através de planos horizontais a 4,5 m, 34,5 m e 67,5 m do piso, que correspondem ao centro das aberturas nos pavimentos selecionados e permitem compreender os efeitos aerodinâmicos específicos que determinam o campo de pressão incidente, como exemplifica a figura 5.

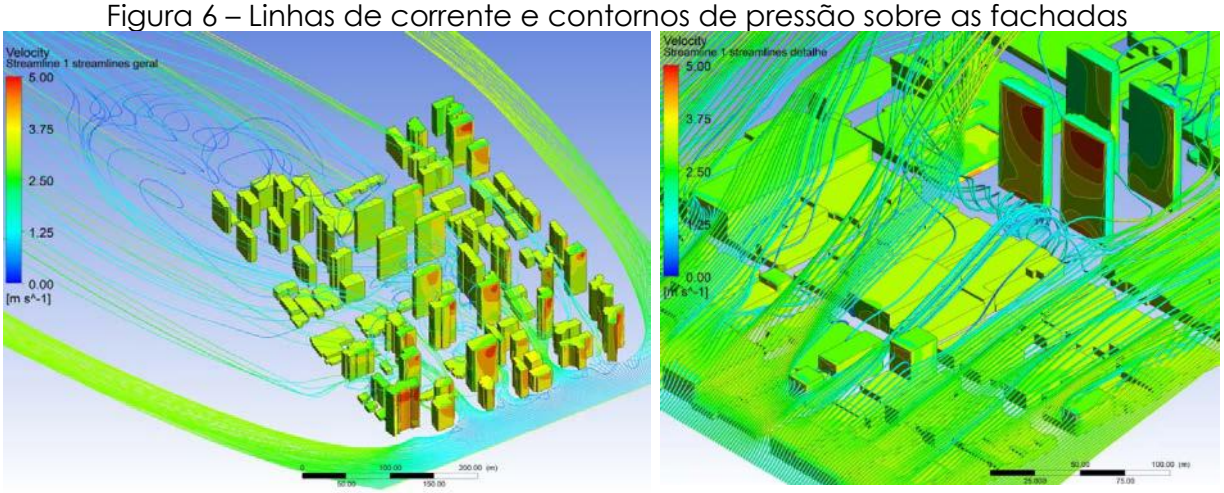
Figura 5 – Contornos de velocidade a 4,5 m do piso (esq.) e 67,5 m de altura (dir.)



Fonte: o autor

Adicionalmente, linhas de corrente e contornos de pressão sobre as superfícies complementam as análises, como resume a figura 6.

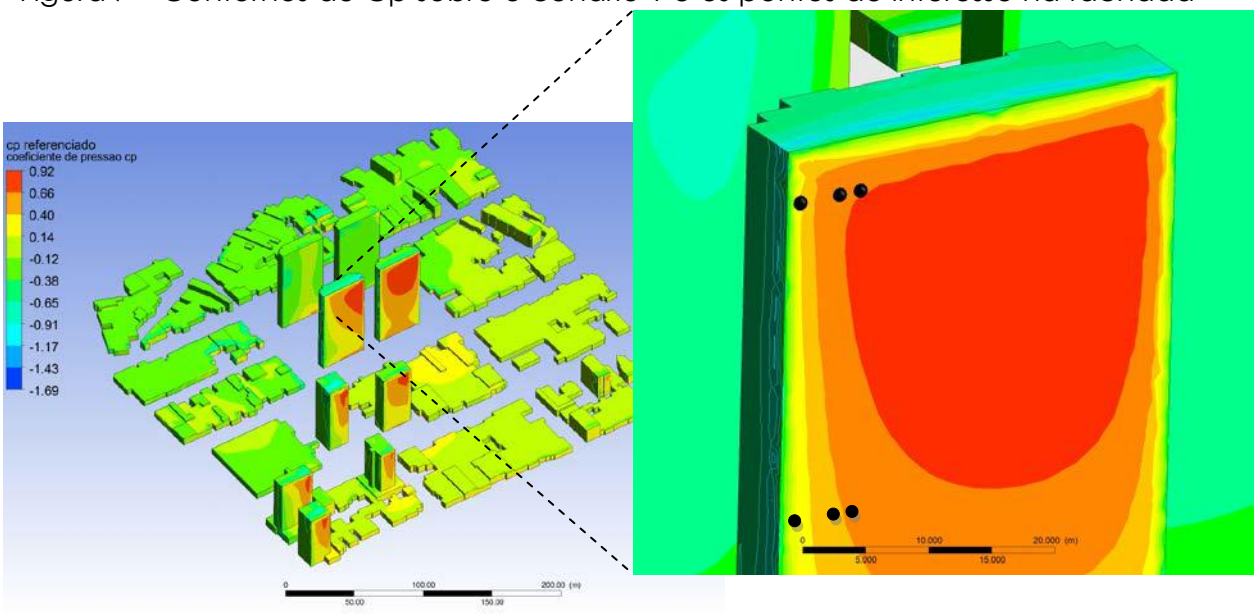
Figura 6 – Linhas de corrente e contornos de pressão sobre as fachadas



Fonte: o autor

Mais especificamente, no entanto, um dos parâmetros de maior influência no potencial de ventilação natural é a diferença de Cp nas aberturas a barlavento e a sotavento (ΔCp). A variável é facilmente alterada pela forma urbana e uma das principais vantagens da metodologia é a possibilidade de obtê-lo de forma mais acessível como um dos resultados da etapa inicial (ventilação urbana) e condição de contorno na fase seguinte, como destacado na figura 7.

Figura 7 – Contornos de Cp sobre o cenário 1 e os pontos de interesse na fachada

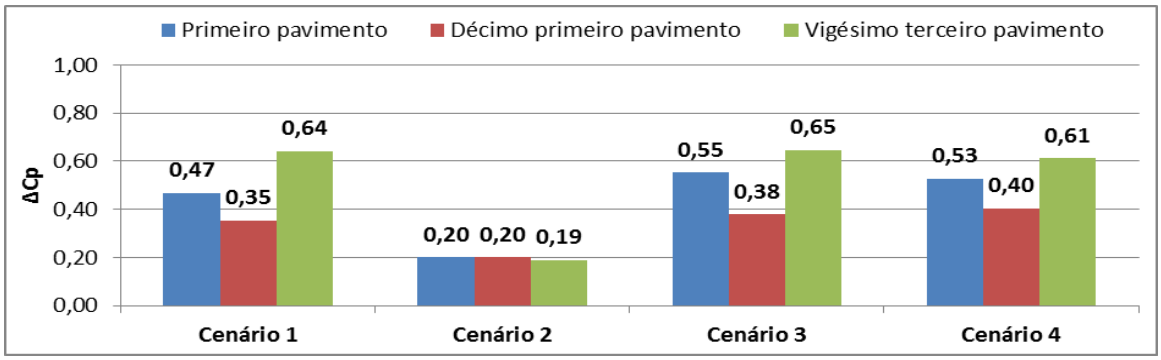


Fonte: o autor

Uma vez que o apartamento modelo dispõe de três janelas a barlavento e três a sotavento, o ΔCp foi assumido como a média ponderada entre as que funcionam como entrada de ar e aquelas que funcionam como saídas.

Em relação à morfologia urbana, no cenário 3 os valores de ΔCp foram os mais altos em quase todos os pavimentos. No cenário 4, as diferenças foram próximas àquelas verificadas no cenário 1, mesmo que este último apresente características morfológicas diferentes. No cenário 2 verificam-se as menores diferenças de Cp, como era esperado em virtude do elevado nível de obstrução ao vento. Este arranjo urbano apresentou valores de ΔCp mais baixos entre as fachadas, o que reduz o potencial da ventilação natural quando o vento incide nessa direção (gráfico 1).

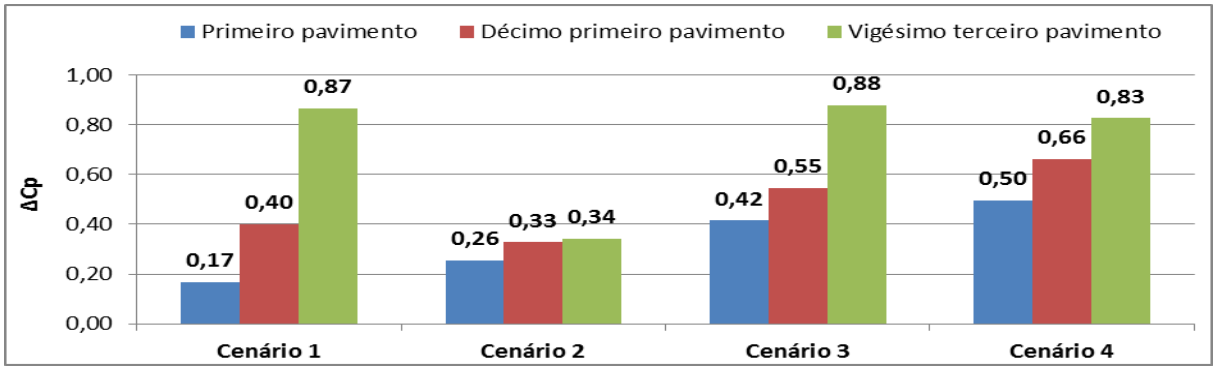
Gráfico 1 – ΔCp entre as fachadas com vento leste



Fonte: o autor

Com o vento de sudeste, os valores de ΔCp foram mais elevados, sobretudo nos pavimentos mais altos, como esperado. Novamente, a influência da maior verticalização do cenário 2 é significativa, indicada pelos valores mais baixos, como resume o gráfico 2. Mais especificamente, no entanto, no caso do pavimento mais baixo, a diferença calculada neste cenário foi superior ao cenário 1. O fato é isolado e deve-se à presença de um conjunto verticalizado que, no cenário inicial, se coloca à frente do edifício modelo quando a incidência de vento é sudeste, gerando uma zona de estagnação do ar cujos efeitos se estendem até próximo da fachada principal.

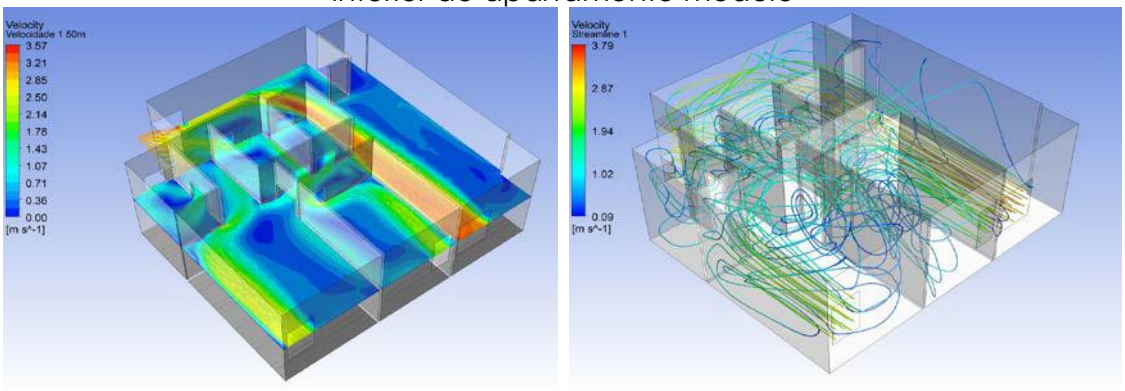
Gráfico 2 – ΔCp entre as fachadas com vento sudeste



Fonte: o autor

A metodologia permite a verificação do campo de velocidades do ar em qualquer ponto no interior do apartamento e a visualização do comportamento das correntes, como apresentado pela figura 8.

Figura 8 – Visualização dos contornos de velocidades e as linhas de corrente no interior do apartamento modelo

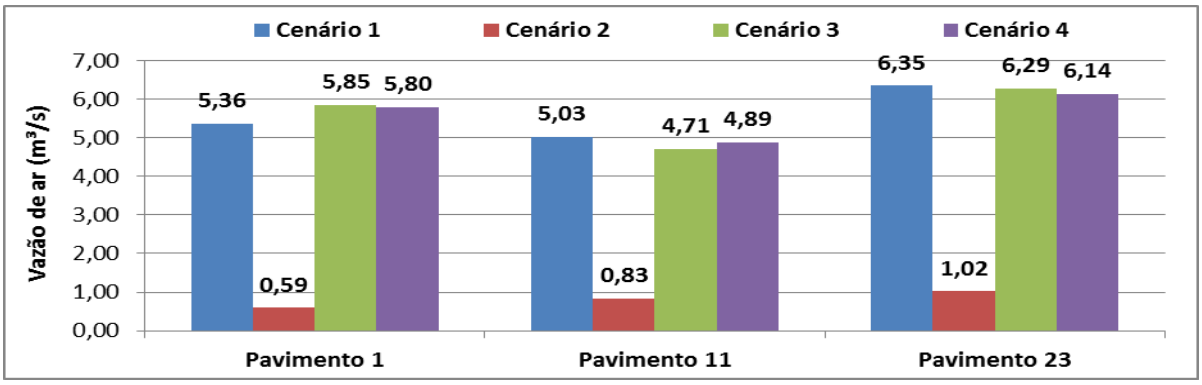


Fonte: o autor

Do ponto de vista quantitativo, um dos principais produtos almejados pela metodologia consistia na obtenção da vazão de ar de acordo com a pressão obtida na etapa anterior. No total foram vinte e quatro simulações da ventilação natural interna, uma vez que cada cenário foi submetido a duas direções de vento, gerando pressões em três pavimentos diferentes.

Como descreve o gráfico 3, no cenário 1, o pavimento mais alto atinge as maiores taxas de renovação do ar, com 6,35 m³/s. Este valor é cerca de 520% superior ao verificado no cenário 2, como esperado, porém bastante próximo dos valores alcançados pelos cenários 3 e cenário 4. Mais uma vez, reforça-se o papel da morfologia urbana na geração de condições especificas de circulação do ar, impedindo determinação imediata de quais formas impedirão o aproveitamento da ventilação natural.

Gráfico 3 – Vazão de ar por pavimento em cada cenário com vento leste

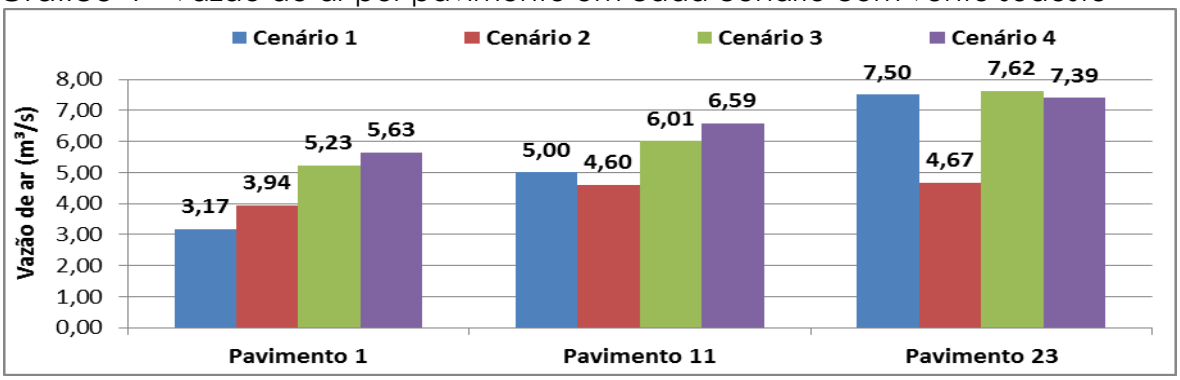


Fonte: o autor

De maneira geral, com o vento sudeste, os valores se elevam e, mesmo no

obstruído cenário 2, as vazões de ar atingem valores mais elevados comparados ao vento leste. O cenário 4 apresenta as melhores condições de ventilação natural em quase todos os níveis. Comparado ao último cenário simulado, o primeiro pavimento do cenário 1 tem a mais baixa quantidade de renovações de ar, valor 78% menor. Ainda, o cenário 3, bem mais verticalizado que o 1 e o 4, obtém valores próximos a estes (gráfico 4).

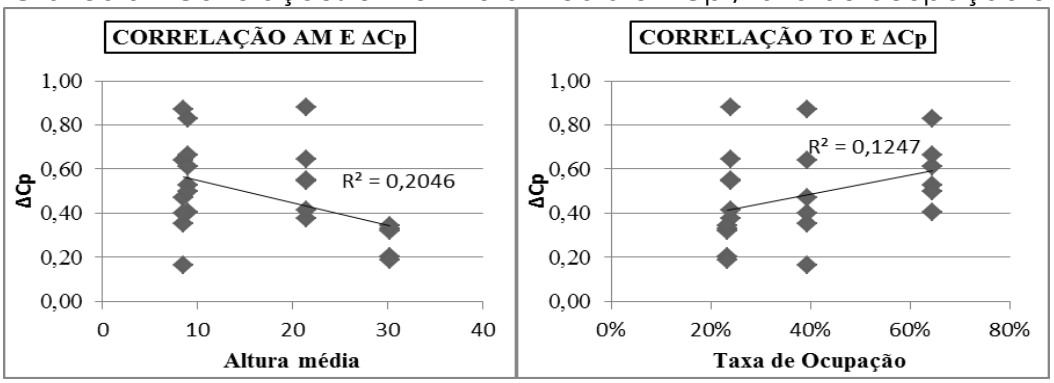
Gráfico 4 - Vazão de ar por pavimento em cada cenário com vento sudeste



Fonte: o autor

Em síntese, apresentam-se as fracas correlações entre a altura média dos edifícios (AM) e o ΔCp e entre a Taxa de Ocupação do solo (TO) e o ΔCp, reunidas no gráfico 5. Os valores baixos de R^2 nos dois casos corroboram tal premissa.

Gráfico 5 – Correlações entre Altura média e ΔCp /Taxa de ocupação e ΔCp



Fonte: o autor

5 CONCLUSÕES

Através do conjunto de simulações CFD da ventilação natural urbana reforçou-se a premissa de que cada configuração espacial gera condições específicas de circulação do ar. Os efeitos aerodinâmicos e a turbulência inerentes ao comportamento do vento em contato com os obstáculos que compõem o meio urbano impedem a determinação imediata, e num nível de precisão adequado, quais formas serão prejudicadas ou mesmo beneficiadas em relação à ventilação natural.

A determinação dos valores de Cp e o cálculo da vazão de ar que não considere as condições morfológicas do entorno torna-se impreciso e, consequentemente, a predição da performance termoenergética de edifícios pode assumir erros significativos, levando a avaliações equivocadas ou mesmo irreais. É justamente nesse sentido que a metodologia aqui empreendida se coloca: diante da inexistência de métodos e normas capazes de abranger as possibilidades que se colocam com a diversidade de formas espaciais urbanas, tencionou-se reduzir a imprecisão das análises de ventilação natural em ambientes adensados.

Recomenda-se, dentro das especificidades climáticas de cada lugar, simular ao menos duas principais incidências de vento como forma de melhor explorar o comportamento dos fluxos. Da mesma forma, a análise em diferentes níveis do edifício permite detalhar alguns efeitos específicos que ocorrem com o ganho em altura.

O método aqui proposto pretendeu avançar no desafio que consiste em elaborar meios mais acessíveis ao projetista para avaliar de forma mais rápida, porém não menos precisa, o que é positivo tanto do ponto de vista do desenho de cidade como para a melhoria da ambiência térmica nos edifícios. Contudo, é sabido, não existe uma proposta de planejamento universal e cada caso deve ser examinado individualmente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 1985.

_____. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2001.

AYNSLEY, R. **Estimating summer wind driven natural ventilation potential for indoor thermal comfort**. Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 83, 1999.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.

BRITISH STANDARD INSTITUTE. **BSI – BS 5925: Code of Practice for Ventilation** Principles and Designing for Natural Ventilation. Londres, 1991.

CARRILHO DA GRAÇA, G.; CHEN, Q.; GLICKSMAN, L. R.; NORFORD, L.K. **Simulation of wind-driven ventilative cooling systems for an apartment building in Beijing and Shanghai**. Energy and Buildings 34: 1-11, 2002.

CARRILHO DA GRAÇA, G.; MARTINS, N. R.; HORTA, C. S. **Thermal and airflow simulation of a naturally ventilated shopping mall.** Energy and Buildings 50: 177–188, 2012.

CFX. **CFX 5 Solver Models**. Diddcot Oxfordshire: CFX, 2003.

CHEUNG, J. O. P.; LIU, C. **CFD simulations of natural ventilation behaviour in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacings**. Energy and Buildings. V. 43: 1149 – 1158, 2011.

CIBSE Applications Manual. **The chartered institution of building services engineers**. Londres, 1997.

FANGER, P. O. **Airflow characteristics of occupied zone of ventilated space**. ASHRAE Transactions. New York: ASHRAE, 1987.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Editora Nobel, 7 ed., São Paulo, 2003.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley and Sons, 1994.

_____. **Climate considerations in buildings and urban design**. New York: John Wiley e Sons, 1998.

HIRANO, T.; KATO, S.; MURAKAMI, S.; IKAGA, T.; SHIRAISHI, Y. **A study on a porous residential building model in hot and humid regions: Part 1—the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model**. Building and Environment 41: 21–32, 2006.

KOENIGSBERGER, O.; INGERSOL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of Tropical Housing and Building. Part I: Climatic Design.** London: Longman, 1974.

KOTANI, H.; SATOH; R.; YAMANAKA, T. **Natural ventilation of light well in high-rise apartment building**. Energy and Buildings 35: 427 – 434, 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014.

LIU, S.; LIU, J.; YANG, Q. PEI, J.; LAI, D.; CAO, X.; CHAO, J.; ZHOU, C. **Coupled simulation of natural ventilation and daylighting for a residential community design**. Energy and Buildings 68: 686 – 695, 2014.

MARTINS, T. A. L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. **Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 213-233, out./dez. 2013.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2 ed. London: Methuen, 1987.

PRAJONGSAN, P.; SHARPLES, S. **Enhancing natural ventilation, thermal comfort and energy savings in high-rise residential buildings in Bangkok through the use of ventilation shafts**. Building and Environment 50: 104 – 113, 2012.

PRIYADARSINI, R.; CHEONG, K. W.; WONG, N. H. **Enhancement of natural ventilation in high-rise residential buildings using stack system**. Energy and Buildings 36: 61 – 71, 2004.

SANTAMOURIS, M. **Ventilation for comfort and cooling: the state of the art.** In: SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. (ed). Building ventilation: the state of the art. Londres: Earthscan, 2006.

WONG, N. H.; FERIADI, H.; LIM, P. Y.; THAM, K. W.; SEKHAR, C.; CHEONG, K. W. **Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore**. Building and Environment 37: 1267 – 1277, 2002.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MODELAGEM DA VEGETAÇÃO NA SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL[1]

LEDER, Solange Maria (1); LIMA, Eliana F. Costa (2); QUIRINO, Luana Maria de Medeiros (3); PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti (4)

(1) UFPB, e-mail: solangeleder@yahoo.com.br; (2) IFPB, e-mail: eliana_fcl@msn.com;
(3) UFPB, e-mail: luanammq@gmail.com; (4) UFPB, e-mail: yasminvaz_47@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento de novas tecnologias de auxílio ao projeto, em especial as ferramentas de simulação computacional da iluminação, contribui para o melhor aproveitamento dos recursos naturais e a eficiência energética das edificações. Nesta pesquisa investigou-se a obstrução da luz natural provocada pela vegetação comparando medições in loco e simulacão computacional. O objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento da vegetação como elemento de controle solar e como a mesma pode ser reproduzida em um ambiente digital, inserindo-a na simulação computacional da luz natural. Assim, foram realizadas medições de iluminância *in loco* em uma sala de aula no Bloco CTE da UFPB, que possui no entorno espécies arbóreas tipo Mangueira. Além das medições, simulações computacionais com o *software* Daysim foram realizadas, a partir de um modelo digital que reproduz características da espécie arbórea em análise. Para a análise das diferenças encontradas entre medição e simulação, foram utilizados os indicativos estatísticos do erro médio quadrático (RMSE) e o desvio das médias (MBE). Com os resultados, observa-se que em todas as condições de céu o erro médio quadrático (RMSE) encontra-se dentro dos limites esperados, porém o mesmo não ocorrendo para o desvio das médias (MBE), onde apenas a condição parcialmente encoberto está dentro da margem de erro aceitável.

Palavras-chave: Simulação da iluminação. Iluminação natural. Vegetação.

ABSTRACT

The development of computer simulation softwares to predict the building performance, specially daylighting, contributes to better use of natural resources and the energy efficiency of buildings. This paper presents an investigation about daylight obstruction caused by vegetation, comparing results of daylight measurements and daylight simulation. The purpose of this study was to analyse the impact of vegetation on daylight obstruction and how it can be reproduced in a digital environment. Illuminance measurements and daylighting simulation were carried out in a classroom surrounded by Mango tree species, computer simulations were perfomed using the software Daysim and, a digital model that reproduces the characteristics of the analyzed tree. To estimate the differences between measurement and simulation two variables were compared: root mean square error (RMSE) and mean bias error (MBE). From the results it is observed that the root mean square error (RMSE) was within expected limits, in all sky conditions. However, with the mean bias error (MBE) the results were only partially as expected.

Keywords: *Daylighting. Lighting simulation. Vegetation.*

[1] LEDER, Solange Maria; LIMA, Eliana de Fátima da Costa; QUIRINO, Luana Maria de Medeiros; PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti. Modelagem da vegetação para simulação da iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O bloqueio da luz solar direta, principalmente em clima quente, favorece o uso da luz natural nos ambientes internos. As plantas podem proporcionar sombras e melhorar a qualidade da luz que incide através de janelas, reduzindo a intensidade da componente direta do sol, bem como o brilho vindo do céu (AL-SALLAL, 2009). A luz solar que atravessa as aberturas pode ser filtrada e suavizada pela presença de vegetação ou elementos de proteção solar, como venezianas, cortinas, entre outros. Segundo Mascaró (2010), o sombreamento da vegetação tem grande influência sobre a luz natural nos recintos urbanos e, consequentemente, afeta o desempenho da luz natural nas edificações. A forma da copa das árvores e seu tamanho determinam a área sombreada, que muda de acordo com a espécie e com a época do ano. Uma escolha adequada deve levar em consideração as mudanças de forma e tamanho que se processarão ao longo do tempo, baseada nas condições de insolação do recinto urbano através do ano e das necessidades de sombreamento em cada estação. Na pesquisa de Silva (2013) a vegetação como elemento de controle da luz natural foi investigada utilizando modelos físicos em escala reduzida. Verificou-se a iluminância interna com três modelos diferentes de fachada: sem proteção solar, com um elemento de obstrução na cor preta e outro com vegetação interferindo na iluminação interna. Observou que a vegetação possui características importantes no controle da luz

No estudo realizado por All-Sallal (2009), evidenciou-se a importância da sombra de árvores na melhoria da qualidade e distribuição da iluminação natural. O autor investigou a influência das espécies Neem e Ghaf nas condições de iluminação de salas de aulas, através de simulação computacional. A referida pesquisa concentrou-se na análise da iluminância que incide no plano de tarefa de salas de aula voltadas para norte, sul, leste e oeste, a fim de identificar os momentos críticos que são relevantes para a localidade.

A vegetação é um elemento de difícil inserção no projeto da iluminação natural, considerando, por exemplo, a simulação computacional, todos os elementos intervenientes na reprodução da luz devem ser modelados tridimensionalmente. Contudo, essa modelagem é impraticável, não somente devido à complexidade de todas as variáveis relatadas, como também, na sobrecarga do modelo. No entanto, alguns métodos de caracterização da vegetação, podem ser introduzidos para simplificar a sua reprodução e modelagem. Neste contexto, medições *in loco* da iluminação sob a copa de árvores contribuem para a caracterização de tipos arbóreos. Al-Sallal (2013) também desenvolveu um método, a partir de fotografias hemisféricas, para a construção simplificada de um modelo tridimensional de copa de árvore em ambiente digital (simulação da luz natural). O modelo 3D de copa de árvore, resultante da aplicação do método proposto, foi usado para simular o efeito da interceptação da luz sob espécies arbóreas. Os resultados das simulações foram validados através da comparação com

medições reais de iluminância realizadas em campo, com expressiva concordância entre os níveis de iluminância simulados e medidos.

Este trabalho é a continuação de uma pesquisa anterior, onde foi caracterizado um método para a representação e modelagem da vegetação arbórea na simulação computacional da luz natural, tendo como base os estudos de Al-Salall (2009 e 2013). Assim, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento da vegetação como elemento de controle solar e como a mesma pode ser reproduzida em um ambiente digital, inserindo-a na simulação computacional da luz natural e comparando os resultados das simulações com medições in loco. Para isso, foi tomada para estudo uma sala de aula de ambiente universitário.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para este estudo divide-se em quatro etapas principais: seleção do espaço a ser estudado e levantamento *in loco* de informações referentes às suas características físicas, medições *in loco* da disponibilidade de iluminação natural em ambiente interno, aplicação dos modelos arbóreos em simulação computacional da iluminação natural e, por último, análise estatística dos dados, verificando em que medida os modelos virtuais de copas empregados conseguem reproduzir a situação real.

3.1 Definição e levantamento do local de estudo

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi selecionado um ambiente de sala de aula localizado em um campus universitário (Figura 1). Dentre os principais critérios de escolha do local para esta pesquisa, pode-se destacar: ambienta influenciado diretamente por uma árvore (mangueira) que possui modelo digital próprio produzido anteriormente; paisagem do entorno com elevada proporção de áreas verdes; facilidade de acesso e, disponibilidade para a realização da pesquisa durante o período estimado.

Figura 1 – Localização da área de estudo

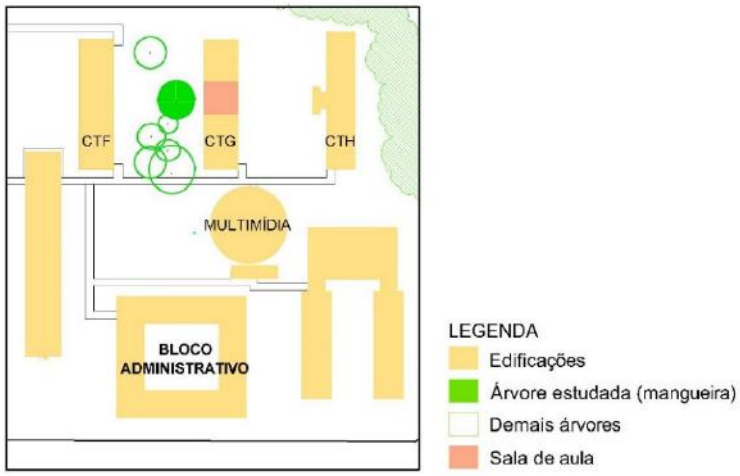


Fonte: Adaptado do Google Maps, 2014.

O levantamento das dimensões do ambiente escolhido e do entorno foi realizado *in loco,* com auxílio de trena comum. Para o levantamento das árvores do entorno, foi observado a largura e o comprimento da base da copa, posteriormente foram feitas fotografias de perfil e importadas para AutoCad, conhecendo uma medida real como referência, foram estimadas as dimensões verticais da copa, como também altura total da árvore.

No entorno imediato à sala de aula, verificou-se sete tipos arvóreos que influenciam, de forma mais direta ou indireta, o desempenho da luz natural neste ambiente (Figura 2). A árvore destacada na figura 2, trata-se de uma mangueira e, está disposta perpendicularmente à sala de aula, portanto a que tem maior influência no desempenho da luz neste ambiente. Também foi realizado um levantamento dos coeficientes de reflexão das superfícies do interior da sala em estudo, tendo como referência a cartela de cores da CIBSE (2001).

Figura 2 – Localização da sala em estudo e das árvores do entorno.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Medição de referência da iluminância

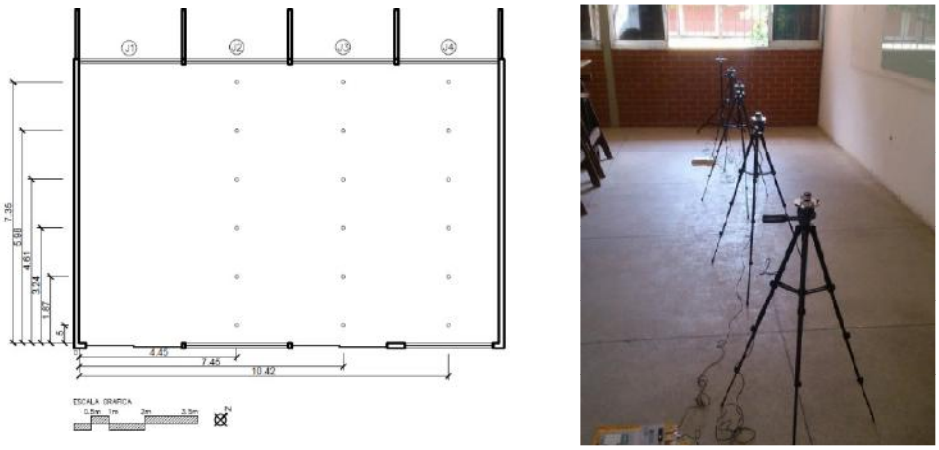
Nessa etapa foram realizadas medições de referência do nível de iluminância horizontal em alguns pontos do interior da sala de aula em estudo. Esses dados foram tomados como base para posterior validação das simulações computacionais. As medições ocorreram no período de 22 de junho a 25 de julho de 2015, período correspondente ao solstício de inverno. O horário dos registros das iluminâncias ocorreu das 11h às 13h a cada um minuto, resultando em 120 registros.

Para esta pesquisa, três condições de céu foram consideradas: céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto, sendo esses, os três modelos com que grande parte da literatura científica trabalha. Foram realizadas medições nas diferentes condições. Ao mesmo tempo em que as iluminâncias estavam sendo medidas, registrou-se através de observações, fotografias e anotações o comportamento das nuvens no céu, com relação

à quantidade, distribuição e aparência. Os dados de medição conjugados com estas informações forneceram indicativos para o estabelecimento do tipo de céu.

Os pontos de medição foram distribuídos no interior da sala 103 do bloco E, em três fileiras de seis sensores afastados 50 cm da janela e da parede, estando cada sensor afastado aproximadamente 1,37 metros um do outro, conforme a Figura 3. Foram utilizados 18 pontos de medição (sensores), priorizando a abertura 3, posto que, em frente à esta abertura localiza-se a árvore objeto de interesse deste estudo.

Figura 3 - Planta de localização dos sensores; Sensores apoiados nos tripés.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Simultaneamente aos registros no interior da sala de aula, foram obtidos também os dados de iluminância externa. Posteriormente, esses dados, foram utilizados na seleção, através de comparação, dos dias do arquivo climático (*Typical Reference Year* – TRY), correspondentes aos tipos de céu adotados nesta pesquisa que, por sua vez, correspondem às datas utilizadas na simulação computacional.

Para os registros das medições foi utilizados um conjunto de 19 sensores fotométricos Li-210 da LI-COR: um disposto no ambiente externo e 18 internamente. Os sensores são apoiados em tripés (Figura 3), com fixação e nivelamento através do kit de fixação da LI-COR, que acompanha um nível de bolha. Estes sensores realizaram medições simultâneas e os dados coletados foram armazenados em sete dataloggers da LI-COR - Li 1400.

3.3 Construção do modelo virtual e simulações computacionais

A partir dos dados obtidos na fase de levantamento *in loco*, foi modelado o ambiente de sala de aula, assim como seu entorno imediato, incluindo a vegetação arbórea circundante (Figura 4). O modelo simplificado de cada árvore assumiu a forma de uma semi-elipsoide. Para a construção dos modelos foi utilizada a ferramenta computacional *SketchUp* 8.

Figura 4 – Modelo 3D do bloco de aulas e entorno.

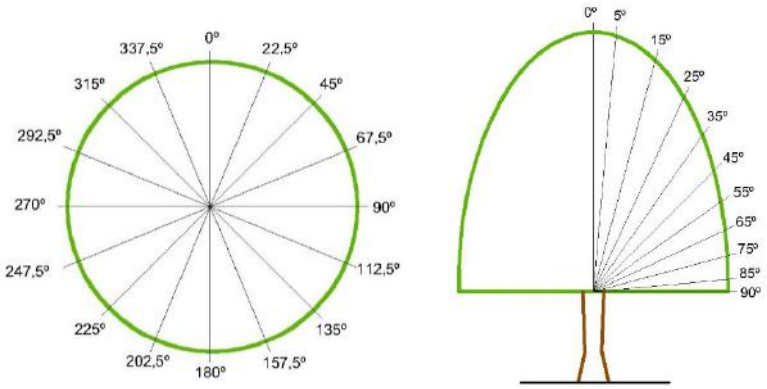


Fonte: elaborado pelos autores

A forma do modelo digital, que representa a mangueira (LIMA, 2014), concentra-se na superfície mais externa da copa, dividida em 144 regiões, com 9 segmentos na direção zenital e 16 na direção azimutal, conforme mostrado na figura 5. Nesta superfície (copa)foi empregado material translúcido, associando-se os dados de *fração de lacuna* (Figura 6.) Assim, para cada segmento do ângulo azimutal foi empregado um material translúcido diferenciado.

Para as simulações foi utilizada a ferramenta computacional *Daysim 3.1 beta*. O Daysim considera as condições reais de disponibilidade de luz natural com base no ano típico de referência (*Typical Reference Year* – TRY). O TRY utilizado foi elaborado por Roriz (2012) e corresponde ao ano de 2008. O modelo tridimensional utilizado foi modelado no SketchUp e exportado em formato 3DS. O arquivo de materiais foi editado para conter os dados de coeficientes de reflexão das superfícies do interior da sala obtidos anteriormente.

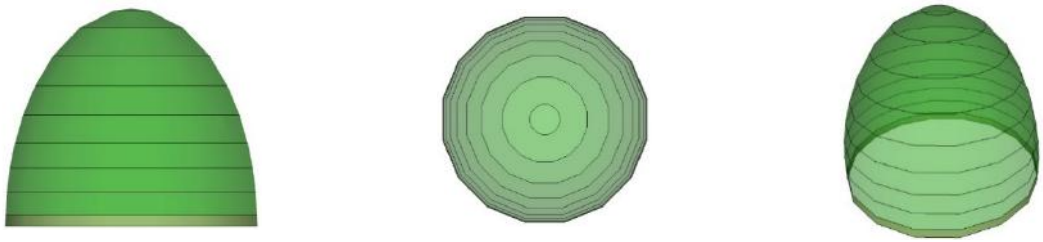
Figura 5 – Representação esquemática da divisão angular do mapa de céu.



Ângulos azimutais **Ângulos zenitais**

Fonte: Lima, 2014

Figura 6 – Modelo digital 3D que representa a mangueira



Vista frontal **Vista superior** **perspectiva**

Fonte: Fonte: Lima, 2014

Para selecionar os dias das simulações correspondentes aos dias das medições, foi analisada a média aritmética dos dados de iluminação do arquivo climático TRY equivalentes ao horário de 11 às 13 horas nos meses de junho e julho. Em seguida, comparando os valores encontrados tornou-se possível selecionar os dias que apresentaram condições de céu similares aos dias que ocorreram as medições *in loco*. A partir do estudo de Lima (2014) foram adotados os seguintes parâmetros para a caracterização da condição de céu claro e encoberto: céu claro com iluminância maior que 50.000 lux, enquanto céu encoberto para as iluminâncias inferiores a 50.000 lux.

3.3 Tratamento e análise estatística dos dados

Com os dados obtidos, e com o auxilio do *software* R foi possível analisar os níveis de dispersão da iluminância para cada condição de céu, e para as iluminâncias internas das medições e das simulações. Para a análise geral das diferenças encontradas entre medição e simulação, foram utilizados os indicativos estatísticos do erro médio quadrático (RMSE - *root mean square error*) e o desvio das médias (MBE - *Mean Bias Error*), definidos pelas equações 1 e 2.

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{(IL_M - IL_S)}{IL_S}\right) \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{(IL_S - IL_M)^2}{IL_M^2}\right)} \quad (2)$$

Onde, IL_S é a iluminância simulada e IL_M é a iluminância medida.

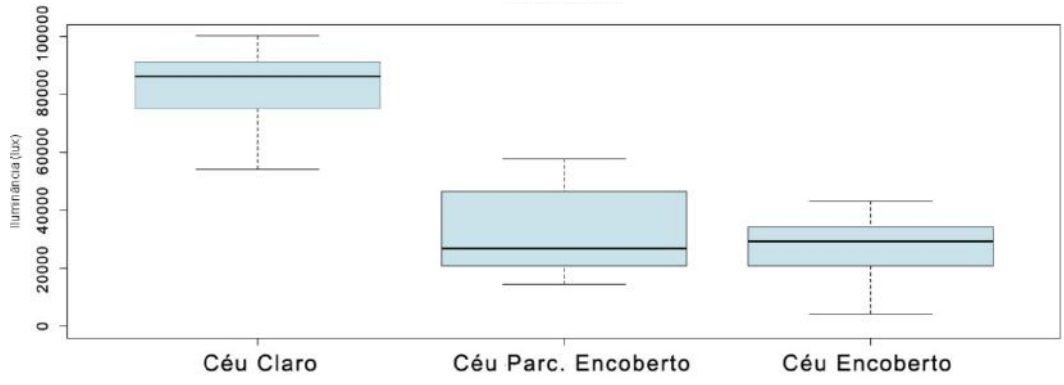
De acordo com Reinhart (2009), estes indicativos caracterizam as semelhanças e/ou diferenças entre dois conjuntos de dados. O RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo, e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade da iluminância simulada. O MBE indica o quanto a iluminância simulada está sendo subestimada (valor negativo) ou superestimada (valor positivo) em relação a iluminância

medida. O ideal é que o valor de MBE tenda a zero. Para validar os resultados produzidos através do MBE e RMSE, tomou-se como referência os resultados de estudos anteriores que utilizaram esses indicativos (VILLALBA, A.; PATTINI, A.; CORREA E. 2014; AL-SALLAL, Khaled A. AL-RAIS, Laila, 2013 e REINHART, C; BRETON, P. F. 2009). Os valores globais de MBE e RMSE foram dados em percentuais, já que Al-Sallal et. al (2013) sugerem que a margem de erro, para ambos os indicadores, não sejam superior a 20%, com um nível de confiança estatística de 80%.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A distribuição dos dados de iluminância no ambiente externo pode ser observada no Gráfico 1. Para a condição de céu claro, a iluminância mínima foi de 54171 lux e a máxima 100327 lux, a mediana ficou em torno de 86059 lux. Observou-se que esta condição de céu apresentou 50% das ocorrências de iluminância entre 74965 e 91051 lux. Nos dias de céu claro, além da baixa variação da luz, foi registrado os níveis de iluminação mais elevados, isto se deve a homogeneidade deste tipo de céu sem significativa presença de nuvens. A condição de céu parcialmente encoberto apresentou a maior variabilidade da luz natural. Nesta, foi registrado que 50% das ocorrências ficou entre 20856 e 46437 lux, com variação de pouco menos de 20 mil lux. A mediana dos dados girou em torno de 26834 lux. Esta significativa variação é decorrente da não homogeneidade do céu, com presença de nuvens que não cobrem totalmente a abóbada celeste. Este tipo de céu é o mais frequente em território brasileiro, portanto deve ser considerado em estudos de iluminação natural. Na condição de céu encoberto as iluminâncias encontradas atingiram o valor mínimo e máximo de 4204 e 43133 lux, respectivamente. Nesta condição de céu, a mediana é de aproximadamente 29325 lux. Considerando 50% da amostra, as iluminâncias estão concentradas entre 20806 e 34191 lux. Nessa condição de céu foram registrados os menores valores de iluminâncias, isto se deve ao fato de que, em um céu completamente encoberto, não há luz solar direta atingindo o solo e a coroa solar não é visível.

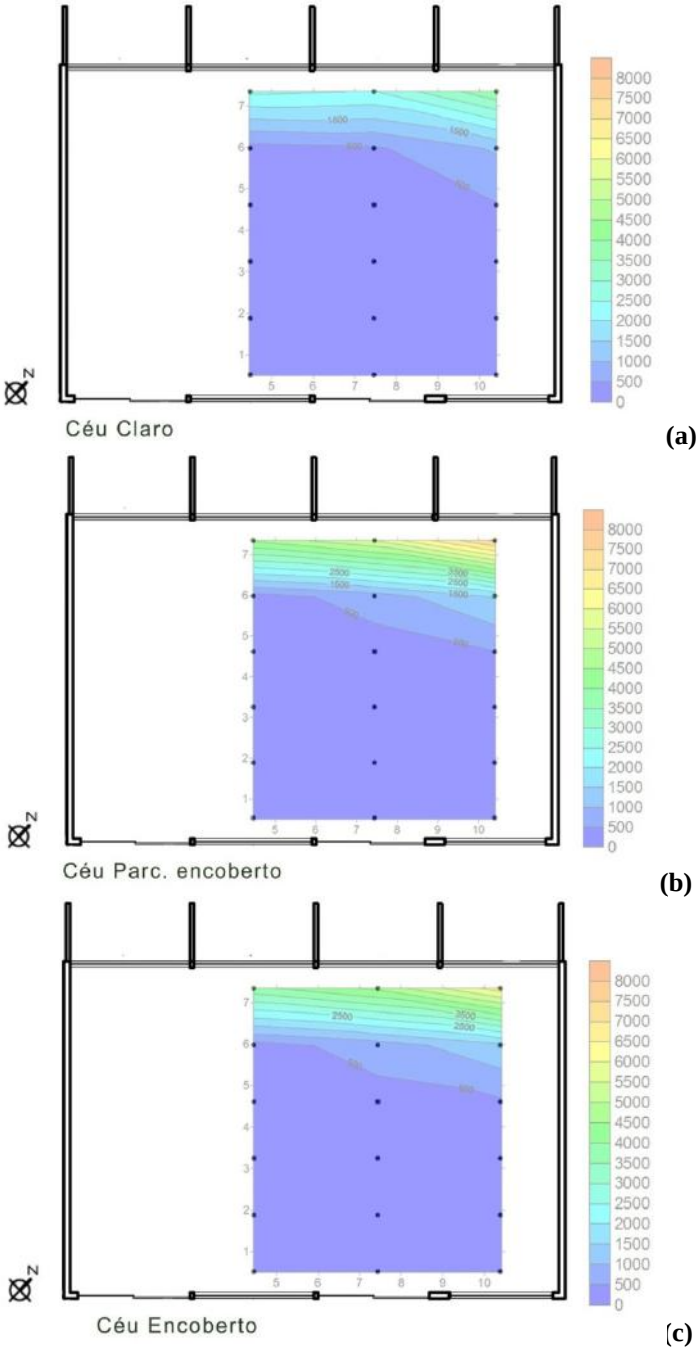
Gráfico 1 – Distribuição da iluminância externa para cada condição de céu



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas figuras 7a, 7b e 7c observa-se, para cada condição de céu, o comportamento da iluminação às 12h no interior do ambiente estudado. Observa-se que, nos três casos, que 2/3 da sala apresenta iluminação abaixo de 500 lux. Como esperado, próximo a abertura, os níveis de iluminação são mais elevados e, a distribuição da luz é semelhante em todas as condições de céu.

Figura 7 – Comportamento da iluminância interna ao meio dia para cada condição de céu



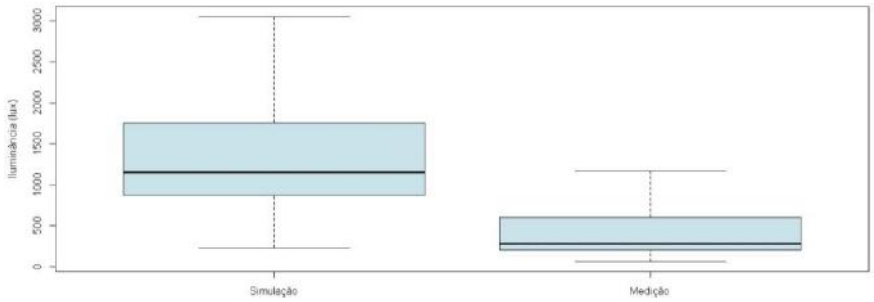
Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os resultados das simulações foi possível comparar os níveis de iluminação, para cada tipo de céu, registrados nas medições *in loco* e na

simulação. Pode-se observar, através dos Gráficos 2, 3 e 4, que as simulações apresentaram um maior nível de dispersão da iluminância em relação aos dados obtidos nas medições. A iluminância registrada com as medições *in loco* apresenta menor variação nas três condições de céu.

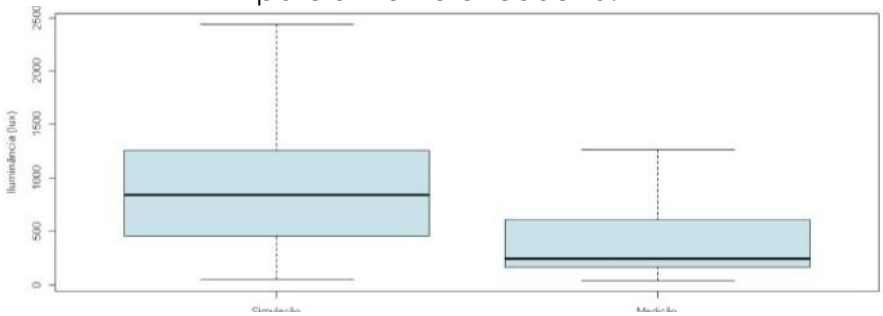
A diferença entre a mediana na condição de céu claro foi mais significativa, aproximadamente 1000 lux para céu claro, 600 lux na condição parcialmente encoberto e encoberto. Diante destes resultados, ressalta-se que as diferenças entre resultados de medições e simulações são esperadas, devido às simplificações dos fenômenos luminosos ocorridos na prática da simulação.

Gráfico 2 – Dispersão dos dados medidos *in loco* e simulados na condição de céu claro.



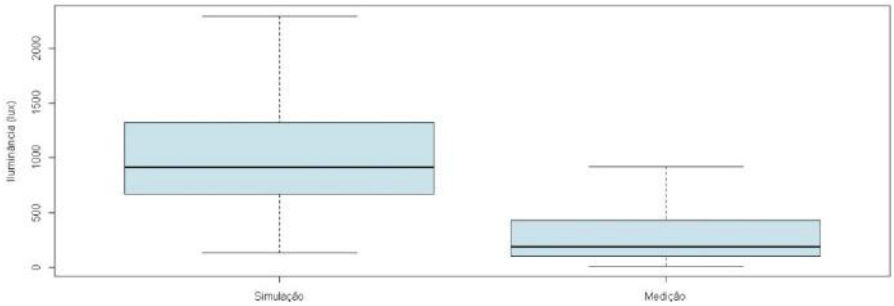
Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 3 – Dispersão dos dados medidos *in loco* e simulados na condição de céu parcialmente encoberto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4 – Dispersão dos dados medidos *in loco* e simulados na condição de céu encoberto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Buscando analisar as diferenças encontradas entre as medições *in loco* e as simulações, os indicativos estatísticos erro médio quadrático (RMSE - *root*

mean square error) e o desvio das médias (MBE - *Mean Bias Error*) foram utilizados. Na Tabela 1 podem ser observados, em função do tipo de céu, os indicativos estatísticos MBE e RMSE.

Tabela 1 – Erro médio quadrático – RMSE e o desvio das médias – MBE – por tipo de céu.

	RMSE	**MBE**
Céu claro	2,0%	-63,8%
Céu parc. encoberto	5,51%	-9,52%
Céu encoberto	2,5%	-53,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em estudos recentes, como o de Al-Sallal et. al (2013) considera-se que a margem de erro para MBE e RMSE, em modelagens com vegetação arbórea, não deve ser superior à 20%, com um nível de confiança estatística de 80%. Enquanto Reinhart (2010) estabelece que as simulações dinâmicas da luz natural devem apresentar erro relativo de no máximo 25%. O ideal é que os valores de MBE e RMSE tendam a zero, assim garantindo maior confiabilidade da iluminância simulada. De acordo com Reinhart (2011) e outros (Mardaljevic 2000a, b, Reinhart e Walkenhorst 2001, Reinhart e Andersen 2006, Reinhart e Breton 2009) as simulações dinâmicas da luz do dia podem ser cosideradas adequadas para a condição de erro relativo abaixo de 25% em comparação com as medições.

Considerando os dados da Tabela 2, observa-se que nas três condição de céu o erro médio quadrático (RMSE) encontra-se dentro dos limites esperados. Já com relação ao desvio das médias (MBE), apenas a condição de céu parcialmente encoberto está dentro da margem de erro aceitável. Assim, considerando os limites dessa pesquisa, na condição de céu parcialmente encoberto foram observados os melhores resultados na comparação entre simulação e medição, sendo, também, esta condição de céu mais frequente na cidade em estudo. Consequentemente, pode-se considerar o modelo digital arbóreo aqui empregado, um representante adequado da árvore real.

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa investigou-se a obstrução da luz natural provocada pela vegetação e as formas de representação da mesma nos modelos digitais utilizados na simulação computacional da iluminação natural. Assim, foram realizadas medições de iluminância *in loco* e simulações computacionais em uma sala de aula no Bloco CTE da UFPB, que possui no entorno espécies arbóreas tipo Mangueira. Para a análise das diferenças encontradas entre medição e simulação, foram utilizados os indicativos estatísticos do erro médio quadrático (RMSE) e o desvio das médias (MBE). Com os resultados, observa-se que em todas as condições de céu o erro médio quadrático (RMSE) encontra-se dentro dos limites esperados, porém o mesmo não

ocorrendo para o desvio das médias (MBE), onde apenas a condição parcialmente encoberto está dentro da margem de erro aceitável.

Visto isto, e considerando a condição de céu parcialmente encoberto, pode-se dizer que o modelo digital arbóreo aqui empregado, pode ser considerado um representante adequado da árvore real. No entanto, além do refinamento do modelo, acredita-se que o erro acima do esperado para as condições de céu claro e encoberto, pode estar associado à condição de céu selecionada para a simulação.

É importante ressaltar que as diferenças entre resultados de medições e simulações são esperadas, devido às simplificações dos fenômenos luminosos ocorridos na prática da simulação. No caso de simulações computacionais envolvendo elementos tão complexos como copas de árvores, inúmeros fatores são difíceis de serem inseridos na simulação e exercem influência no desempenho da luz sob a copa, um deles é o movimento das folhas causado pela ação do vento. Isto permite que a variabilidade das iluminâncias sob copas reais seja, naturalmente, maior que em simulações.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/UFPB pelas bolsas pibic.

REFERÊNCIAS

AL-SALLAL, Khaled A. AL-RAIS, Laila. A novel method to model trees for building daylighting simulation using hemispherical photography. **Journal of Building Performance Simulation,** Emirados Árabes, v.6, n.1, p. 38-52, Janeiro 2013.

AL-SALLAL, K.A., ABU-OBEID, N. Effects of shade trees on illuminance in classrooms in the United Arab Emirates. **Architectural Science Review**, Emirados Árabes, v. 52, n. 4, p. 295–311, 2009.

AL-SALLAL, K. A Practical method to model trees for daylighting simulation using hemispherical photography. **Building Simulation:** Eleventh International IBPSA Conference. 2009.

CIBSE. S.o.L.a. lighting. **In: SII lighting guide 11:surface reflectance and colour.** London, UK: CIBSE; 2001.

MARDALJEVIC, J. **Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients**. Thesis (PhD). De Montfort University, Leicester, UK, 2000a.

MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. **Lighting Research and Technology**. v. 32 , p. 111–118, 2000b.

MASCARÓ, Lucia; MOORE, Juan Luis. **Vegetação Urbana**. Ed.3º Porto Alegre: Masquatro, 2010.

REINHART, C.F; WALKENHORST, O. Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer Venetian blinds. **Energy and Buildings**. v. 33, p. 683–697, 2001.

REINHART, C.F; ANDERSEN, M. Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 890–904, 2006.

REINHART, C; BRETON, P. F. Experimental validation of autodesk 3Ds Max1 design 2009 and Daysim 3.0. **Building Simulation**, v. 6, p. 1514 – 1521, Ottawa, 2009.

REINHART, C. WIENOLD, J. The Daylighting Dashboard - A Simulation- Based Design Analysis for Daylit Spaces. **Building and Environment**, Volume 46, Issue 2, 2010.

REINHART, C. Daylight performance predictions. In: J. Hensen and R. Lamberts, eds. **Building performance simulation for design and operation**, v. 1, p. 235–276, USA: Spon Press, 2011.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC. São Carlos. 2012.

SILVA, Adriane Sobreira. **Influência da vegetação na iluminação natural de interiores: elementos de controle e entorno.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2013.

VILLALBA, A.; PATTINI, A.; CORREA E. An approach to urban tree daylight permeability simulation using models based on louvers. **Building and Environment**. Mendonza, v. 73, p. 75-87, fev. 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO DE PROTEÇÃO SOLAR E ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIO EMPRESARIAL DE MACEIÓ – AL[1]

LINS, Dandara Luiza de Mendonça Sarmento (1); BATISTA, Juliana Oliveira (2)

(1) UFAL, e-mail: dm.lins@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: juliana.batista@fau.ufal.br

RESUMO

O clima quente e úmido de Maceió demanda o uso de elementos sombreadores nas aberturas, prevenindo-as dos ganhos térmicos excessivos, porém sem fazer destes obstáculos aos ventos e iluminação natural. O presente trabalho avalia a influência de brises no desempenho da iluminação natural de uma sala em um edifício empresarial em Maceió-AL, estimando-se sua influência no consumo energético com luz artificial. A edificação escolhida é desprovida de dispositivos de sombreamento, tendo sido elaborada uma proposta de retrofit das fachadas com a inserção de brises a fim de assegurar o sombreamento das aberturas das 8h às 16h. Ambas as configurações foram submetidas a simulações computacionais de iluminação natural no programa TropLux v. 7.3.3. Com base nos resultados foram elaborados estudos luminotécnicos, nos quais a iluminação artificial foi usada complementarmente à iluminação natural. As simulações demonstraram que as proteções reduziram os valores de iluminância em todo o ambiente, diminuindo a probabilidade de ofuscamento próximo às janelas, porém aumentando o consumo energético com iluminação artificial. Conclui-se que apesar do pós-retrofit não apresentar resultados plenamente satisfatórios foi possível constatar que os brises reduziriam a entrada da insolação, beneficiando o conforto luminoso e possibilitando o aproveitamento da luz natural, reduzindo também a carga térmica.

Palavras-chave: Iluminação natural. Iluminação artificial. Dispositivos de sombreamento. Simulação computacional.

ABSTRACT

Maceio's climate demands the use of shading devices on windows, which prevents them from excessive heat gain. At the same time, they must not become obstacles to wind or daylight. This paper aims to evaluate the effect of solar shading performance on the amount of daylight through windows of a commercial office space in Maceio-AL, estimating the influence of shading device on energy consumption with the use of artificial lighting. The building is devoid of shading devices; thus, there is a proposal of retrofit for its façades with the insertion of louvers to ensure shading from 8h to 16h. Both configurations (real and retrofit) were subjected to computer simulations using TropLux v. 7.3.3 software. Based on the results, it was designed lighting projects in which artificial lighting was used in conjunction with natural lighting for both situations. The simulations showed that the protection reduced illuminance values throughout the room reducing the glare risk, but increasing energy consumption with artificial lighting. It was concluded that, although the post-retrofit did not provide fully satisfactory results, the louvers reduced the penetration of sunlight, which benefited the luminous comfort and enabled the use of natural light and also reduced the thermal load.

Keywords: *Daylighting. Artificial lighting. Shading devices. Computational simulations.*

1 LINS, Dandara; BATISTA, Juliana. Estudo de proteção solar e iluminação natural em edifício empresarial de Maceió – AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Conforto ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico e sua obtenção depende da adaptação do projeto aos condicionantes ambientais da região de sua implantação (GONÇALVEZ et al, 2011). Esta premissa levou ao estudo e criação de diversos elementos arquitetônicos, como por exemplo: brises, prateleira de luz, peitoril ventilado, entre outros, que quando projetados e utilizados corretamente, são capazes de otimizar a ventilação natural, controlar a incidência solar e favorecer a iluminação natural nas edificações.

Maceió, por ser uma cidade de clima quente e úmido, caracteriza-se pela necessidade de proteger as aberturas da radiação solar direta, objetivando atingir melhor conforto térmico através da prevenção de ganhos excessivos de calor, porém sem fazer destas proteções obstáculos aos ventos e iluminação natural (FROTA e SCHIFFER, 2003). Nesta região há grande quantidade de radiação solar graças ao tipo de céu recorrente, parcialmente nublado (LIMA e CABÚS, 2014). Portanto, justifica-se o aproveitamento da luz natural, uma fonte de luz renovável e abundante em Maceió, como alternativa para promover a utilização consciente dos recursos energéticos diante da necessidade de conservação de energia na construção civil.

São diversas as razões que justificam o aproveitamento da iluminação natural em ambientes, associada à devida proteção solar. A luz natural é qualitativamente superior à luz artificial, pois sua variabilidade permite ao homem a percepção espaço-temporal do lugar onde se encontra. O jogo das intensidades diferenciadas da luz, sombra e de reprodução das cores são informações espaço-temporais que a luz natural fornece, fundamentais ao funcionamento do seu relógio biológico (GONÇALVES et al, 2011).

No entanto, em Maceió, o aproveitamento da luz natural deve ser feito de forma equilibrada, com a adequada proteção das aberturas frente a insolação direta, pois ao se prevenir um ambiente de ganhos excessivos de calor através das aberturas obtém-se uma menor carga térmica, diminuindo assim o consumo energético relacionado à climatização artificial. Observa-se que a necessidade de proteger as edificações da radiação solar direta através de elementos arquitetônicos sombreadores interfere na quantidade de luz que penetra nos ambientes. Considerando-se a inter-relação entre o aproveitamento da iluminação natural e a necessidade de redução da carga térmica face ao clima quente, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos brises no desempenho da iluminação natural em uma sala de um edifício empresarial localizado em Maceió-AL, estimando-se a sua influência no consumo energético relacionado à iluminação artificial.

2 OBJETIVO

Avaliar a influência dos brises no desempenho da iluminação natural em um ambiente de trabalho localizado em Maceió, estimando a sua influência no

consumo energético relacionado à iluminação artificial.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Objeto de estudo

O edifício selecionado localiza-se no bairro do Centro de Maceió, em um lote à beira-mar (Figuras 01 e 02). A edificação conta com 22 pavimentos, que comportam cinco salas cada. Para o estudo foi selecionado um ambiente localizado no 9º andar. O entorno do edifício não apresenta empecilhos para a captação de luz solar pelas aberturas, conferindo a todos os pavimentos a mesma parcela de visível de céu. A sala possui formato retangular (5,40 m x 11,48 x 2,45 m), com teto e paredes claras, iluminada unilateralmente por uma janela orientada para sul (5,40 m x 1,20 m x 1,10 m) (Figura 03).

Figura 01: Planta de situação do Centro Empresarial



Fonte: adaptado de BCPMM, 2010

3.2 Estudo de insolação e proposta de retrofit

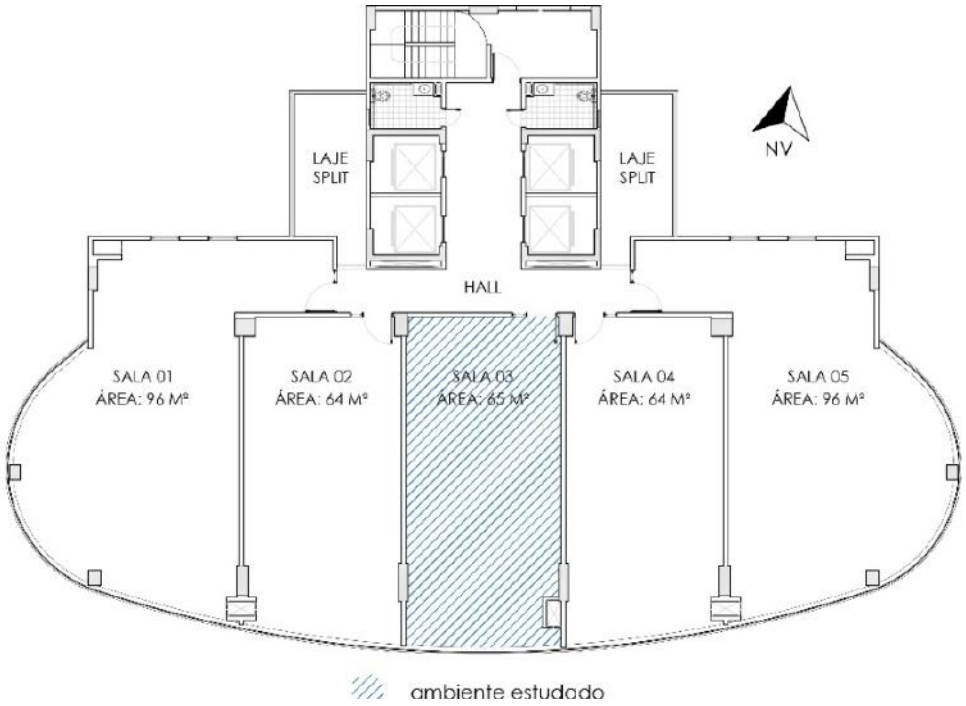
Foi desenvolvido um projeto de retrofit para a fachada do edifício, a fim de visualizar de que forma os elementos de proteção solar influenciariam na sua composição estética. Para a proposta optou-se por dimensionar os dispositivos de maneira que assegurassem o sombreamento das aberturas durante o intervalo das 8h às 16h (Figura 04 a). Considerou-se que fora deste período a radiação solar caracteriza-se por produzir níveis de iluminância baixos, possibilitando pouca contribuição para a realização de tarefas visuais. Optou-se pela inserção de brises horizontais em alumínio, material leve e de fácil instalação, de tal forma que ainda permitisse visibilidade do exterior e proteção solar eficiente. Para garantir a abertura das janelas, que são do tipo maxim-ar (Figura 04 b), foi previsto um espaçamento mínimo 60 cm entre os brises e a fachada frontal. A Figura 05 ilustra o edifício após a implantação dos brises. Com a finalização da proposta de retrofit, deu-se início ao estudo do comportamento da iluminação natural na sala 03 com base em simulações computacionais (Figura 05).

Figura 02: Fachada principal do centro empresarial



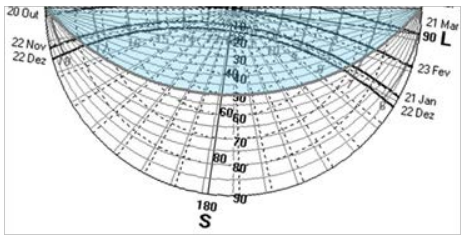
Fonte: As autoras

Figura 03: Planta Baixa do pavimento com destaque para o ambiente estudado

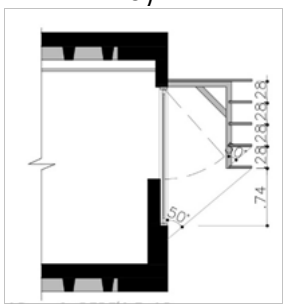


Fonte: adaptado de Marroquim engenharia, 2010.

Figura 04: a) Máscara de sombra; b) Corte transversal do dispositivo de sombreamento proposto.



a)



b)

Fonte: As autoras

Figura 05: Fachada do edfício após retrofit



Fonte: As autoras

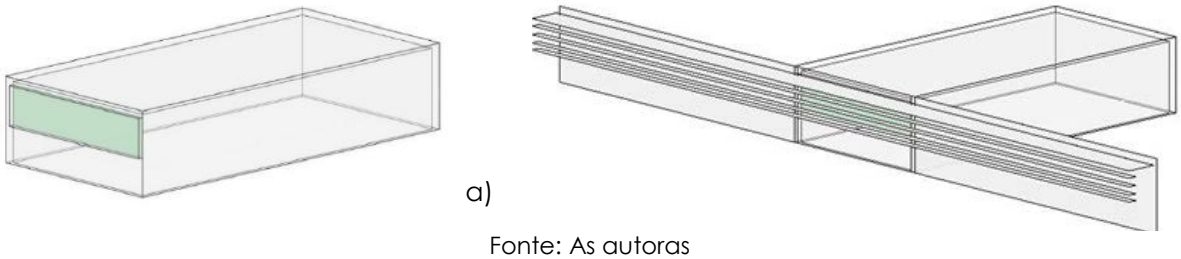
3.3 Estudo da iluminação natural e integração com o sistema artificial

As análises do comportamento da iluminação natural foram desenvolvidas

com o auxílio do programa TropLux versão 7.3.3. Esta ferramenta permite que sejam modelados diferentes tipos de geometrias e conformações de abertura para o estudo do comportamento da luz natural, em qualquer ponto no interior do ambiente. As simulações são feitas de acordo com as configurações de localização, azimute, características dos materiais e modo de processamento preestabelecidos pelo usuário, tendo como resultado os níveis de iluminância, que podem ser visualizados em tabelas, gráficos e isocurvas.

O ambiente foi simulado considerando o fechamento da abertura feito com vidro simples (transmitância = 0,87), antes e após a inserção de elementos sombreadores propostos para a realização de uma análise comparativa (Figura 06).

Figura 06: Modelos computacionais simulados no TropLux: a) ambiente com vidro simples; b) ambiente pós-retrofit.



a)

Fonte: As autoras

Tabela 02: Configurações de refletância das superfícies internas

Superfície	Refletância
Teto	0,9
Paredes	0,8
Piso	0,3
Vidro simples	0,1
Brises	0,5

Fonte: As autoras

Definiu-se que apesar do horário comercial ser de 8h às 18h, as simulações seriam desenvolvidas considerando-se o intervalo de 8h às 16h, por ser o período em que o céu apresenta maior luminosidade. A Tabela 01 apresenta os dados utilizados para a configuração das simulações.

Tabela 01: Configurações de processamento das simulações

Cidade	Maceió - AL
Modo de processamento	Malha ISO/CIE 8995
Tipo de céu	16 – céu dinâmico
Azimute	8º
Dias	Todos os dias
Horas do dia	8h às 16h
Hora (modo)	Solar
Plano de trabalho	0,75 metros de altura

Fonte: As autoras

Os resultados das simulações foram analisados utilizando como referência os intervalos de valores de UDI – Useful Daylight Illuminances (NABIL; MARDALJEVIC, 2012), de acordo com os seguintes intervalos de iluminância:

a. Intervalo a - Inferiores a 100 lux: consideradas insuficientes para serem usados como única fonte de iluminação ou para contribuir significativamente para a iluminação artificial;

b. Intervalo b - 100 lux a 500 lux: considerados eficazes, quer como a única fonte de iluminação, ou em conjunto com iluminação artificial;

c. Intervalo c - 500 lux a 2000 lux: considerados desejáveis ou aceitáveis;

d. Intervalo d - Superiores a 2.000 lux: suscetíveis de causar desconforto térmico e/ou visual.

É importante ressaltar que outros autores, a exemplo de Fernández et al (2016), adotam limites superiores a 2000 lux como valor máximo admissível, aceitando que iluminâncias maiores não causam, necessariamente, ofuscamento. Neste trabalho, optou-se por considerar as faixas de UDI originalmente estabelecidas por Nabil e Mardaljevic (2012).

Foram obtidas as isocurvas de iluminância dos ambientes para o período anual, tendo sido calculadas as curvas médias anuais para os valores mínimos, médios e máximos alcançados em cada sala. Também foram obtidas as isocurvas com as porcentagens de enquadramento das iluminâncias nos intervalos de UDI acima mencionados. Cada planta foi subdividida em setores, delimitados em função das iluminâncias. Deste modo, a distribuição espacial da iluminação foi caracterizada em cada modelo, identificando-se em quais setores haveria excesso de iluminação e onde haveria necessidade de complementação.

Com base na distribuição espacial das iluminâncias ao longo do ano verificadas no ambiente simulado foram elaborados estudos luminotécnicos para ambas as situações. Admitiu-se o emprego da iluminação artificial de modo complementar à luz natural, com o intuito de estimar o consumo energético antes e após o retrofit. Para tal, o sistema de iluminação artificial deverá contar com sensores fotoelétricos para possibilitar seu acionamento quando o nível de iluminância alcançado pela luz natural não atingir o valor considerado adequado para o desenvolvimento das tarefas visuais. O nível considerado foi 500 lux, conforme estabelecido pela NBR 8995 (ABNT, 2013) para ambientes de trabalho.

Este valor iluminância também foi utilizada como referência para o cálculo do fluxo luminoso total do sistema de iluminação artificial, realizado de acordo com o método dos lúmens (Equação 1), demonstrado por Tregenza e Loe (2015).

$$E = n \times F \times UF \times MF / A \quad (1)$$

Onde:

E: iluminância média do plano de trabalho;

n = total de luminárias;

F = fluxo luminoso de cada luminária;

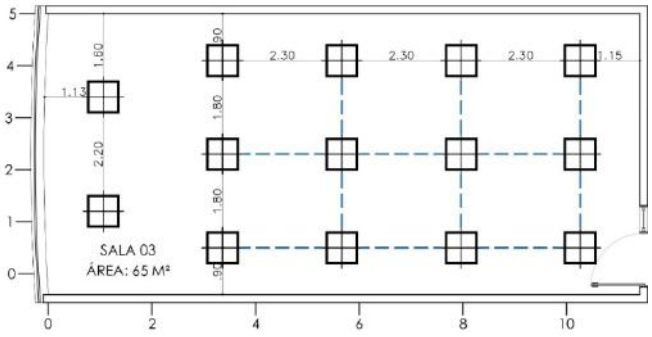
UF = coeficiente de utilização;

MF = coeficiente de manutenção;

A = área do ambiente (m²).

Na proposta luminotécnica optou-se por utilizar lâmpadas de LED, pois, segundo Silva (2009) esta fonte luminosa apresenta baixo consumo energético e alta durabilidade (superior a 50.000 horas). O conjunto lâmpada e luminária escolhidos possui potência de 0,049 KW, eficiência luminosa de 111 lum/W, IRC (80) e temperatura de cor igual a 4.000 K. O cálculo luminotécnico resultou no total de 14 luminárias, distribuídas conforme a Figura 07.

Figura 07: Distribuição das luminárias no ambiente.



Fonte: as Autoras

Para quantificar o consumo energético com a iluminação artificial suplementar em cada proposta, foi necessário subdividir os circuitos de iluminação com base nos resultados das simulações. Cada circuito foi dividido de acordo com a necessidade de iluminação existente em diferentes setores do ambiente. A estimativa do consumo anual de energia elétrica foi realizada de acordo com a Equação 2:

Consumo anual = n x P x H x D (2)

Onde:

n = Quantidade de luminárias ligadas

P = Potência (KW)

H = quantidade de horas ligada por dia

D = quantidade de dias uteis em funcionamento

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

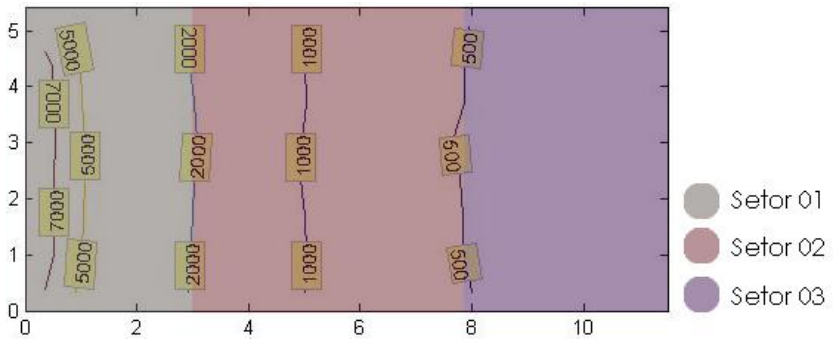
4.1 Ambiente com vidro simples sem brises

As isocurvas das iluminâncias médias anuais (Figuras 08 e 09) do ambiente com aberturas sem brises demonstram que a luz natural não se distribui uniformemente, comportamento esperado para uma sala iluminada unilatelmente. Observa-se que quanto mais distante da janela, menores são os valores de iluminância, chegando a ser de 14 (na ocorrência das médias) a 22 (na ocorrência das máximas) vezes menor do que o valor máximo estimado pelo intervalo de UDI. Este dado indica que há uma grande probabilidade de ocorrência de ofuscamento nas proximidades da janela.

É importante esclarecer que as isocurvas correspondentes aos valores mínimos anuais e do intervalo a (inferiores a 100 lux) foram desconsideradas neste estudo, pois constatou-se que a sua ocorrência ao longo do ano foi de apenas 5%.

Com o objetivo de facilitar a análise dos resultados das médias anuais, as isocurvas foram divididas em setores, determinados pelos resultados de iluminâncias. No caso das isocurvas de iluminâncias médias anuais, observa-se que no setor 01, que compreende a extensão de aproximadamente 3 metros de profundidade a partir da janela, os resultados variaram entre 2.000 e 7.000 lux, abrangendo o intervalo d de UDI. A partir deste ponto até a profundidade de 8 metros concentram-se os resultados enquadrados no intervalo c, na qual as iluminâncias médias anuais variam entre 2.000 lux e 500 lux. Por fim, no setor 03, estão contidas iluminâncias com valores inferiores a 500 lux.

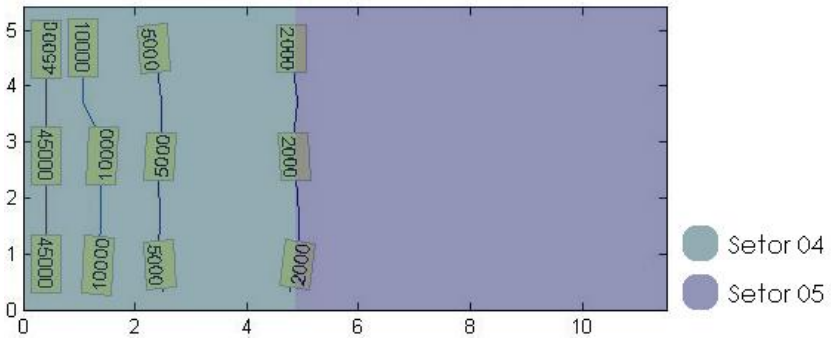
Figura 08: Isocurvas de valores médios anuais (lux)



Fonte: As autoras

Com relação às iluminâncias máximas anuais, foram identificados dois setores no ambiente: 1) setor 04, que se estende até aproximadamente 5 metros de distância da janela, com valores enquadrados no intervalo d (2.000 a 45.000 lux), e 2) o setor 05, abrangendo o restante da sala, com valores compatíveis ao intervalo c (500 lux a 2000 lux).

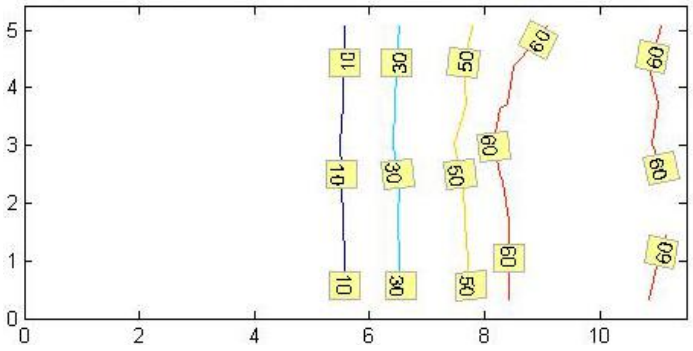
Figura 09: Isocurvas de valores máximos anuais (lux)



Fonte: As autoras

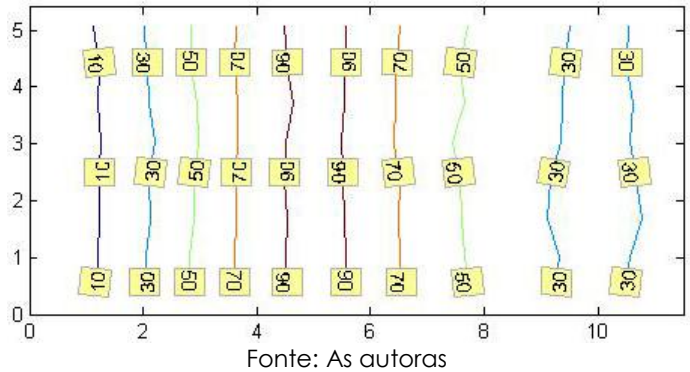
Em relação aos intervalos de UDI (Figuras 10, 11 e 12), as isocurvas revelam que a partir dos 6 metros de distância da janela concentram-se os valores enquadrados no intervalo b (100 lux – 500 lux), com ocorrência de 10% a 60%. Toda a extensão do ambiente apresenta iluminâncias enquadradas no intervalo c (500 lux - 2000 lux), porém, apresenta maior concentração na região central, com ocorrência variando entre 50% e 90%. Para o intervalo d, os valores maiores que 2.000 lux ocorreram com frequência de 90% nas proximidades da janela, variando até 10% a uma distância de 4 metros em relação à mesma.

Figura 10: Isocurvas anuais do intervalo b de UDI (100 lux – 500 lux), em porcentagem de horas simuladas.



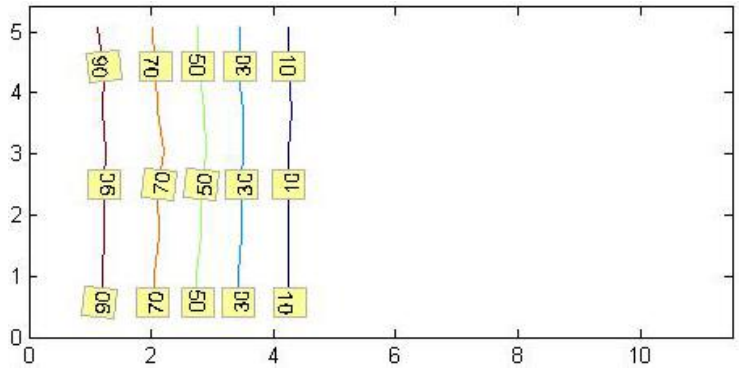
Fonte: As autoras

Figura 11: Isocurvas anuais do intervalo c de UDI (500 lux - 2000 lux), em porcentagem de horas simuladas.



Fonte: As autoras

Figura 12: Isocurvas anuais do intervalo d de UDI (> 2000 lux), em porcentagem de horas simuladas.



Fonte: As autoras

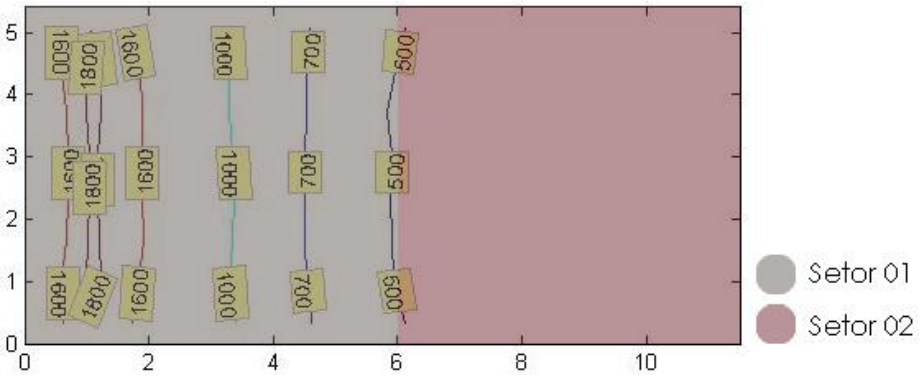
4.2 Ambiente com vidro simples e brises – Proposta de retrofit

Os resultados demonstram que a adição dos brises foi capaz de reduzir significativamente as iluminâncias anuais no interior do ambiente em relação à configuração sem proteção solar.

Observando-se as iluminâncias médias anuais (Figura 13), foram identificados dois setores no ambiente: até 6 metros de distância da janela (setor 01), as iluminâncias atingiram no máximo 1.800 lux, valor 7 vezes menor do que aquele registrado para o ambiente desprovido de brises. Nos fundos do ambiente (setor 02), as iluminâncias alcançaram no máximo 500 lux.

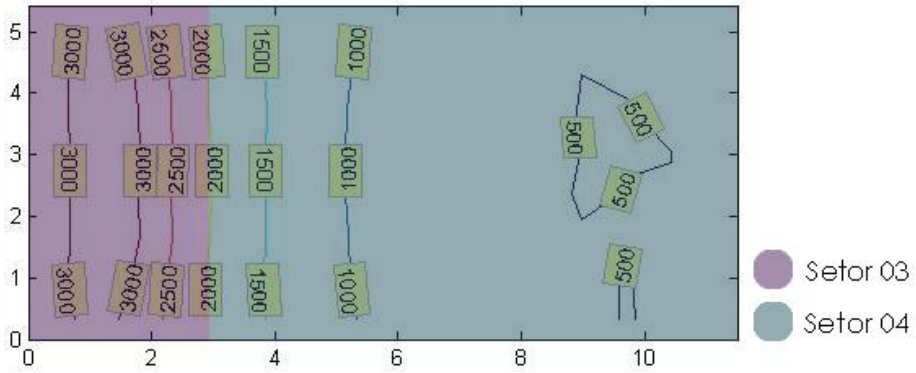
No caso das iluminâncias máximas anuais (Figura 14), também foram identificados dois setores: até 3 metros de distância da janela (setor 03) foram observadas as iluminâncias mais altas, obtendo-se até 3.000 lux. Entretanto, este valor é 15 vezes menor que o apresentado na situação com proteção solar (vide Figura 09). No restante do ambiente (setor 04), as iluminâncias variaram entre 500 lux e 2000 lux.

Figura 13: Isocurvas de valores médios anuais (lux), ambiente pós-retrofit



Fonte: As autoras

Figura 14: Isocurvas de valores máximos anuais (lux), ambiente pós-retrofit



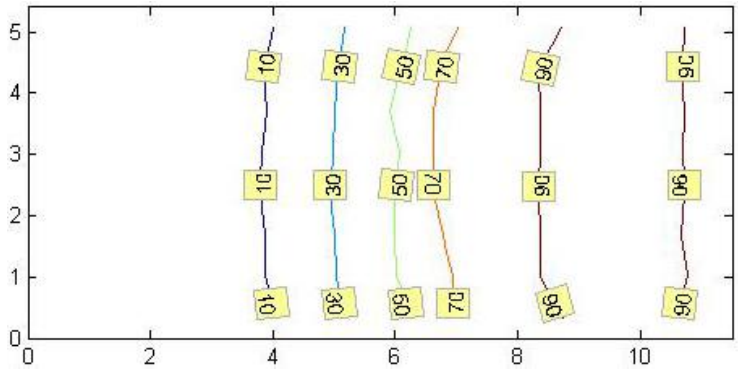
Fonte: As autoras

Em relação aos intervalos de UDI (Figuras 15, 16 e 17), verificou-se que a redução da frequência de ocorrência de iluminâncias acima de 2.000 lux após a inserção dos brises. Com a redução desses níveis, o ambiente passou a apresentar uma maior ocorrência de iluminâncias enquadradas entre 500 lux e 2.000 lux, as quais se distribuíram por toda a extensão da sala.

As iluminâncias enquadrados no intervalo b de UDI (100 lux a 500 lux) concentram-se nos setores a partir de 4 metros de distância da janela, com ocorrência entre 10% e 90% (Figura 15). As iluminâncias pertencentes ao intervalo c (500 lux a 2000 lux) tiveram comportamento similar ao da proposta anterior, distribuindo-se por todo o ambiente. Porém, ocorreram com maior frequência nas proximidades da janela até 7 metros de distância, durante 70% a 30% (Figura 16).

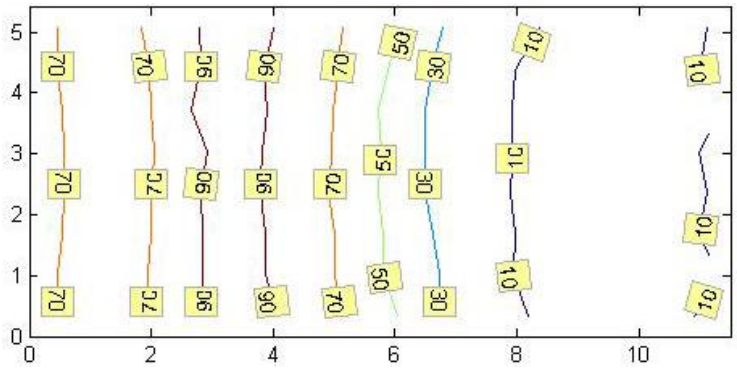
A frequência de ocorrência de iluminâncias superiores a 2000 lux sofreram uma redução significativa, atingindo de 30% a 10% de ocorrência durante as horas simuladas, na área restrita a 3 metros de profundidade a partir da janela, denominado como setor 01 (Figura 17).

Figura 15: Isocurvas anuais do intervalo b de UDI (100 lux – 500 lux), ambiente pós-retrofit, em porcentagem de horas simuladas.



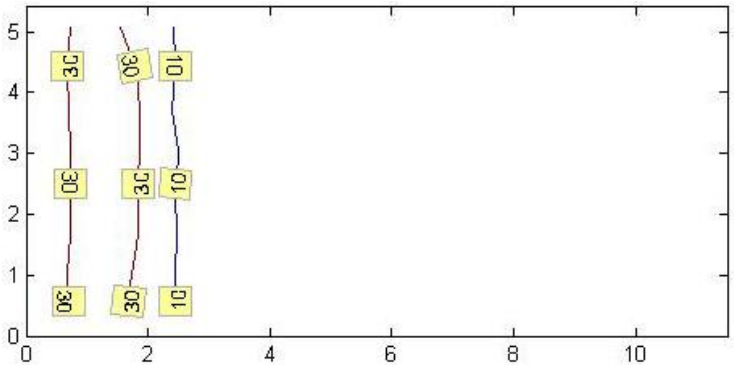
Fonte: As autoras

Figura 16: Isocurvas anuais do intervalo c de UDI (500 lux - 2000 lux), ambiente pós-retrofit, em porcentagem de horas simuladas.



Fonte: As autoras

Figura 17: Isocurvas anuais do intervalo d de UDI (> 2000 lux), sala pós-retrofit, em porcentagem de horas simuladas.



Fonte: As autoras

Os resultados obtidos demonstram que apesar da redução quantitativa, o aspecto qualitativo (distribuição espacial das iluminâncias) foi beneficiado. Também se constatou que houve aumento na porcentagem de horas de ocorrência do intervalo b (100 lux a 500 lux), o que indica que o consumo energético seria maior devido ao emprego da iluminação artificial no ambiente após o retrofit.

Com relação ao consumo energético com a iluminação artificial, considerando-se a contribuição da luz natural no intervalo entre as 8h e 16h e também o intervalo das 16h às 18h, com o uso exclusivo da iluminação artificial, foram obtidos os seguintes resultados:

a. Ambiente com vidro simples, sem brises: Há necessidade de utilizar iluminação artificial no intervalo das 8h – 16h em 2 lâmpadas nos fundos da sala, as quais permaneceriam em funcionamento durante 90% do horário comercial; 3 lâmpadas durante 50% e 3 lâmpadas durante 30%. Portanto, o consumo de energia com iluminação artificial previsto é de 707,5 KWh/ano;

b. Ambiente com vidro simples e brises – Proposta de retrofit: Nesta situação seria necessário manter 5 lâmpadas em funcionamento durante 90% das horas simuladas, localizadas nos fundos da sala; 3 lâmpadas por 70% e 3 lâmpadas ao longo de 10%. Para esta proposta o consumo energético com iluminação artificial estimado é de 1.035,5 KWh/ano.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram discutidos os benefícios advindos da utilização da iluminação natural na arquitetura de forma eficiente. Diante deste fato, foi proposto estudar a relação existente entre dois condicionantes climáticos característicos de Maceió: a farta disponibilidade de iluminação natural e a necessidade de proteção contra a insolação, buscando aplicar as recomendações da bibliografia estudada à nossa região. Para tanto foram feitos estudos da insolação na fachada e análises da iluminação natural sobre a interferência de dispositivos de sombreamento no desempenho da iluminação natural. Esta proposta buscava não só entender a mudança no comportamento da luz após a inserção dos brises no edifício, mas também tinha como objetivo ilustrar, através de perspectiva da fachada, que é possível projetar uma edificação adequada ao clima quente e úmido da cidade sem abdicar totalmente do conceito estético original.

Os resultados das simulações demonstraram que o ambiente real apresentou alta probabilidade de desconforto visual durante quase todo o ano. Com a inserção dos brises, verificou-se um aumento do consumo de energia com iluminação artificial. Porém, na proposta de retrofit houve a redução de horas com iluminância excessiva, diminuindo a probabilidade de ofuscamento. Além disso, obteve-se uma maior uniformidade da distribuição da luz, com o aumento da frequência de ocorrência de iluminâncias enquadradas no intervalo c (500 a 2000 lux), considerado o ideal. Desta forma, pode-se concluir que a proposta apresentada beneficiou as condições de conforto luminoso.

Considerando-se o ambiente em sua situação real, não há bloqueios contra a radiação solar, trazendo consigo maior aporte de calor, propiciando também o ofuscamento. Desse modo, o desconforto térmico e luminoso levaria os usuários a manterem as cortinas fechadas, recorrendo inteiramente à iluminação e ao condicionamento artificiais e, por conseguinte, elevando o consumo de energia. Já na proposta de retrofit, a existência dos brises reduziria a penetração da insolação, beneficiando o conforto luminoso nas proximidades da abertura e possibilitando o aproveitamento da luz natural.

Observa-se que neste trabalho foi analisado apenas o consumo energético com iluminação artificial. No entanto, a proposta de retrofit apresentada também interfere na carga térmica absorvida pela fachada devido ao sombreamento das aberturas, que após o retrofit seria menor, podendo reduzir o consumo energético com condicionamento artificial, compensando a necessidade de utilização da iluminação artificial complementar. Desta forma propõem-se como possibilidade de trabalho futuro, a análise do consumo de energia com refrigeração do ambiente.

As análises apresentadas demonstram a importância de se realizar a adequação climática da edificação no momento de sua concepção. Propostas de retrofit da fachada implicam em custos adicionais para sua instalação no edifício já em fase de operação, que seriam eliminados caso o

projeto arquitetônico incorporasse respostas aos condicionantes climáticos locais. Quanto ao desempenho luminoso, o ambiente pós-retrofit não obteve resultados plenamente satisfatórios devido a sala apresentar iluminação unilateral e por possuir profundidade superior ao limite de alcance da luz natural proveniente da abertura da fachada. Portanto, observa-se que a planta do edifício poderia ter sido concebida de modo a proporcionar a penetração da luz natural não apenas pela fachada, mas também por outras aberturas voltadas para áreas de captação da luz natural, por exemplo, com a inserção de átrios ventilados e com iluminação zenital.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8995: Iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

Fernández, E; Beckers, B; Besuievsky G. **A fast daylighting method to optimize opening configurations in building design**. In: Energy and Buildings, [s.l.], n. 125, p. 205–218, 2016. Disponível em:< http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816303735 >. Acesso em: 27 de junho de 2016.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 6ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; VIANA, Nelson Solano; MOURA, Norberto Corrêa da Silva. **Iluminação natural e artificial**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011.

LIMA, Renata Camelo; CABÚS, Ricardo Carvalho. **Disponibilidade de luz natural no interior do Ambiente no litoral norte de Maceió – AL**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 15. 2014, Maceió, AL. Anais... Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2014.

NABIL, Azza; Mardaljevic, John. **Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors**. Reino Unido: [S. ed.] 2012.

SILVA, Mauri Luiz da. **Iluminação: simplificando o projeto**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2009.

TREGENZA, Peter; LOE, David. **Projeto de Iluminação**. 2 ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

SHEDS EXTRATORES E CAPTADORES DE AR: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DOS VENTOS EXTERNOS[1]

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia (1); SHIMOMURA, Alessandra Prata (2); MARQUES DA SILVA, Fernando (3); CARAM, Rosana Maria (4);

(1) Arquiteta e urbanista, e-mail: mlukiantchuki@yahoo.com.br; (2) USP, e-mail: arprata.shimo@gmail.com; (3) LNEC, e-mail: fms@lnec.pt; (4) USP, e-mail: rcaram@sc.usp.br

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para o condicionamento térmico passivo de edificações. Dentre as estratégias de ventilação, destacam-se os *sheds*, aberturas no telhado, que funcionam como captadores ou extratores de ar, dependendo de sua localização em relação aos ventos dominantes. O objetivo dessa pesquisa é avaliar a influência do aumento da velocidade dos ventos externos no desempenho de diferentes geometrias de sheds. O sistema foi avaliado para os ângulos de incidência dos ventos externos de 0° e 45° (extração), 90° (neutra) e 135° e 180° (captação) e para as velocidades dos ventos externos de: 1,5m/s; 3,0m/s e 7,0m/s. A metodologia adotada foi simulação por Dinâmica dos Fluidos Computacional, utilizando o *software* CFX. Os resultados indicam que as taxas de renovação de ar aumentaram em função do incremento da velocidade dos ventos externos. No entanto, as porcentagens de aproveitamento dos ventos externos no espaço interno, não apresentaram diferenças expressivas com o aumento da velocidade externa. O mesmo ocorreu com os Cps nas aberturas. Além disso, não foi registrada nenhuma interferência na distribuição do fluxo de ar interno. Essa tendência foi observada para todos os ângulos de incidência dos ventos e em todas as geometrias avaliadas.

Palavras-chave: Ventilação natural. Sheds. Velocidade dos ventos. Simulação CFD.

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the most efficient strategies for the passive thermal conditioning of buildings. Among the ventilation strategies sheds can be highlight. These structures consist of roof openings that work as either air collectors or extractors, depending on their location in relation to the prevailing wind directions. This paper aim is to evaluate the influence of the increased velocity of the external winds in the performance of different geometries sheds. The system was evaluated for different external wind incidence angles: 0° and 45° (air extraction), 90° and 135° and 180° (air collection) and the three velocity of the wind: 1.5m/s; 3.0m/s and 7.0m/s. The methodology was Computational Fluid Dynamics simulation, using the CFX software. The results indicate that the air renewal rates have increased due to the increase of the external wind velocity. However, the percentages of the use of external wind in the inner space did not show significant differences with increasing external velocity. The same occurred with the Cps. Moreover, no interference has been recorded in the distribution of internal air flow. This trend was observed for all wind angles and geometries tested.

***Keywords**: Natural ventilation. Sheds. Wind velocity. CFD simulation.*

---

[1] LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia; SHIMOMURA, Alessandra Prata; MARQUES DA SILVA, Fernando; CARAM, Rosana Maria. Sheds extratores e captadores de ar: análise da influência da velocidade dos ventos externos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte do território brasileiro é classificada como um clima quente e úmido, onde as oscilações de temperaturas diárias e sazonais são pequenas e a umidade relativa do ar é significativamente alta (GOULART et al., 1997). Nesse tipo de clima a ventilação natural associada à proteção solar constitui uma das estratégias mais eficientes para a obtenção do conforto térmico por meio de estratégias passivas. Segundo Lôbo e Bittencourt (2003) a ventilação pode ser usada para duas finalidades complementares: 1) resfriar o edifício, aquecido pela radiação solar e por ganhos térmicos internos, onde significativas taxas de ventilação podem diminuir a temperatura interna; 2) resfriamento fisiológico, que segundo Givoni (1994) diminui a temperatura efetiva atuando na evaporação do suor e acelerando as trocas de calor por convecção entre o fluxo de ar e o corpo. Esse efeito, de acordo com Clark (1989), pode ser alcançado com ventos de baixa velocidade, produzindo a sensação de conforto térmico nos usuários. No entanto, ventos de alta velocidade aumentam significativamente essa sensação.

De acordo com Boutet (1991) a velocidade do vento aceitável em interiores varia de 0,5 a 2,0m/s, sendo este limite baseado em problemas práticos como a desordem de papéis sobre as mesas. No entanto, segundo Lôbo e Bittencourt (2003) em regiões de clima quente e úmido, é provável que o resfriamento da ventilação com velocidades maiores compense essas desvantagens. Hanzawa et al. (1987) destaca que os benefícios da ventilação são menos dependentes da direção dos ventos em relação ao corpo, sendo a turbulência do vento a variável de maior importânca. Para Fanger e Christensen (1986) essa variação do ar pode aumentar as trocas de calor por convecção e, assim, a sensação de conforto humano.

Uma das soluções de ventilação ao nível da cobertura que auxilia no incremento da ventilação natural nos ambientes internos são os *sheds* que funcionam como captadores ou extratores de ar, dependendo de sua posição em relação aos ventos dominantes. No entanto, apesar de terem um grande potencial, são pouco explorados pela arquitetura nacional, devido ao pouco conhecimento sobre o seu funcionamento e à falta de dados técnicos disponíveis aos projetistas (LÔBO e BITTENCOURT, 2003). Os exemplos mais comuns desses dispositivos são os "dentes de serra", cujo formato é ortogonal e sem muitas variações. No Brasil, destaca-se o trabalho do arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, cujos *sheds* estão presentes na maioria dos seus projetos. Baseado nas suas experiências e nos fatores climáticos locais, ao longo dos anos Lelé foi desenvolvendo *sheds* com diferentes geometrias aerodinâmicas (Figura 1), buscando melhorar a ventilação e a iluminação naturais. O formato desses dispositivos é importante, pois segundo Hoof *et al.* (2011) um dos principais parâmetros que influem na ventilação natural é a geometria do edifício.

Figura 1 – *Sheds* ortogonais e aerodinâmicos projetados por Lelé



Fonte: Acervo da autora (2015)

2 OBJETIVO

O objetivo desse artigo é avaliar a influência do aumento da velocidade dos ventos externos no desempenho de diferentes geometrias de *sheds* extratores e captadores de ar, com relação à ventilação natural.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi realizada em duas etapas: 1. Definição dos modelos avaliados e 2. Simulação por Dinâmica dos Fluídos Computacional.

3.1 Definição dos modelos avaliados

3.1.1 Definição dos dados climáticos

Analisaram-se os dados dos ventos das principais cidades brasileiras da zona bioclimática 8 (NBR15220, 2003), por ser a região que apresenta cidades de clima quente e úmido, exigindo uma ventilação permanente ao longo de todo o ano. O desempenho foi avaliado sob a influência de diferentes velocidades dos ventos externos. Com base nos dados climatológicos das séries históricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMet), do período de 2002 a 2011 e nos arquivos no formato Epw elaborados por Roriz (2002) foi estabelecida uma referência de valores baixo, médio e alto: 1,5m/s; 3,0m/s e 7,0m/s (LUKIANTCHUKI, 2015). No entanto, esse valor é referente aos dados medidos nas estações meteorológicas, a 10m de altura. Sendo assim, foi utilizada a lei de potência (SIMIU; SCANLAN, 1996), eq.(1), para a correção da velocidade dos ventos na altura da edificação. Para este trabalho adotou-se como entorno um ambiente suburbano com valor de a = 0,21.

$$\frac{U}{U_{ref}} = \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \qquad (1)$$

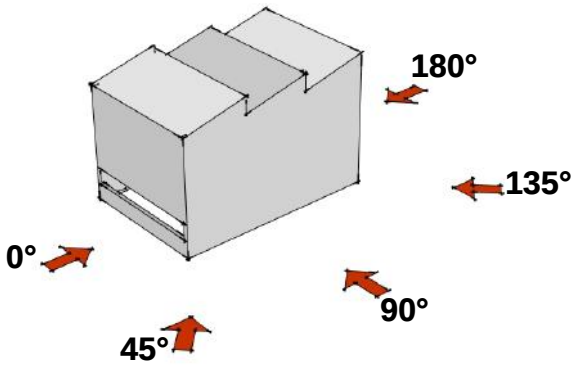
Onde:

U Velocidade média do vento em certa altura h (m/s)
U_{ref} Velocidade do vento medida na altura de referência (m/s)

h Altura da edificação que se deseja avaliar a velocidade do vento (m)
h_{ref} Altura de referência da velocidade do vento medida (10m)
α Expoente de lei de potência da camada limite atmosférica (depende do entorno).

O desempenho dos *sheds* também foi avaliado sob a influência de diferentes ângulos de incidência dos ventos externos: extratores de ar (0° e 45°), situação neutra (90°) e captadores de ar (135° e 180°) (Figura 2).

Figura 2 – Ângulos de incidência dos ventos externos analisados



Fonte: Acervo da autora (2015)

3.1.2 Definição dos modelos avaliados

Cinco diferentes geometrias foram avaliadas: 1) *sheds* ortogonais (caso de referência - CR) e 2) quatro geometria de *sheds* aerodinâmicos projetados por Lelé, por ser o arquiteto brasileiro que mais utiliza esses dispositivos e com a maior variação geométrica: G01, G02, G03 e G04. O modelo analisado apresenta um formato retangular com 5,00m de largura e altura e 7,50m de comprimento. O edifício tem 3 sheds, cuja distância entre eles é de 2,50m. As aberturas superiores e a inferior têm a mesma dimensão de 5 x 0,625m e a distância vertical entre elas é de 3,75m (Figura 3).

Figura 3 – Modelos avaliados: CR, G01, G02, G03 e G04, respectivamente



Fonte: Acervo da autora (2015)

3.2 Simulação computacional

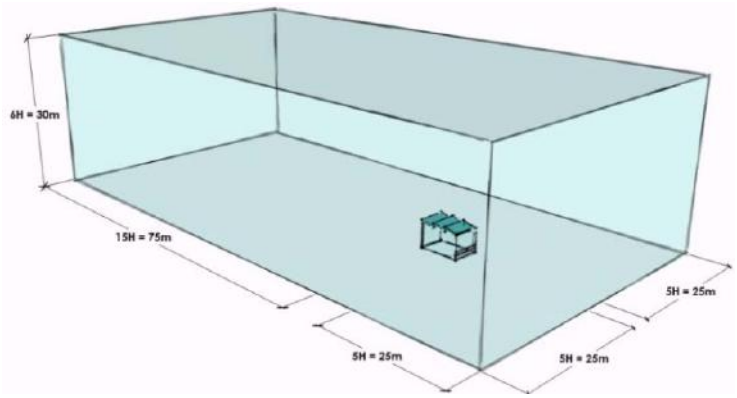
Para a realização das simulações computacionais, utilizou-se o *software* CFX 12.0, devido aos seguintes critérios: 1) *software* CFD adequado aos estudos da ventilação natural e 2) ferramenta amplamente utilizada nas pesquisas de análise de fluídos nas áreas de arquitetura, apresentando boa coerência dos resultados com os fenômenos físicos.

3.2.1 Construção do modelo

A preparação do modelo tridimensional foi realizada no *software* AutoCAD e, posteriormente, foram exportados para o Icem CFX. Todas as janelas foram consideradas abertas. Junto ao edifício, elaborou-se um volume externo sem aberturas, representando o domínio pelo qual o fluido escoará.

Optou-se pelo domínio retangular, cujas dimensões seguiram as recomendações de Harries (2005): distâncias a barlavento e nas laterais = 5H (25m); altura = 6H (30m); distância a sotavento = 15H (75m), sendo H=5m, que corresponde à altura do modelo simulado (Figura 4). A área de obstrução do edifício no domínio foi de 1,1%, na seção transversal no sentido do fluxo e 1,5% no sentido perpendicular ao fluxo, atendendo a sugestão de Cost (2004), cujo valor não deve exceder 3%.

Figura 4 – Dimensões adotadas para o domínio retangular.



Fonte: Acervo da autora (2015)

3.2.2 Geração da malha computacional

Para todas as simulações utilizou-se uma malha estruturada tetraédrica cujos parâmetros globais adotados foram: *maximum element size* de 16; *natural size* de 4; *cells in gap* de 8. Após a definição desses parâmetros, a malha foi refinada nas superfícies do edifício em um valor de 0,20m, a fim de melhorar a visualização do fluxo de ar no espaço interno e no entorno imediato ao edifício[2]. Posteriormente, a malha foi gerada determinando a quantidade de elementos e o tempo de processamento das simulações (Figuras 5 e 6).

Figura 5 – Vista geral da malha para o CR

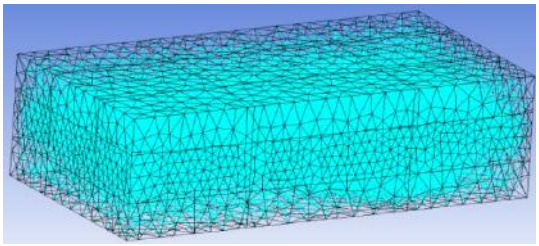
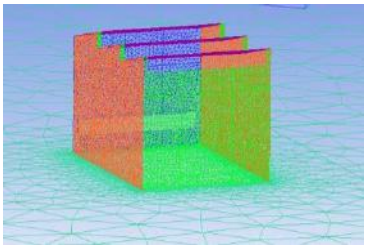


Figura 6 – Detalhe da malha para o CR



Fonte: Acervo da autora (2015)

[2] Valores definidos após a realização de testes de sensibilidade da qualidade da malha computacional (LUKIANTCHUKI, 2015).

3.2.3 Definição das condições iniciais e de contorno

As condições do domínio foram semelhantes às de um túnel de vento: entrada como INLET e a saída como OUTLET; as laterais e o teto como WALL *free slip* (sem atrito) e; o piso e as superfícies do edifício como WALL *no slip* (com atrito). A simulação decorreu em regime permanente, na condição isotérmica a 25 °C, com o modelo K-epsilon de turbulência. Os parâmetros de resolução para controle de convergência foram de 6.000 iterações e nível de convergência MÁX de 10^{-4}.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Velocidade do fluxo de ar interno e as taxas de renovação de ar/hora

O gráfico 1 apresenta a velocidade do fluxo de ar ao longo do espaço interno para diferentes velocidades e ângulos de incidência dos ventos externos, em cada geometria analisada. A velocidade do fluxo de ar interno foi medida em 15 pontos, distantes entre si em 1,25m e a uma altura de 0,94m a partir do piso, referente ao ponto médio da abertura mais baixa e à zona de ocupação dos usuários.

A velocidade do fluxo de ar interno aumentou em função do incremento da velocidade dos ventos externos, conforme esperado, sendo que o maior acréscimo ocorreu quando os sheds funcionaram como extratores de ar (0° e 45°). No entanto, nota-se a mesma tendência nessa variação para todas as velocidades dos ventos externos analisadas. O incremento mais reduzido do fluxo de ar interno foi observado para a situação neutra (90°). Nesse caso, não foi registrada uma diferença significativa na ventilação natural interna com o aumento da velocidade dos ventos externos, ressaltando que a direção dos ventos externos também é determinante no desempenho da ventilação natural nos espaços internos, do que unicamente a mudança na sua velocidade.

No entanto, as porcentagens de aproveitamento dos ventos externos no espaço interno (tabela 1), não apresentaram diferenças expressivas com o aumento da velocidade externa. Naturalmente o mesmo ocorreu com os Cps nas aberturas, conforme indicado pela literatura especializada (AWBI, 1998; CÓSTOLA; ALLUCI, 2011; CÓSTOLA; BLOCKEN; HENSEN, 2009; LEITE; FROTA, 2013), cujos valores variam em função, principalmente, do ponto de interesse na fachada, da geometria do edifício, das características do entorno e da direção dos ventos.

Além disso, e também como esperado, não foi registrada nenhuma alteração no padrão de distribuição do fluxo de ar interno, uma vez que o caminho percorrido pela corrente de ar no edifício foi o mesmo, independente do aumento da velocidade dos ventos externos (figura 7). Essa tendência foi observada para todos os ângulos de incidência dos ventos e em todas as geometrias avaliadas.

Gráfico 1 – Velocidade do fluxo de ar ao longo do espaço interno para diferentes velocidades e ângulos de incidência dos ventos externos.

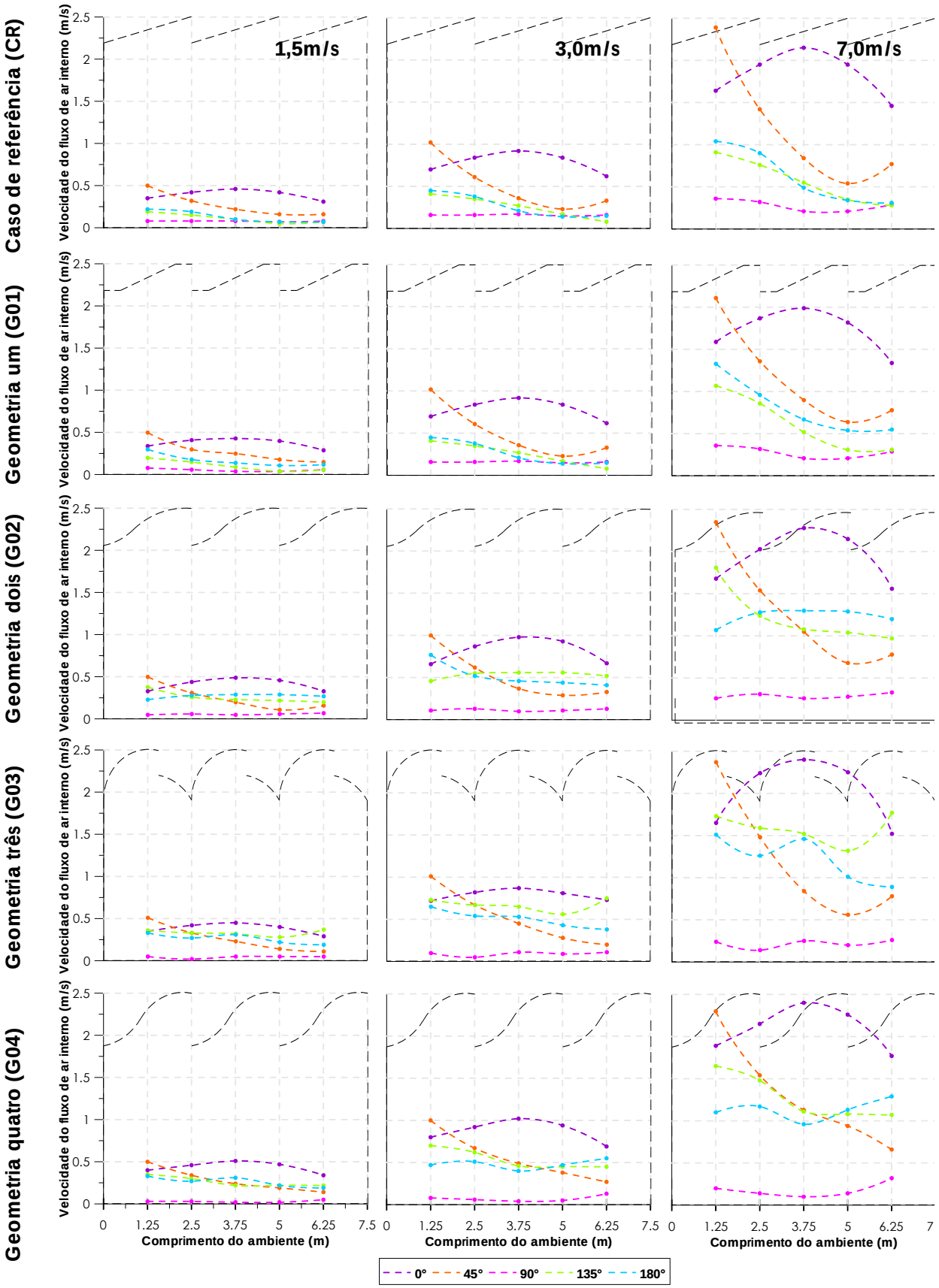
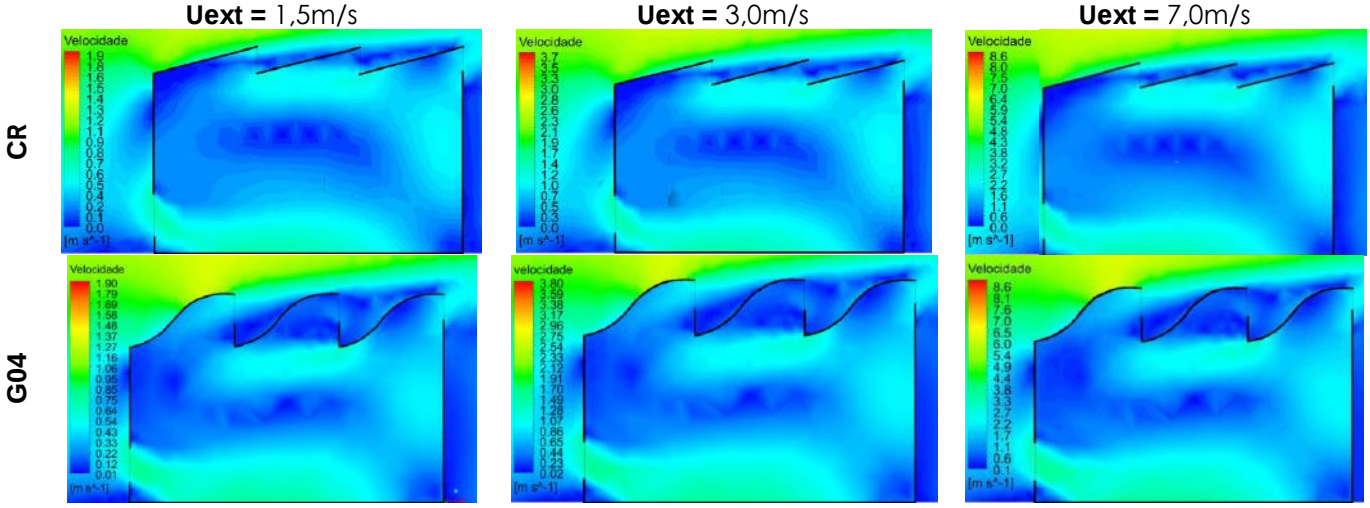


Tabela 1 - Velocidade média do fluxo de ar interno em relação à velocidade dos ventos externos (U/Uref) para todas as geometrias analisadas

Ângulo de incidência dos ventos externos		Velocidade dos ventos externos (m/s)					
		U_{ref} = 1,50m/s		U_{ref} = 3,0m/s		U_{ref} = 7,0m/s	
		U (m/s)	U/U_{ref}	U (m/s)	U/U_{ref}	U (m/s)	U/U_{ref}
Caso de referência (CR)	0°	0,31	**26%**	0,62	**26%**	1,43	**26%**
	45°	0,22	**18%**	0,41	**17%**	0,94	**17%**
	90°	0,06	**5%**	0,12	**5%**	0,27	**5%**
	135°	0,08	**7%**	0,19	**8%**	0,44	**8%**
	180°	0,11	**9%**	0,22	**9%**	0,49	**9%**
Geometria um (G01)	0°	0,30	**25%**	0,58	**24%**	1,37	**25%**
	45°	0,23	**19%**	0,46	**19%**	0,99	**18%**
	90°	0,05	**4%**	0,10	**4%**	0,22	**4%**
	135°	0,08	**7%**	0,19	**8%**	0,49	**9%**
	180°	0,13	**11%**	0,26	**11%**	0,60	**11%**
Geometria dois (G02)	0°	0,32	**27%**	0,65	**27%**	1,54	**28%**
	45°	0,20	**17%**	0,41	**17%**	0,99	**18%**
	90°	0,05	**4%**	0,10	**4%**	0,22	**4%**
	135°	0,20	**17%**	0,41	**17%**	0,93	**17%**
	180°	0,22	**18%**	0,43	**18%**	0,99	**18%**
Geometria três (G03)	0°	0,30	**25%**	0,62	**26%**	1,48	**27%**
	45°	0,20	**17%**	0,41	**17%**	0,93	**17%**
	90°	0,04	**3%**	0,07	**3%**	0,16	**3%**
	135°	0,26	**22%**	0,53	**22%**	1,26	**23%**
	180°	0,20	**17%**	0,41	**17%**	0,93	**17%**
Geometria quatro (G04)	0°	0,35	**29%**	0,70	**29%**	1,65	**30%**
	45°	0,23	**19%**	0,46	**19%**	1,04	**19%**
	90°	0,02	**2%**	0,05	**2%**	0,11	**2%**
	135°	0,20	**17%**	0,43	**18%**	0,99	**18%**
	180°	0,20	**17%**	0,38	**16%**	0,93	**17%**

Figura 7 - Distribuição do fluxo de ar no ambiente interno e ao redor dos sheds para o caso de referência e para a geometria quatro - ângulo de incidência do vento externo de 0°

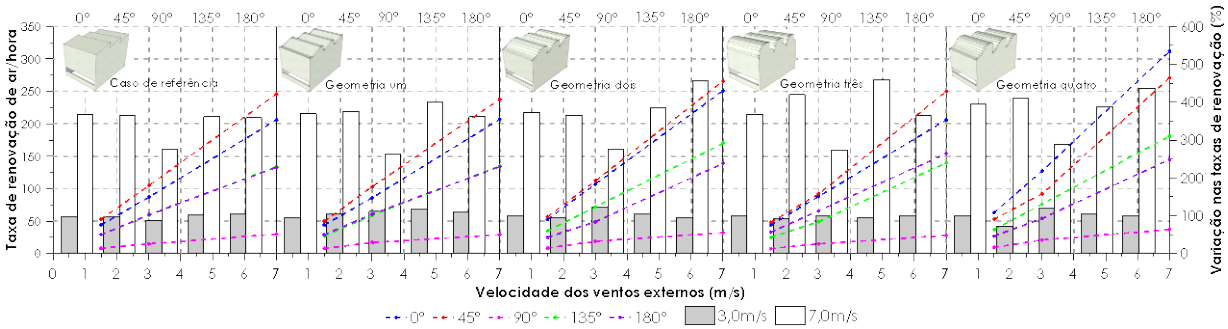


Fonte: Acervo da autora (2015)

Por fim, o gráfico 2 apresenta as taxas de renovação de ar/hora e a variação nesses valores (%) em função do aumento da velocidade dos

ventos externos, para os cinco ângulos de incidência dos ventos e em todas as geometrias analisadas.

Gráfico 2 - Taxas de renovação de ar/hora em função da velocidade dos ventos externos, para os diferentes ângulos de incidência dos ventos em todas as geometrias analisadas.



Conforme esperado, o aumento da velocidade dos ventos externos também resultou em um claro acréscimo nas taxas de renovação de ar/hora, para todos os casos avaliados. Uma relação quase linear entre as taxas e a velocidade externa foi observada, independente da geometria dos sheds, como pode ser observado pelo aumento nesses valores (%) que seguem a mesma tendência. Além disso, nota-se que a influência da velocidade externa sobre a renovação de ar nos ambientes internos foi altamente dependente do ângulo de incidência dos ventos externos. Por fim, ressalta-se que a G04 apresentou as maiores taxas de renovação para todas as velocidades avaliadas, embora o incremento tenha sido semelhante às outras geometrias analisadas. Chama-se a atenção para o fato de os elevados valores das taxas de renovação apresentados (mínimos de 10 a 60) ocorreram devido à inexistência de obstruções no espaço interno.

4.2 Velocidade do fluxo de ar interno e o conforto adaptativo

A principal função de um edifício é proporcionar conforto aos seus ocupantes, sendo imprescindível que o ambiente interior esteja adaptado aos aspectos locais e sazonas. Tanto a direção quanto à velocidade dos ventos externos de determinada região não podem ser alteradas pelo arquiteto. No entanto, este pode atuar tirando o melhor partido dessas características através de estratégias projetuais, como a implantação e a geometria do edifício, as dimensões das aberturas, entre outras, visando o incremento ou o controle dos ventos externos disponíveis nas edificações.

Diante disso, foram discutidos os níveis aceitáveis da velocidade do fluxo de ar interno, em função da velocidade dos ventos externos (1,5m/s – 3,0m/s – 7,0m/s). Geralmente, os limites aceitáveis da velocidade do ar são fornecidos por normas internacionais como ASHRAE 55 (2004), ISO 7730 (2005) e EN15251 (2007). No entanto, estes documentos especificam valores para a velocidade do ar inferiores aos desejados pelos usuários de regiões do Brasil, que demandam por maior movimento do ar. Os valores de velocidade média do ar interno, em função das velocidades dos ventos externos, para cada uma das cinco geometrias, foram obtidos e utilizaram-se os limites propostos no trabalho de Cândido et al. (2010). Os autores questionaram os

limites de aceitabilidade do movimento do ar previsto pelas referidas normas, uma vez que experimentos no Brasil demonstraram que nossos limites são diferentes dos praticados em países europeus. Através da pesquisa desses autores, notou-se que velocidades maiores podem ser não apenas bem aceitas como até desejadas pelos usuários. A tabela 2 apresenta a escala elaborada com base no trabalho de Cândido et al. (2010).

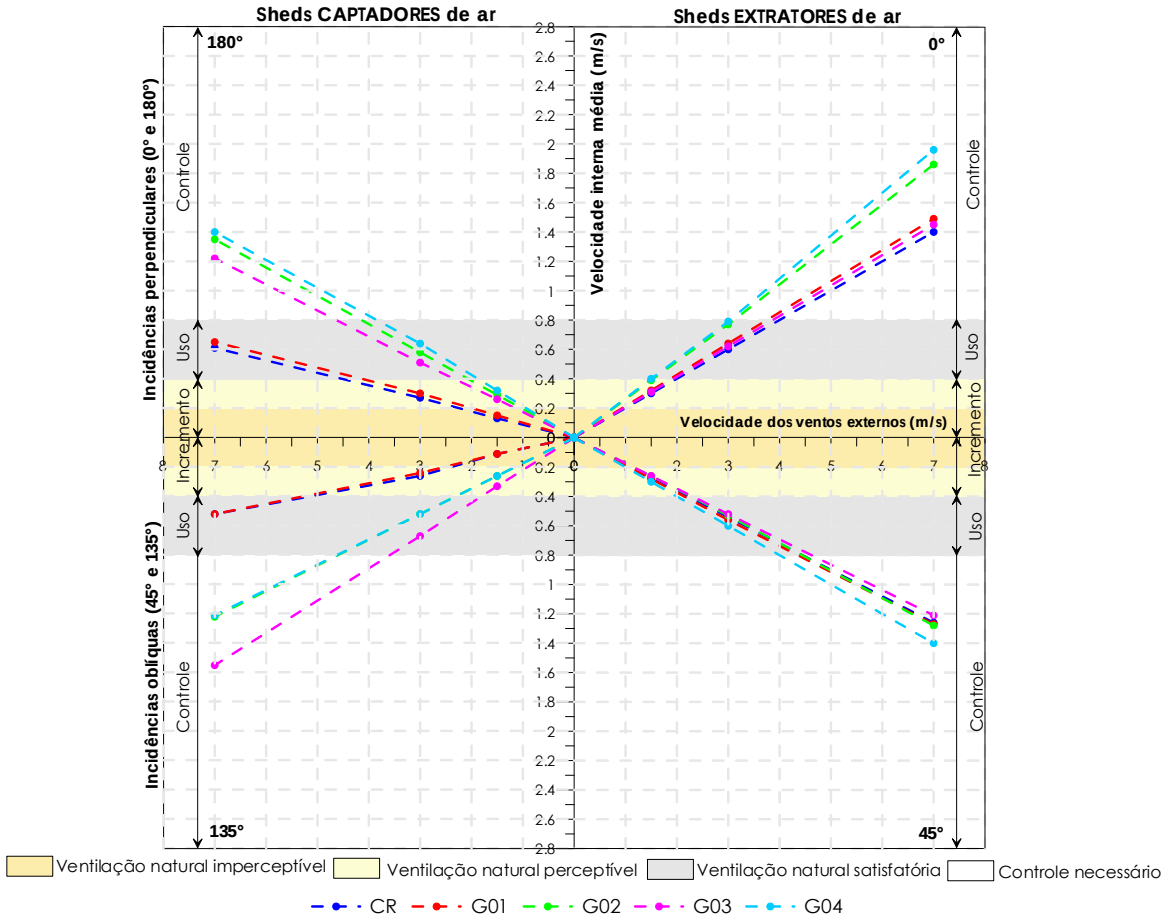
Tabela 2 – Limites de aceitabilidade da velocidade do ar nos ambientes internos

Velocidade do ar (m/s)	Situação ocasionada
0 – 0,2	Ventilação natural imperceptível
0,2 – 0,4	Ventilação natural perceptível
0,4 – 0,8	Ventilação natural satisfatória (há redução da carga térmica e contribui para o conforto)
Acima de 0,8	Controle necessário (causa incômodos como levantamento de papéis, desordem de cabelos, etc.

Fonte: Adaptado de Cândido et al. (2010)

O gráfico3 apresenta a velocidade do ar no ambiente interno para as cinco geometrias analisadas dos sheds extratores e captadores de ar, indicando os limites de aceitabilidade da velocidade do ar interno (incremento, uso e controle), em função da velocidade dos ventos externos (m/s).

Gráfico 3 – Velocidade média do ar no ambiente interno com limites de aceitabilidade da velocidade do ar interno, em função da velocidade dos ventos externos (m/s)



Para os *sheds* extratores de ar, para edifícios implantados em regiões cujos ventos disponíveis no exterior apresentam baixas velocidades (1,5m/s), o CR, G01 e G03 registraram velocidades reduzidas do ar interno (abaixo dos 0,4m/s), o que demanda o uso de estratégias de incremento da ventilação. Já G04 e G02 apresentaram valores dentro da zona de ventilação satisfatória, contribuindo no conforto dos usuários. Quando os ventos externos apresentam uma velocidade média de 3,0m/s, as geometrias analisadas propiciam uma velocidade interna satisfatória para o conforto térmico dos usuários. Por fim, em regiões cujos ventos externos apresentam velocidades elevadas (7,0m/s) todos os casos analisados atingiram valores da velocidade do ar interno acima do que é considerado satisfatório (em torno de 1,5 – 2,0m/s). Sendo assim, os edifícios requerem estratégias de controle da ventilação a fim de evitar incômodos nos usuários.

Para os *sheds* captadores, as baixas velocidades dos ventos externos (1,5m/s) não possibilitam a entrada do fluxo de ar com velocidades satisfatórias no ambiente interno para o alcance do conforto térmico, o que demanda o incremento da ventilação natural. Ressalta-se que para as geometrias CR e G01 as velocidades médias internas foram bastante reduzidas, estando na faixa de ventilação imperceptível. Para uma velocidade média dos ventos externos (3,0m/s), as geometrias analisadas propiciam uma velocidade interna satisfatória para o conforto térmico dos usuários, com exceção de CR e G01, cujos valores se encontram abaixo de 0,3m/s, requerendo o incremento da velocidade do ar interno. Por fim, quando os ventos externos apresentam velocidades elevadas, CR e G01 se tornam boas soluções para o conforto dos usuários, enquanto as G02, G03 e G04 necessitam de controle da entrada do ar no edifício (velocidades em torno de 1,2 e 1,6m/s).

5 CONCLUSÕES

Nota-se que as taxas de renovação de ar/hora aumentaram em função do incremento da velocidade dos ventos externos, observando-se uma relação quase linear com a velocidade externa, independente da geometria dos sheds. No entanto, as porcentagens de aproveitamento dos ventos externos no espaço interno e os valores de Cp nas aberturas não apresentaram diferenças expressivas com o aumento da velocidade externa, conforme o esperado. Além disso, não foi registrada nenhuma mudança na distribuição do fluxo de ar interno. Essa tendência foi observada para todos os ângulos de incidência dos ventos e todas as geometrias avaliadas.

De modo geral, os *sheds* extratores atingem velocidades internas superiores aos captadores. Para extração, G04 e G02 são adequadas tanto para baixas velocidades dos ventos (1,5m/s), quanto para médias (3,0m/s). Já CR, G01 e G03 atingem uma ventilação satisfatória apenas para velocidades médias. Para ventos com velocidades elevadas (7,0m/s), todas as geometrias necessitam de estratégias de controle do ar no ambiente interno. Já na captação, para ventos de 1,5m/s, nenhuma das geometrias apresenta uma ventilação interna satisfatória. Quando os ventos são de 3,0m/s, G02,

G03 e G04 aproveitam os ventos de forma satisfatória no ambiente interno, ao contrário do CR e da G01 que necessitam de incremento da ventilação interna. Essa situação se inverte em regiões com velocidades externas altas (7,0 m/s), uma vez que CR e G01 se tornam boas soluções para o conforto dos usuários enquanto G02, G03 e G04 necessitam de controle da entrada do ar no edifício.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento da presente pesquisa (processos n. 11/11376-6 – Bolsa de doutorado e n. 13/23325-2 – Bolsa no exterior – estágio de pesquisa).

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2004.** Thermal Environmental conditions for human occupancy. Atlanta.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.** ABNT: Rio de Janeiro, Brasil, set, 2003.

AWBI, H. B. **Ventilation of buildings.** London: E & FN Spon, 1998.

BOUTET, T. S**. Controlling air movement: a manual for architects and builders.** New York: MacGraw-Hill, 1991.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J. de; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and environment**, v. 45, p. 222-229. 2010.

CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L.; DEAR, R. J. de. Aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Revista ambiente construído**, Porto Alegre, v. 10, n.4, p.59-68, out/dez 2010.

CLARK, G. **Passive cooling systems.** In: COOK, J. (Ed). Passive cooling. Cambridge: MIT, 1989.

COST. Cost Action 14: **Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment.** Bruxelas: COST, 2004.

CÓSTOLA, D.; BLOCKEN, B.; HENSEN, J. Overview of pressure coefficient data in building energy simulation and airflow network programs. **Building and environment,** v. 10:2027-2036, 2009

CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M. Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de Pressão externos nas aberturas de um edifício. **Revista ambiente construído,** Porto Alegre, v.11, n.1, p. 145-158, 2011.

EN 15251-2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings - addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CEN, Brussels.

FANGER, P. O.; CHRISTENSEN, N. K. Perception of draught in ventilated spaces. **Ergonomics**, Basingstoke, v. 29, n.2, p. 215-235, 1986.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Florianópolis: UFSC, 1997.

HANZAWA, H.; MELIKOW, A. K.; FANGER, P. O. **Air flow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces.** In: ASHRAE Trans. New York, 1987. V. 93, chapter 1.

HOOFF, T. V.; BLOCKEN, A.; AANEN, B. B. A Venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. **Building and Environment,** v. 46, 1797-1807, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – Inmet. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em 21/11/2011

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISSO 7730 - 2005**. Ergonomics of thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Procedimentos para determinação de coeficientes de pressão em diferentes condições de adensamento urbano. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013.

LÔBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. S. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quente e úmido. **Revista ambiente construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, abr./jun. 2003.

LUKIANTCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar paraa indução da ventilação natural em edificações.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno, 2012 (a). Disponível em: <http: www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 12 maio 2012.

SIMIU, E.; SCANLAN, R. H. **Wind effects on structures: fundamentals and applications to design.** Wiley-interscience**:** 3° edição. 1996.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESENVOLVIMENTO DE UM OBJETO DE APRENDIZAGEM VIRTUAL PARA O ENSINO DE CONFORTO TÉRMICO[1]

MAIER, Stefan (1); PEREIRA, Alice (2); PEREIRA, Fernando (3); SCALCO, Veridiana (4);

(1) UFSC, e-mail: stefan913@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: acybis@gmail.com; (3) UFSC, e-mail: feco@arq.ufsc.br; (4) UFSC, e-mail: veridi@gmail.com

RESUMO

O advento da internet e dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) tem influenciado a maneira pela qual as pessoas adquirem conhecimentos. A maior mudança diz a respeito da forma como materiais de aprendizagem são projetados, desenvolvidos e disponibilizados. Uma das formas atuais de ensino e aprendizagem em AVAs é a utilização de Objetos de Aprendizagem (OAs) virtuais. Este artigo apresenta o desenvolvimento de procedimentos metodológicos para a criação de OAs na área de Conforto Ambiental e apresenta a elaboração de um OA intitulado "Sensação de conforto térmico e suas variáveis ambientais e humanas" que utiliza tecnologias digitais através da plataforma TEAR_AD - Tecnologia no Ensino e Aprendizagem em Rede nas áreas de Arquitetura e Design. O método está dividido em quatro partes: i) análise de um exercício de Conforto Térmico já consolidado; ii) definição da metodologia de abordagem; iii) estruturação do OA e vi) aplicação e avaliação do OA através de questionário. Os resultados sugerem que houve satisfação na utilização do OA. Acredita-se que a difusão de métodos didáticos através de OAs permitirá acesso a uma base de conhecimentos independente geograficamente e institucionalmente. Na área de Conforto Térmico, isso pode resultar em uma melhor compreensão do assunto no ambiente construído.

Palavras-chave: TEAR_AD. Ensino e aprendizagem. Objeto de aprendizagem. Conforto térmico.

ABSTRACT

The advent of the Internet and Virtual Learning Environments (VLEs) has influenced the way people acquire knowledge. The largest change is about how learning materials are designed, developed and made available. One of the recent teaching and learning approach in VLEs is the use of virtual Learning Objects (LOs). This paper presents the development of methodological procedures for creating LOs in Thermal Comfort field and presents the development of a virtual learning object named "Thermal comfort sensation and its environmental and human variables" that uses digital technologies through the TEAR_AD - Technology in Teaching and Learning Networking in the Architecture and Design areas. The method is split into four parts: i) analysis of a consolidated Thermal Comfort assignment; ii) definition of the methodological approach; iii) designing of the LO and vi) implementation and evaluation of the LO through questionnaire. The questionnaire results suggest that there has been satisfaction with the LO utilization. It is believed that the spread of teaching methods through LOs will allow access to a geographically and institutionally independent knowledge base. In the Thermal Comfort area, this can result in a better understanding of the subject in the built environment.

[1] MAIER, Stefan; PEREIRA, Alice; PEREIRA, Fernando; SCALCO, Veridiana. Desenvolvimento de um objeto de aprendizagem virtual para o ensino de conforto térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: TEAR_AD. Teaching and learning. Learning object. Thermal comfort.*

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a maneira de dar respostas às condições climáticas na arquitetura tem se modificado. Por muito tempo, o conhecimento empírico transmitido ao longo de gerações e a arquitetura vernacular foram os meios de adequação da arquitetura aos fatores ambientais. Atualmente, tais conhecimentos sozinhos não suprem mais as novas demandas que envolvem articulações entre diferentes dimensões da arquitetura bioclimática como materiais, técnicas construtivas, condições térmicas, lumínicas e energéticas.

Com os recursos computacionais introduzidos nas últimas décadas, nota-se que surgiram ferramentas importantes de projeto para predizer o comportamento ambiental dos edifícios. A interação entre *design*, clima, ocupantes, sistemas elétricos e mecânicos em edificações é complexa e somente através de simulações é possível um entendimento completo de todos os fatores envolvidos no processo (CALDAS; NORFORD, 2002).

Da mesma forma que os recursos computacionais se solidificaram como ferramentas importantes entre os processos de projeto e análise, eles também surgem no âmbito da educação voltada à arquitetura. No processo de ensino e aprendizagem, as tecnologias digitais trouxeram transformações que aproximam o usuário do conteúdo. Neste processo surgem os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) que possibilitam novas interações colaborativas como o surgimento de redes compostas por usuários geograficamente dispersos.

Seguindo nessa tendência, encontra-se em desenvolvimento desde 2014 o projeto TEAR_AD (Tecnologia no Ensino e Aprendizagem em Rede nas áreas de Arquitetura e Design) no Laboratório de Ambientes Hipermídia para Aprendizagem (Hiperlab) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O TEAR_AD é um ambiente virtual de aprendizagem orientado às áreas de Arquitetura e Design, que permite a criação, submissão, compartilhamento e visualização de Objetos de Aprendizagem (OAs) de forma livre e colaborativa. Este artigo é produto de uma pesquisa de Iniciação Científica que busca desenvolver objetos de aprendizagem, que integrem a plataforma TEAR_AD, para o ensino e aprendizagem na área de Conforto Ambiental no ambiente construído, utilizando como ferramenta as tecnologias digitais. Compondo uma sequência de OAs em desenvolvimento, neste artigo apresenta-se a elaboração de um OA, cujo título é: "Sensação de conforto térmico e suas variáveis ambientais e humanas". A partir deste primeiro OA, busca-se desenvolver procedimentos e metodologias para a continuidade do projeto e para a elaboração de OAs futuros na área de Conforto Ambiental.

Para estabelecer quais conteúdos seriam contemplados no desenvolvimento do OAs, utilizou-se de base exercícios de Conforto Ambiental já utilizados de forma presencial. A transposição didática destes exercícios para o OA utilizou a metodologia INTERA (BRAGA; PIMENTEL; DOTTA, 2013) de

desenvolvimento de objeto de aprendizagem e a estratégia pedagógica de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

As limitações que esta pesquisa apresenta consistem na não implementação da rede TEAR_AD até o presente momento por se tratar de um projeto ainda em desenvolvimento. O teste do OA foi realizado através de uma implementação provisória e limitada, fazendo com que algumas questões relativas ao OA não pudessem ser validadas neste momento.

2 FUNDAMENTAÇÃO

De acordo com Gomes e Barcia (2000), estamos vivenciando um período onde se investiga cada vez mais novas formas de aprender, devido à necessidade de o indivíduo ter acesso à educação de forma continuada, exigida por um mundo em contínuo desenvolvimento tecnológico, social, cultural, científico etc. Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) colaborativa são uma das formas de suporte para a construção de conhecimento de forma continuada e ativa (PEREIRA; ATANASIO; FERREIRA, 2003). Os AVAs proporcionam acesso e troca rápida de informações através da relação entre usuário e máquina, possibilitando interações entre usuários geograficamente dispersos. Segundo Lollini (1991) uma das vantagens do computador no campo da educação é a possibilidade de respeitar o ritmo da aprendizagem, evitando defasagens entre os tempos propostos (ou impostos) pela escola e o tempo necessário ao aluno numa atividade particular.

As limitações existentes no ensino e aprendizagem através de AVAs são como em qualquer outro processo de aprendizagem presencial, pois seu sucesso dependerá do estilo cognitivo dos alunos coincidir com a maneira como os conteúdos são apresentados (CROSS,1985). Para o processo de aprendizagem à distância ocorrer de maneira que seduza o aluno, o conteúdo apresentado precisa ser sério no que se propõe e atraente na forma como orienta, pois este deve incentivar a autonomia intelectual do aluno. (PEREIRA; ATANASIO; FERREIRA, 2003).

Na área da Arquitetura, o processo de ensino e aprendizagem necessita de ferramentas específicas para seu desenvolvimento de forma que priorize a visualização de elementos gráficos. Os avanços na área da computação apontam para uma forte tendência na utilização de hipermídia e realidade virtual. Esta última, em particular, mostra-se útil para representação de fenômenos, desenvolvimento de experiências, simulação de projetos e situações de aprendizagem (PEREIRA; ATANASIO; FERREIRA, 2003).

O advento da internet e dos AVAs tem influenciado a maneira pela qual as pessoas adquirem conhecimentos. A maior mudança diz respeito da forma como materiais de aprendizagem são projetados, desenvolvidos e disponibilizados. De acordo com Wiley (2002), o termo Objetos de Aprendizagem tem origem no paradigma da "orientação a objetos" utilizado nas ciências computacionais. Neste campo, a palavra objetos define componentes que podem ser reutilizados em vários contextos.

Trazendo o termo para a área da educação, objetos de aprendizagem também representam componentes de tamanho limitado que podem ser reutilizados inúmeros vezes em variados contextos, normalmente digitais distribuídos através da internet. Assim, como não se tratam de uma mídia física, apresentam uma evolução em relação a formatos de épocas passadas, permitindo que qualquer número de pessoas possa acessa-los e utiliza-los simultaneamente.

Buscando incluir as potencialidades dos conceitos de AVA e objetos de aprendizagem virtuais no campo de Arquitetura e Design, surge o projeto TEAR_AD. O objetivo do projeto é contribuir com a atualização de professores e alunos em relação a integração das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem, através de um ambiente em rede que permite a veiculação e produção de recursos de forma livre e colaborativa independente de localização geográfica. Quando implementada, a plataforma disponibilizará materiais selecionados ou produzidos, catalogados em materiais midiáticos, cursos estruturados e recursos de aprendizagem (PEREIRA; REIS; YAMAGUCHI, 2015).

Assim, os objetos de aprendizagem constituem frações do TEAR_AD que dizem respeito a determinados temas. No caso desta pesquisa, desenvolveu-se um objeto de aprendizagem na área de Conforto Ambiental térmico.

3 MÉTODO

O método deste trabalho está dividido nas seguintes etapas:

- Análise do exercício base;
- Definição da metodologia de abordagem (Aprendizagem Baseada em Problemas e metodologia INTERA para desenvolvimento de objetos de aprendizagem);
- Estruturação do OA – Objeto de Aprendizagem;
- Aplicação e avaliação do OA através de questionário.

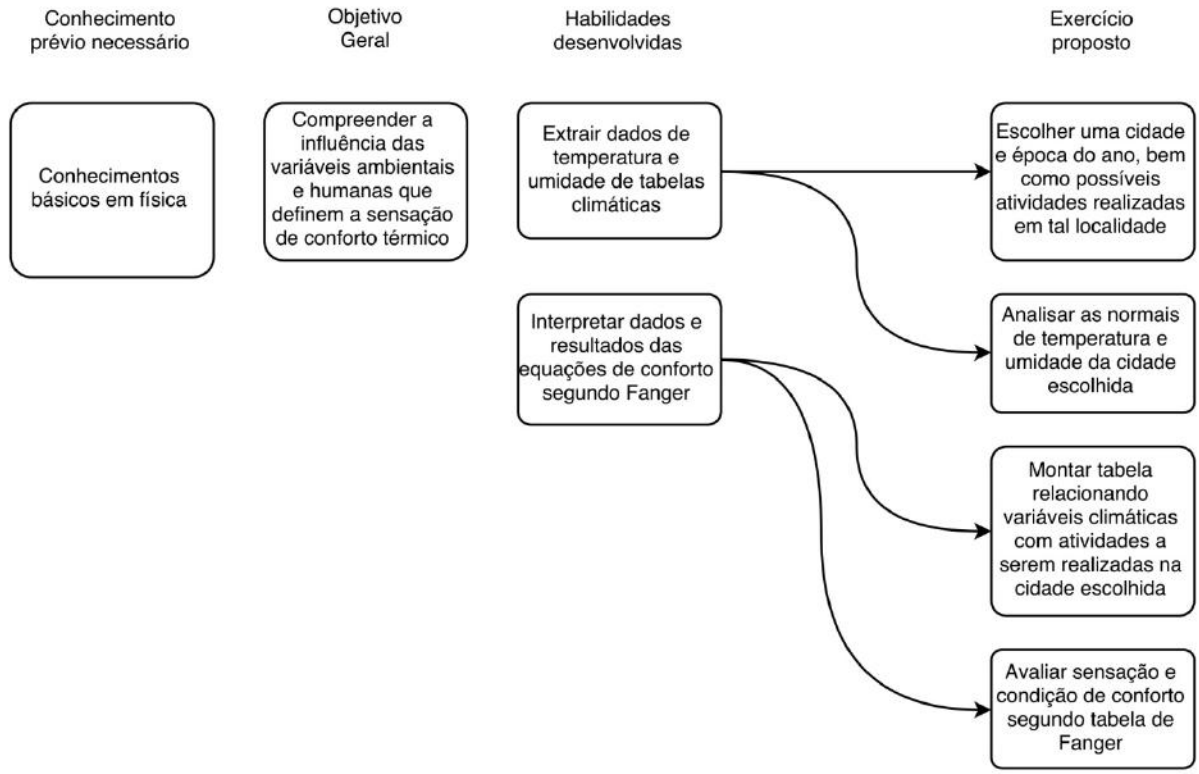
3.1 Análise do exercício base

O desenvolvimento do objeto de aprendizagem partiu da análise de exercícios utilizados atualmente nas aulas de Conforto Ambiental no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSC. Estes exercícios foram desenvolvidos pelo professor Fernando O. R. Pereira e são aplicados atualmente nas turmas da graduação. Sob o nome de "Prática de Análise em Conforto Ambiental", consistem em módulos didáticos experimentais com o objetivo de fazer o aluno ter o entendimento dos fenômenos físicos e de comportamento de componentes.

O exercício que gerou o OA apresentado neste artigo propõe uma situação-problema onde se supõe que o estudante que está realizando o exercício irá realizar uma viagem a lazer para algum destino com características

climáticas distintas. A partir disto são explorados conceitos de conforto térmico, relacionando-os com fatores ambientais do local de destino, como clima, ventos e umidade relativa. Também são abordados condicionantes que dependem de escolhas por parte do estudante como "que roupa vestir?", "quais passeios realizar?". Buscando manter o viajante numa situação de conforto térmico, pede-se que se realize uma análise das condicionantes ambientais e também que se opte por escolhas de adequação à essas condicionantes. Como produto final do exercício, o estudante deve entregar um relatório com suas observações. O exercício foi sistematizado conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama do exercício de Conforto Térmico



Fonte: produzido pelos autores

No diagrama são levantadas algumas características do exercício: conhecimentos prévios necessários para realiza-lo, objetivo pedagógico geral, habilidades que o exercício pretende desenvolver no aluno e as atividades a serem realizadas durante o exercício.

A análise deste exercício permitiu maior compreensão de uma estratégia didática já utilizada e validada. Assim, o processo de criação do OA partiu de uma adaptação deste exercício para o cenário virtual da plataforma do TEAR_AD.

3.2 Definição da metodologia de abordagem

A seguir serão apresentadas a metodologia de ensino e aprendizagem

adotada e a metodologia utilizada para o desenvolvimento de OAs virtuais.

a) Aprendizagem Baseada em Problemas

Para promover a contextualização dos conteúdos e motivar os usuários, optou-se pelo método de aprendizagem "Aprendizagem Baseada em Problemas". Este método tem como objetivo apresentar um problema como ponto de partida, para que então o aluno vá de encontro aos conteúdos e ferramentas dispostos no módulo. A intenção é possibilitar interesse e autonomia do estudante para que este busque soluções não apenas no material apresentado no OA, mas também fora dele, construindo um debate sobre o tema abordado. Esta característica vai de encontro ao fator colaborativo do TEAR_AD, possibilitando interações e trocas de conhecimento entre os usuários.

Assim, no OA desenvolvido nesta pesquisa, utilizou-se uma situação-problema para guiar os conteúdos que serão apresentados aos usuários. A situação-problema utilizada no OA foi adaptada do exercício apresentado na seção 3.1.

b) Metodologia para o desenvolvimento de OAs

Para a transposição pedagógica do exercício para um objeto de aprendizagem que pudesse integrar a plataforma TEAR_AD, foi utilizada a metodologia INTERA (BRAGA; PIMENTEL; DOTTA, 2013) de criação de OAs.

As etapas sugeridas pela metodologia INTERA são: "contextualização", "levantamento de requisitos", "design", "testes", "disponibilização", "avaliação", "gestão de projetos" e "ambientes e padrões" (BRAGA; PIMENTEL; DOTTA, 2013).

Utilizando esta metodologia, foi possível percorrer as etapas de "contextualização", "levantamento de requisitos" e "design". As etapas "desenvolvimento", "testes" e "disponibilização" foram atendidas de forma a elaborar materiais provisórios para que fosse possível a realização da validação dos requisitos pedagógicos sugeridos na etapa "avaliação". O caráter provisório se deve ao fato de que a implementação e disponibilização efetiva do OA depende da implementação da plataforma TEAR_AD, não concluída até o momento.

A seguir especifica-se como ocorreu cada uma das etapas:

- Contextualização: de acordo com exercício base, foi estabelecido a ementa do conteúdo e público alvo.
- Levantamento de requisitos: as características técnicas e pedagógicas a serem adotadas no OA foram retiradas do diagrama contido na Figura 1, onde se sistematizou o exercício base.
- Design: para o desenvolvimento do OA foi utilizada a estrutura proposta pela plataforma do TEAR_AD. Também foram levantados conteúdos bibliográficos e recursos tecnológicos adotados pelo professor Fernando

O. R. Pereira durante a aplicação do exercício base. Durante esta fase foi elaborada a estruturação do OA que será discutida no item 3.3.

- Desenvolvimento: devido a não implementação do TEAR_AD até o presente momento, o desenvolvimento aconteceu através da diagramação de telas com especificações de hipermídias. Em caráter provisório, essas telas foram adaptadas para uma apresentação interativa *off-line* gerando uma versão provisória do OA.
- Testes: os testes da versão provisória do OA foram feitos na UFSC por professores e pesquisadores.
- Disponibilização: a versão provisória do OA foi disponibilizada em caráter de teste para duas turmas da disciplina de Conforto Ambiental Térmico da graduação de Arquitetura e Urbanismo da UFSC. A disponibilização aconteceu enviando digitalmente a versão provisória do OA aos alunos.
- Avaliação: a avaliação da versão provisória do OA se deu através de um questionário disponibilizado aos alunos da graduação junto com o OA.

As demais etapas da metodologia INTERA dizem respeito à estágios pós-implementação definitiva. Assim, não serão abordadas neste trabalho.

3.3 Estruturação do OA

Buscando organizar as características a serem incorporadas pelo OA, o objeto foi estruturado em 3 eixos: situação-problema, conteúdo e tutoriais. O eixo "situação-problema" é o estruturador do objeto, consiste em uma situação hipotética que necessita soluções. A situação-problema organiza os demais eixos - conteúdo e tutoriais - sendo responsável por apresentá-los de maneira efetiva. O eixo "Conteúdo" apresenta os conteúdos selecionados para o OA, necessários para a resolução da situação-problema e para o cumprimento dos objetivos propostos. O eixo "Tutoriais" apresenta tutoriais de ferramentas que são necessárias ou auxiliadoras para a resolução da situação-problema.

Sendo o TEAR_AD um repositório de objetos de aprendizagem colaborativos, propõe-se que os objetos estruturados nestes 3 eixos possam ser editados de forma livre e colaborativa. Nos eixos "conteúdo" e "tutoriais" propõe-se que seja possível adicionar, remover ou alterar conteúdos e tutoriais. Propõe-se que a situação-problema possa ser modificada a fim de incorporar as modificações nos eixos "Conteúdo" e "Tutoriais". Também se percebe a possibilidade de uma nova situação-problema apropriar-se de conteúdos e tutoriais de outros OAs do sistema. Tais cenários foram exemplificados na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de Colaboratividade



Fonte: produzido pelos autores

3.4 Aplicação e avaliação do OA através de questionário

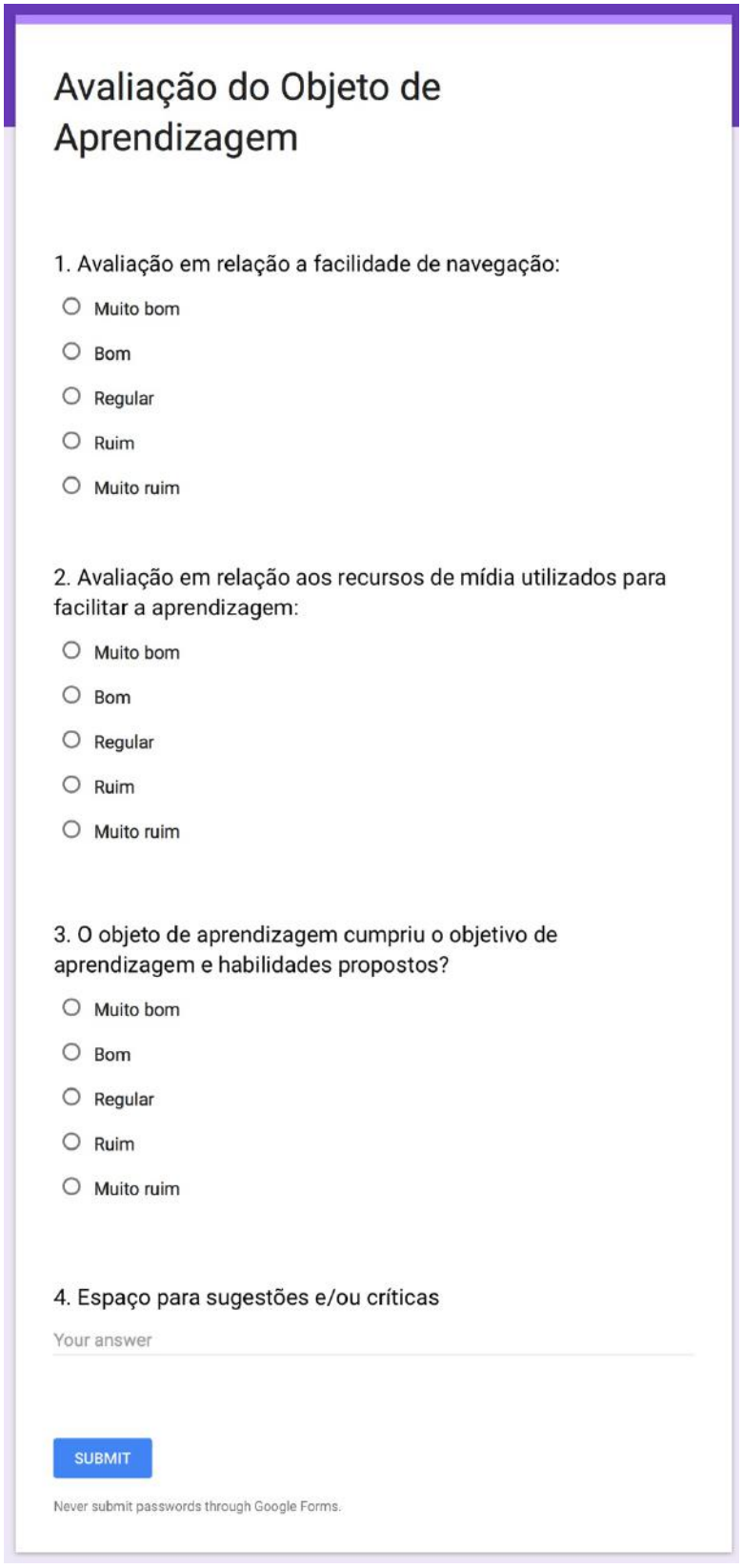
Para que fosse possível ter uma avaliação inicial da usabilidade do OA produzido, optou-se por disponibiliza-lo fora do TEAR_AD, em caráter provisório. As telas e hipermídias do OA que haviam sido produzidas foram adaptadas para uma apresentação interativa através da plataforma *Microsoft Powerpoint*. Esta versão provisória do OA foi disponibilizada para duas turmas de Conforto Ambiental Térmico do quarto período da graduação de Arquitetura e Urbanismo da UFSC.

A limitação deste tipo de disponibilização provisória está na impossibilidade de utilização de todos os recursos do TEAR_AD, comprometendo algumas funções como espaço de discussões, menus dinâmicos de navegação etc.

Junto com o OA, foi disponibilizado um questionário elaborado para medir a satisfação dos usuários, sem a pretensão de refletir uma amostragem estatística representativa. O professor que ministra a disciplina disponibilizou e recomendou o uso do OA, porém sem que isto fosse uma obrigação por parte dos alunos.

O questionário foi elaborado na plataforma *Google Forms* com três questões objetivas de avaliação de nível de satisfação e um espaço para críticas e sugestões, conforme Figura 3.

Figura 3 - Questionário de avaliação do OA



Fonte: produzido pelos autores através da plataforma Google Forms

4 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados em duas partes, são elas:

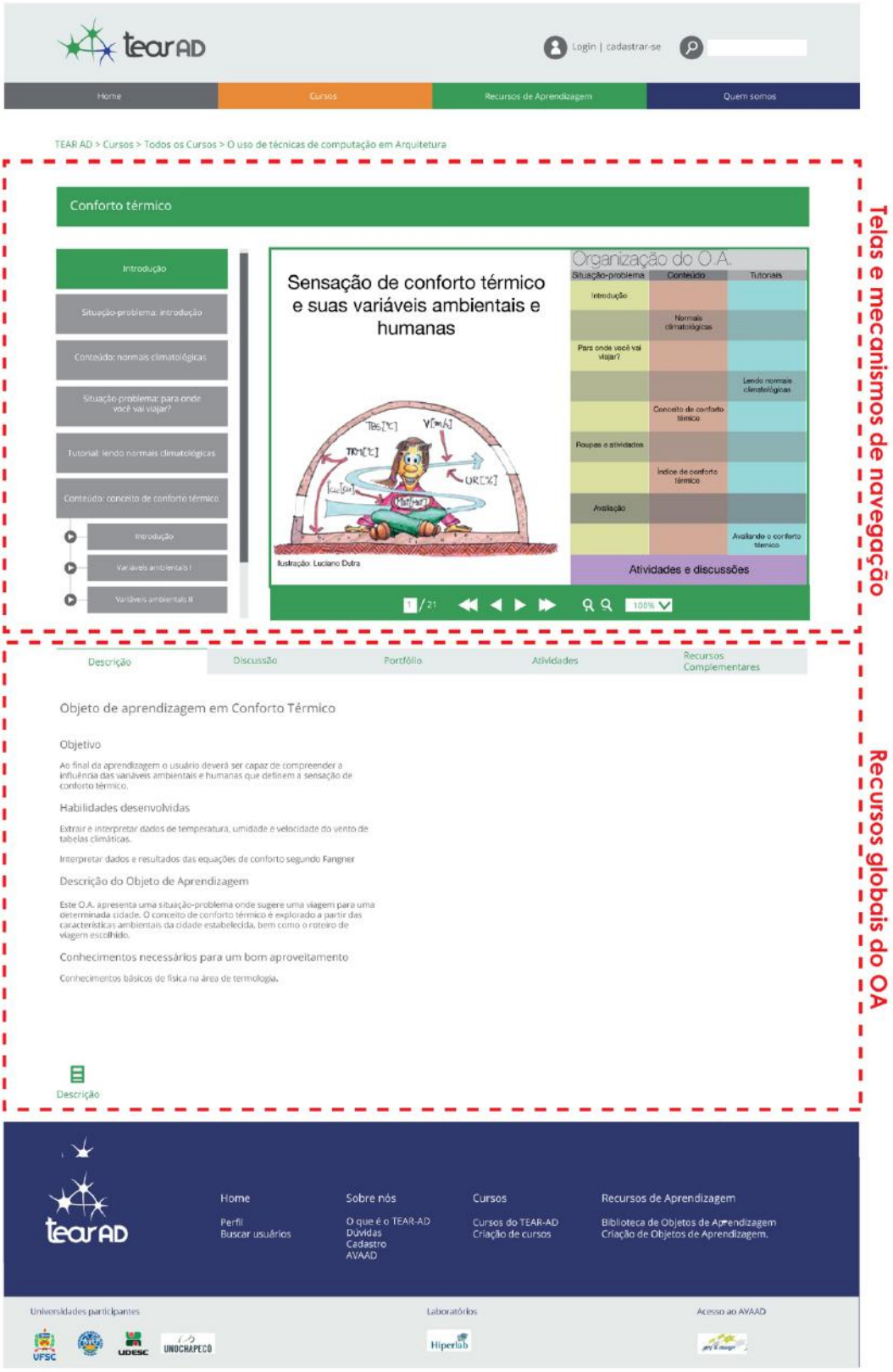
- Objeto de Aprendizagem desenvolvido;
- Resultados da avaliação através de questionário.

4.1 Objeto de Aprendizagem desenvolvido

As telas do OA apresentadas nesta seção representam a visualização do OA dentro da plataforma TEAR_AD através de um navegador *web*.

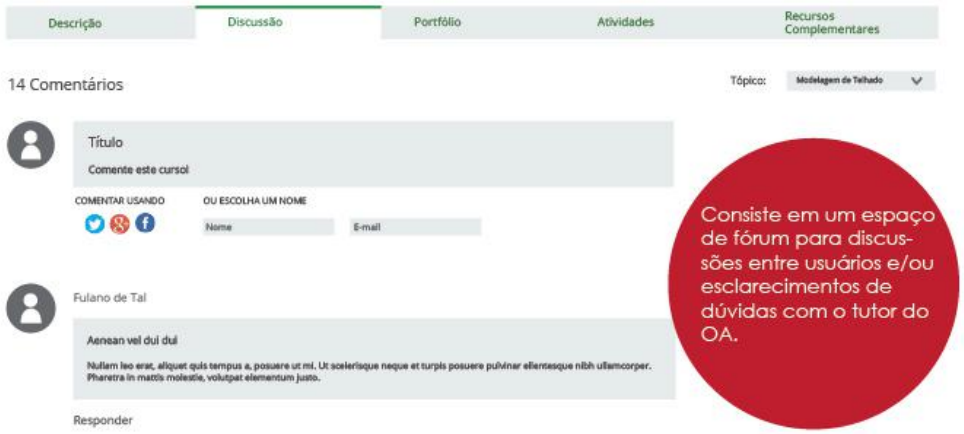
Na Figura 4, apresenta-se a primeira tela do OA, onde o usuário é introduzido à sua estrutura. Na parte superior é possível visualizar as telas do OA e mecanismos de navegação, como menu o lateral, por exemplo. Na parte inferior encontram-se as abas com os recursos globais do OA: "Descrição, "Discussão", "Portfolio", "Atividade" e "Recursos Complementares". Os recursos globais e suas funções estão explicados no Quadro 1.

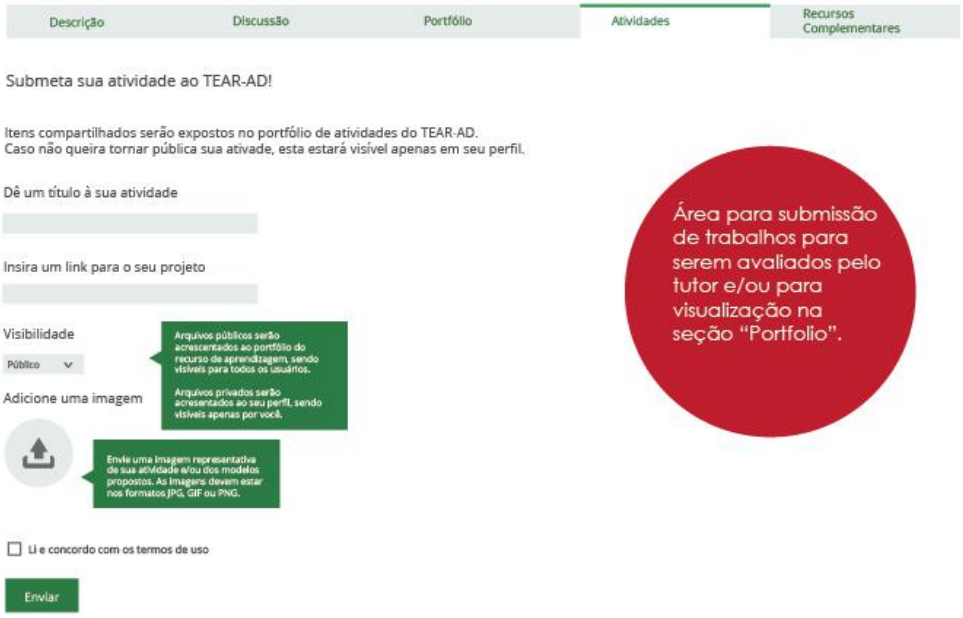
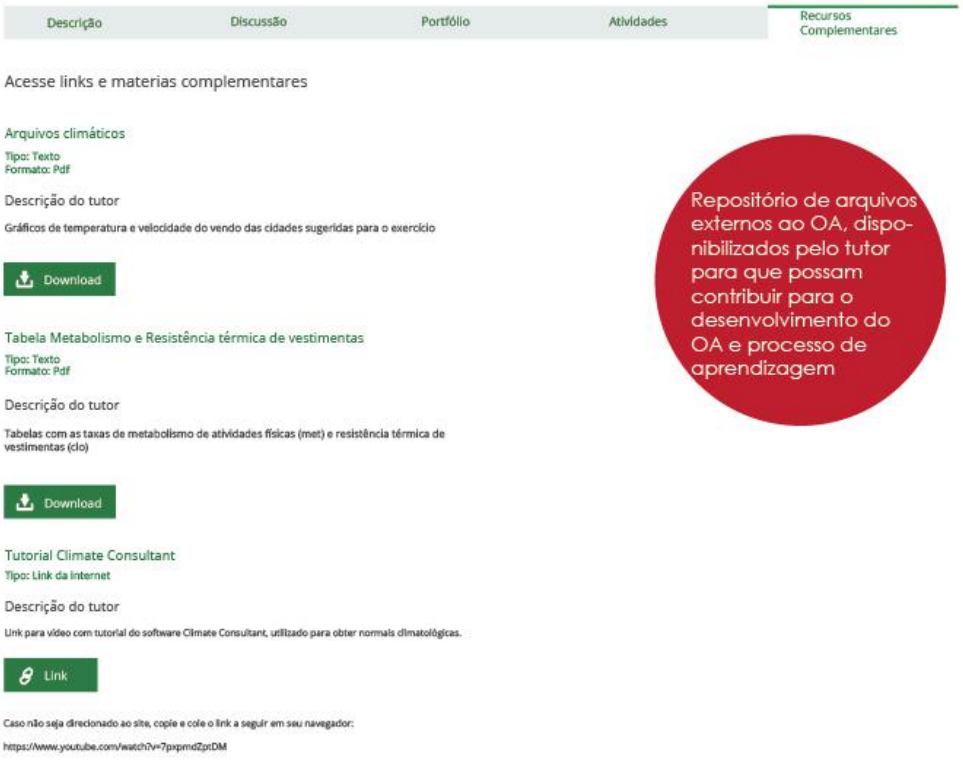
Figura 4 - Tela 1 do OA



Fonte: produzido pelos autores

Quadro 1 - Abas de recursos globais do OA

Descrição	
Discussão	
Portfolio	

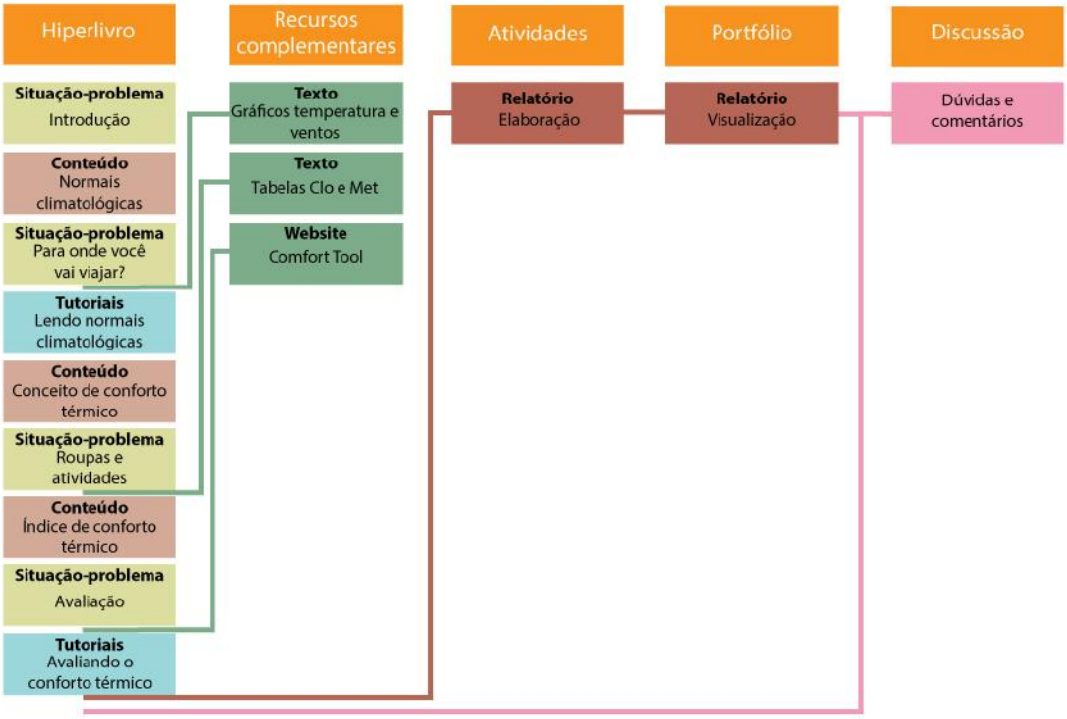
Atividades	
Recursos Complementares	

Fonte: produzido pelos autores

Na primeira tela do OA (Figura 4), encontra-se a tabela de organização que apresenta os 3 eixos ("Situação-problema", "Conteúdo" e "Tutoriais") e a ordem sugerida de percurso. Ao avançar a navegação, progridem-se as telas do OA sendo apresentados ora chamadas à situação-problema, ora conteúdos e tutoriais relevantes para a resolução. Junto com estes módulos,

são disponibilizados recursos externos na seção "Recursos complementares", como por exemplo tabelas e aplicativos. Tal organização foi ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Diagrama de organização do OA

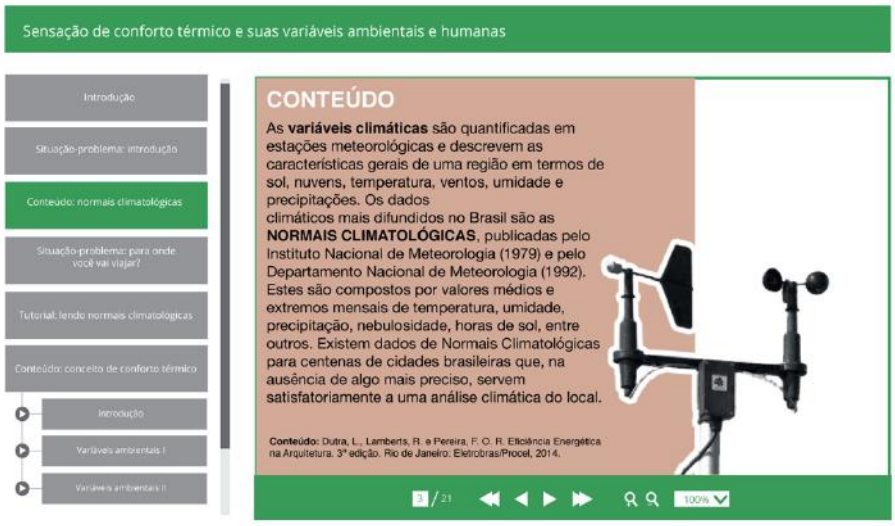
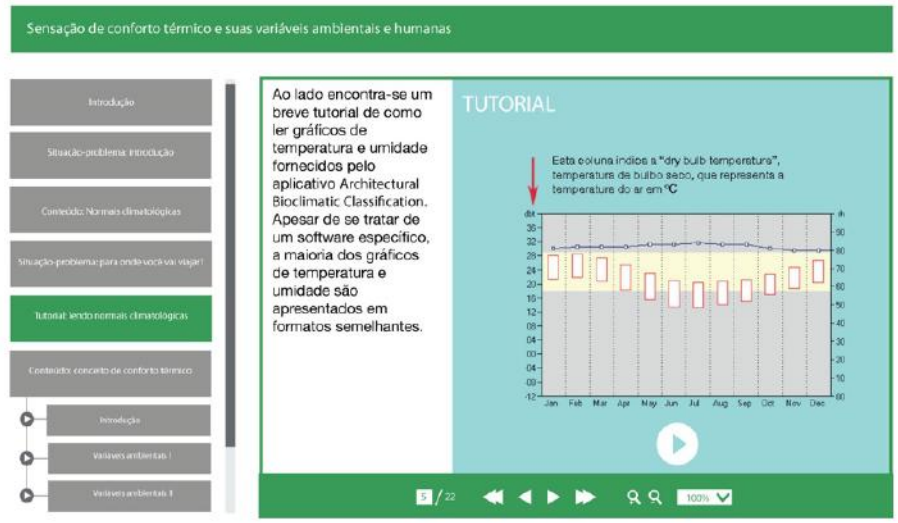


Fonte: produzido pelos autores

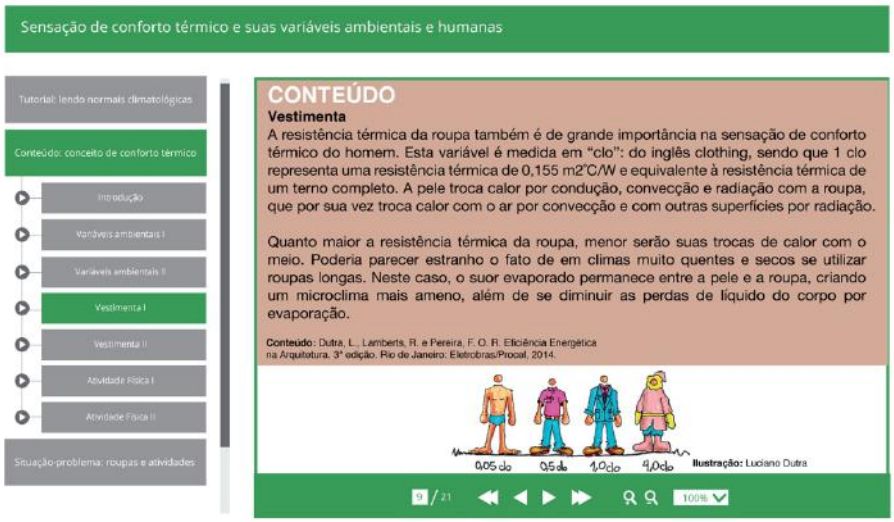
Para exemplificar o OA, elegeu-se algumas telas para serem apresentadas a seguir, no Quadro 2.

Quadro 2 - Telas relevantes do OA

Tela 2  	Logo após a apresentação, introduz-se a situação-problema que guiará o OA.

Tela 3 	Ao sugerir na tela anterior que para a resolução da situação-problema seria necessário conhecimento sobre normais climatológicas, é apresentada uma tela com conteúdo sobre o tema.
Tela 4 	Após o conteúdo necessário ser apresentado, volta-se a situação-problema, evoluindo o cenário do OA. Nesta tela, pede-se que o aluno leia tabelas de normais climatológicas e organize as informações necessárias em tabela.
Tela 5 	Para auxiliar o aluno, apresenta-se um tutorial de como ler e interpretar dados climatológicos. A mídia utilizada é vídeo para facilitar a aprendizagem. Propõe-se que futuramente possam ser adicionados novos tutorias, como por exemplo, de como obter normais climatológicas.

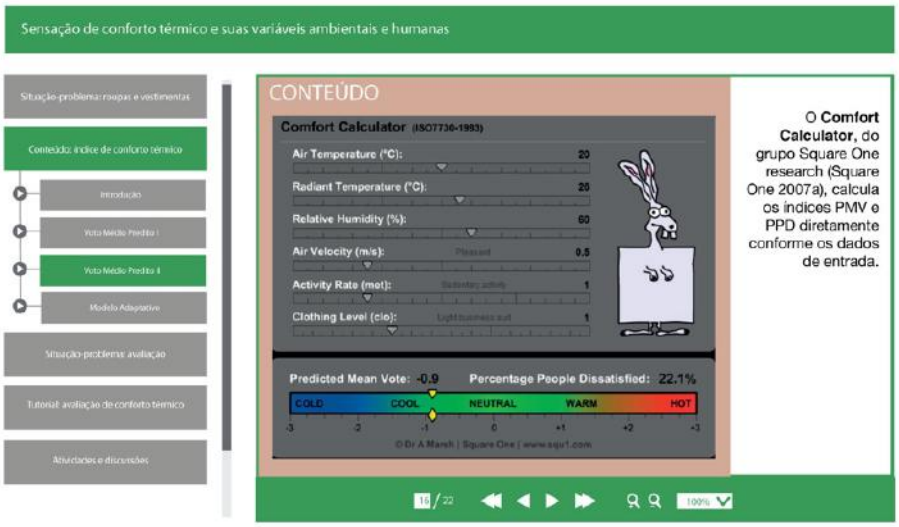
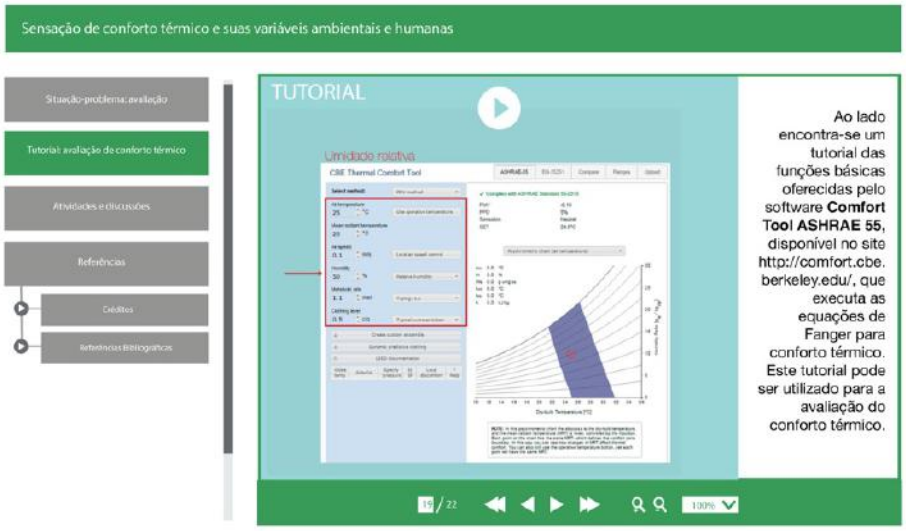
Tela 9, 10, 11 e 12

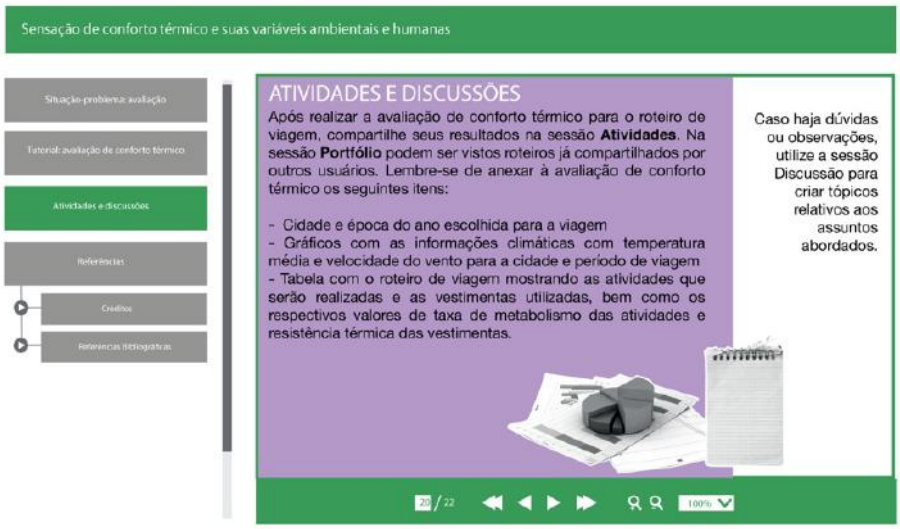






As telas ao lado são um exemplo de disposição de conteúdos longos. O conteúdo é quebrado em mais de uma tela para então ser apresentado ao usuário. Ao lado, as telas apresentam explicações sobre o conceito de conforto térmico.

Tela 16 	Esta tela exemplifica a incorporação de recursos digitais externos no OA. Ao lado, incorporado ao OA, encontra-se uma aplicação que simula rapidamente a condição de conforto térmico.
Tela 19 	Aqui é apresentado um tutorial da aplicação *Comfort Tool ASHRAE 55* que executa simulações precisas da condição de conforto térmico através das equações de Fanger.

Tela 20  	Na tela de "Atividades e Discussões" é pedido que o aluno sintetize e compartilhe os resultados. Neste OA, pede-se que o aluno produza um relatório ilustrado comentando os desdobramentos encontrados a respeito da sensação de conforto térmico. Também se espera reflexões que vão além da interpretação das equações de Fanger baseadas nas normais climatológicas, como por exemplo, efeitos microclimáticos e conforto adaptativo.

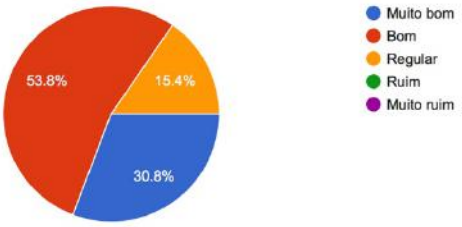
Fonte: produzido pelos autores

4.2 Resultados da avaliação através de questionário

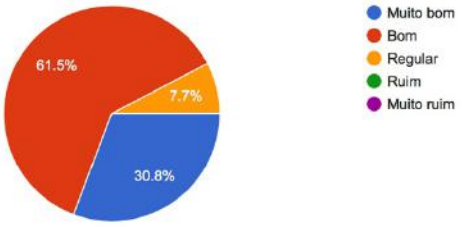
Devido a não obrigatoriedade no preenchimento do questionário de avaliação do OA disponibilizado aos alunos, obteve-se somente treze respostas. Os gráficos da Figura 6 mostram estes resultados.

Figura 6 - Resultados do questionário de avaliação do OA

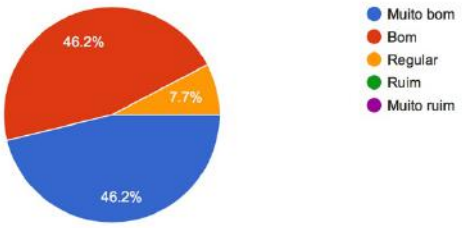
1. Avaliação em relação a facilidade de navegação: (13 responses)



2. Avaliação em relação aos recursos de mídia utilizados para facilitar a aprendizagem:
(13 responses)



3. O objeto de aprendizagem cumpriu o objetivo de aprendizagem e habilidades propostos?
(13 responses)



4. Espaço para sugestões e/ou críticas (4 responses)

Infelizmente tive dificuldade em abrir o arquivo. Não tenho aplicativo que abra arquivo em ppsx, até tentei baixar algum aplicativo, mas não foi possível. Então consegui converter o arquivo para ppt e abrir com meu powerpoint. Mas só me surgiu essa ideia de converter o arquivo na véspera da entrega, então infelizmente não pude utilizá-lo para o trabalho. Digo infelizmente porque ele é bem explicativo e fácil de compreender, certamente teria ajudado muito. Ele tem uma aparência legal, mas creio que por causa da conversão houve uma leve desconfigurada em algumas partes o que, num slide ou outro, impediu parte da leitura do texto do mesmo.
Muito bom, inclusive recomendei para alguns colegas que não haviam visto o mesmo.
Deveria ocorrer "mini-provas" dentro de sala, para o professor poder avaliar o rendimento dos alunos no decorrer da própria aula e melhor absorção da matéria pelos alunos.
Achei confuso a firma como os slides foram dispostos, tive dificuldade para entender os slides dentro de pastas para fazer a sequência.

Fonte: gráficos gerados pelo *Google Forms*

Os resultados do questionário sugerem que houve uma satisfação em relação ao OA, mesmo com a sua disponibilização em caráter provisório com limitações.

A facilidade de navegação obteve 84,6% de satisfação. Tal dado mostra que existe uma facilidade de compreensão da estruturação do OA. Também mostra que há uma familiarização dos usuários com o ambiente virtual, onde a navegação acontece de forma intuitiva e fluida. Será necessária uma nova avaliação após a implementação do OA na plataforma do TEAR_AD, porém, o resultado positivo indica que a forma de estruturação da navegação do OA possui um forte potencial.

Os recursos de mídia utilizados no OA foram considerados bons ou muito bons por 92,3% dos alunos que responderam o questionário. Isto indica o potencial que as mídias digitais utilizadas no OA trazem à educação. Mídias como fotos, gráficos, vídeos e simulações produzem uma maior contextualização do aluno com os conteúdos e assim contribuem para o processo de aprendizagem.

Para 92,4% dos alunos que responderam o questionário, o OA cumpriu satisfatoriamente os objetivos aos quais se propôs. Isto reforça as suposições levantadas anteriormente sobre o potencial de recursos digitais e Ambientes Virtuais de Aprendizagem na educação.

Em relação aos comentários feitos pelos alunos, observou-se dificuldades devido a forma de distribuição do OA e as carências que isto implicou. Tais complicações foram esperado devido as limitações do modelo provisório do OA disponibilizado. Tais comentários reforçam a necessidade da implementação do TEAR_AD como plataforma para hospedar e mediar a distribuição dos OAs.

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o processo de desenvolvimento do OA - Objeto de Aprendizagem "Sensação de conforto térmico e suas variáveis ambientais e humanas" que utiliza como ferramenta as tecnologias digitais através da plataforma TEAR_AD. Os resultados obtidos através da avaliação de usuários do OA sugerem que houve satisfação mesmo com a sua disponibilização em caráter provisório com limitações.

Este cenário indica que a utilização de OAs virtuais na educação de módulos relativos a Conforto Ambiental é uma proposta pertinente. O ambiente virtual é um campo propício para utilização de recursos gráficos e digitais que contextualizam e possibilitam a visualização da informação, fator fundamental para um bom desempenho da aprendizagem nesta área. A internet também possibilita a colaboratividade nos processos educacionais possibilitando a adaptação e atualização permanente dos recursos educacionais propostos, criando materiais flexíveis que possam acompanhar a rápida dinamização do conhecimento.

O esforço dispendido em processos educacionais sólidos e continuados traz

consequências positivas à sociedade. Ao aprendiz, possibilitará uma base de conhecimento mais sólida e, consequentemente, o melhor entendimento do assunto no ambiente construído possibilitando o desenvolvimento de projetos mais adequados em relação ao clima.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Juliana Cristina; PIMENTEL, Edson; DOTTA, Silvia. Metodologia INTERA para o desenvolvimento de Objetos de Aprendizagem. In: XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2013, Campinas. **Anais... .** Campinas: SBC, 2013. p. 306 - 315.

CALDAS, Luisa Gama; NORFORD, Leslie K. A design optimization tool based on a genetic algorithm. **Automation In Construction,** Cambridge, Eua, v. 11, n. 2, p.173-184, fev. 2002.

CROSS, Nigel. Styles of learning, designing and computing. **Design Studies,** Milton Keynes, v. 6, n. 3, p.157-162, jul. 1985.

GOMES, Rita de Cássia Guarezi; BARCIA, Ricardo Miranda. **Ensino a distância: uma alternativa para a formação de professores e demais profissionais na sociedade do conhecimento.** 2000. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

LOLLINI, P. **Didática e computadores:** quando e como a informática na escola. São Paulo: Loyola, 1991.

PEREIRA, Alice T. C.; FERREIRA, Maristela; ATANÁSIO, V. Ambientes Virtuais de Aprendizagem em Arquitetura: o Estado da Arte. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 16., 2003, Santa Cruz do Sul. **Anais...** Santa Cruz do Sul, 2003.

PEREIRA, Alice T. Cybis; REIS, Luisa Eugênia dos; YAMAGUCHI, Adriele Marie. O Plano da Estratégia do TEAR_AD: Tecnologia no Ensino e Aprendizagem em Rede nas áreas de Arquitetura e Design. In: XIX CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 19., 2015, Florianópolis. **Anais... .** São Paulo: Blucher Design Proceedings, 2015. p. 596 - 601.

WILEY, David A. (Ed.). **Instructional Use of Learning Objects.** Bloomington: Agency For Instructional Technology, 2002. Disponível em: <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>. Acesso em: 06 abr. 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A TRANSFORMAÇÃO DA FACHADA NA TIPOLOGIA CONSTRUTIVA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS VERTICAIS EM VITÓRIA-ES E SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO AMBIENTAL[1]

MAIOLI, Ricardo N. (1); BARROS, Maria C. de S. L. S B. (2); BARROS, Joana D'Arc P. de (3); MOÇA, Isabela F. F. (4), CONINCK, Igor M. (5); PAGEL, Erica C. (6)

(1) AEV, e-mail: ricardomaioli@gmail.com; (2) AEV, e-mail: mariaclaudia.arcline@gmail.com; (3) AEV, e-mail: joana.darc1096@hotmail.com; (4) AEV, e-mail: isabelamoca@gmail.com; (5) AEV, e-mail: igor.mattioli@gmail.com; (6) AEV, e-mail: erica.pagel@gmail.com

RESUMO

A inserção de novos materiais e técnicas na construção civil, além de alterar as características construtivas dos edifícios comerciais ao longo dos anos, tem influenciado na eficiência energética, no conforto térmico e consequentemente na qualidade interna desse espaço. O objetivo deste estudo é analisar características construtivas presentes em edifícios comerciais verticais, de diferentes períodos históricos, no município de Vitória-ES, de forma a definir alguns modelos representativos desta tipologia, além de averiguar a relação entre as soluções técnicas mais utilizadas e o conforto ambiental. Para atingir esse propósito, a metodologia aplicada compreendeu um amplo levantamento de informações, cujos elementos foram tabulados em um banco de dados. Através dos resultados encontrados foi possível identificar mudanças nas características gerais dessas construções ao longo dos últimos anos, influenciando diretamente nas condições de conforto interno dos mesmos. Verificou–se que o percentual de abertura de fachada aumentou de forma significativa assim como a utilização de vidros, principalmente os reflexivos, e que as proteções solares externas são cada vez mais raras nos novos empreendimentos. Com isso, conclui-se que a evolução tecnológica e a possibilidade de aplicá-la na construção civil têm gerado edifícios com menor eficiência energética e com aparência padronizada, diferentemente das construções mais antigas.

Palavras-chave: Edifícios comerciais verticais. Tipologia construtiva. Conforto ambiental.

ABSTRACT

The insertion of new materials and techniques in civil construction, in addition to changing the constructive characteristics of commercial buildings over the years, has influenced on energy efficiency, in thermal comfort and consequently on the internal quality of this space. The objective of this study is to analyze constructive characteristics present in commercial buildings verticals, from different historical periods, in the municipality of Vitória, ES, so as to define some representative models of this typology, in addition to investigate the relationship between the technical solutions more used and the environmental comfort. To achieve this purpose, the methodology applied understood a broad survey of information, whose elements were typed into a database. By means of the results has been possible to identify

[1] MAIOLI, Ricardo N. *et al*; SOBRENOME02, Nome; SOBRENOME03, Nome. A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória-ES e sua relação com o conforto ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

changes in the general characteristics of these constructions in recent years, directly influencing the internal comfort conditions of same. It was found that the percentage of opening of the facade has increased significantly as well as the use of windows, mainly the reflective, and that the shields are external solar increasingly rare in new ventures. With this, it is concluded that the technological evolution and the possibility to apply it in civil construction have generated buildings with lower energy efficiency and with standardized appearance, unlike most ancient constructions.

***Keywords**: Vertical commercial buildings. Constructive typology. Environmental comfort.*

1 INTRODUÇÃO

Todo projeto arquitetônico pode prover melhores condições de conforto térmico em grande parte das horas do ano, se comparadas ao meio externo, independentemente do clima em que se encontra. Porém, para que isso ocorra, é necessária a conscientização de que este precisará ser adaptado às necessidades climáticas do local, através do uso adequado de materiais, volumetria, aberturas, dentre outros elementos arquitetônicos (GONÇALVES; BODE, 2015).

A cidade de Vitória-ES, que de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) se encontra na Zona Bioclimática 08, mostra que há a necessidade da adoção de estratégias de condicionamento térmico para auxiliar no conforto ambiental. Uma medida a ser tomada para gerar tal efeito, conforme a norma citada, é a de proporcionar uma ventilação cruzada juntamente com grandes aberturas sombreadas.

Contudo, a cultura de ambiente climatizado artificialmente atrelada à imagem de edifícios de escritórios com cortinas de vidro, vistos como símbolo de poder (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), impedem o adequado uso das aberturas e materiais que proporcionam uma maior ventilação interna e conforto térmico nos ambientes comerciais. Desse modo, uma mudança nesse paradigma arquitetônico se faz necessária.

2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo principal identificar um conjunto de características construtivas presentes em edifícios comerciais verticais, de diferentes períodos históricos, no município de Vitória - ES, para assim constatar as alterações que as tipologias veem apresentando conforme o passar das décadas e o avanço tecnológico e, com isso, averiguar a relação entre as soluções técnicas mais utilizadas e o impacto destas no conforto ambiental e na eficiência energética dessas edificações.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Nesta pesquisa científica foram catalogadas 80 edificações comerciais em diferentes áreas do município de Vitória/ES. Para padronizar a pesquisa, foram analisados apenas edificações que possuem quatro pavimentos ou mais.

A metodologia aplicada compreendeu três etapas. Primeiramente, realizou-

se o levantamento de informações tipológicas das edificações através de visitas técnicas e registros de observação referente à volumetria, tipo e área das aberturas e dos materiais utilizados na fachada principal das edificações comerciais. Para a seleção desses edifícios, foram adotados os bairros da cidade de Vitória/ES que possuem um maior número dessa tipologia de edificações comerciais (Figura 1), o que coincide, segundo Gomes (2009), com a evolução história da ocupação urbana comercial da cidade.

Figura 1: Localização das edificações selecionadas nos bairros de Vitória - ES



Fonte: Os autores (Adaptado de Google)

Na pesquisa, com a finalidade de obter resultados sobre os ambientes de trabalho, conforme observado em Lamberts, Ghisi e Ramos (2006), examinou-se somente o pavimento tipo dos edifícios comerciais posto que, em virtude da tipologia e volumetria permitida nos Planos Diretores Municipais vigentes nas últimas décadas, os primeiros pavimentos poderiam ser compostos por lojas comerciais, áreas técnicas e estacionamento sendo que o foco do trabalho é a análise das salas comerciais. Assim como na pesquisa de Santana (2006), as formas das edificações foram catalogadas em: retangulares, quadradas e triangulares, conforme uma proximidade de formato das volumetrias com as geometrias básicas. Nos casos em que as edificações não apresentaram uma semelhança geométrica, como essas previamente determinadas, foram então consideradas irregulares.

Com relação ao número pavimentos, forma do edifício, tipo de vidro utilizado na janela, tipo de abertura e presença de proteção solar; a coleta de dados foi realizada por meio de observação empírica e informações coletadas com os condomínios ou com as construtoras dos empreendimentos. Já a classificação das coberturas foi feita por meio de coleta de informações com as fontes supracitadas, além da análise de imagens aéreas, e foram categorizadas como: telhado aparente, telhado embutido e laje.

Quanto à orientação solar, verificou-se a fachada principal por meio de análise local e a sua orientação perante o norte geográfico. No que tange à definição da orientação das fachadas foi estipulado, para cada ponto cardeal, uma angulação de 22,5° no sentido horário e anti-horário, assim como adotado por Lamberts, Ghisi e Ramos (2006) e Santana (2006).

Acerca da investigação sobre as proteções solares, foram observados todos os elementos que fornecessem sombreamento nas aberturas, total ou parcialmente, incluindo-se brises, detalhes da fachada ou até mesmo suportes para condicionadores de ar (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006).

O Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios - RTQ-C (INMETRO, 2009) - determina o Percentual de Abertura de Fachada (PAF) que corresponde ao tamanho das aberturas ou fechamentos transparentes nas fachadas. Para se obter o valor do PAF, foram realizados cálculos para as principais fachadas do edifício, ou seja, as fachadas que abrigavam as janelas das salas ou escritórios. A medição foi calculada pela relação entre a soma das áreas das aberturas dividida pela área da fachada. Assim como preconiza o RTQ-C, os elementos opacos atrás dos vidros não foram contabilizados no cálculo, entretanto, como em alguns casos não se teve acesso aos projetos das edificações, as espessuras das lajes não foram consideradas. Também foram levantadas informações sobre o tipo de vidro presente nas esquadrias, com variações de cores e translucidez.

Quanto aos demais materiais que compõem as fachadas das edificações estudadas, classificados como revestimento, foram separados em 6 categorias principais, como pastilhas, mármore/granito, concreto aparente, cerâmica, ACM (alumínio composto), além do vidro, mas apenas quando este era utilizado como elemento de revestimento de fachada. Esses eram os materiais mais comuns encontrados como revestimento, os demais foram classificados como "outros".

Nesta fase avaliativa, também foram averiguadas as cores que compõem o corpo da edificação, sendo categorizadas em 13 tons, tais qual: cinza, branco, bege, azul, amarelo, marrom, vermelho, verde, ocre, laranja, preto, rosa, terracota (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006). Como a observação foi feita sem o uso de equipamento auxiliar, as variações de cores encontradas foram adequadas às opções previamente definidas.

Numa segunda etapa da pesquisa, foram obtidas e organizadas informações acerca das datas de aprovação dos projetos das edificações comerciais supracitadas junto à Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) e às construtoras realizadoras das obras.

Na etapa final, as edificações foram catalogadas por períodos de construção, destacando os dados referentes mais característicos de cada período, resultando em modelos representativos de diferentes épocas. Os três períodos foram estipulados de acordo com uma quantidade suficiente de edifícios para compor a base de dados necessária para a caracterização de um modelo. Com isso, algumas décadas foram

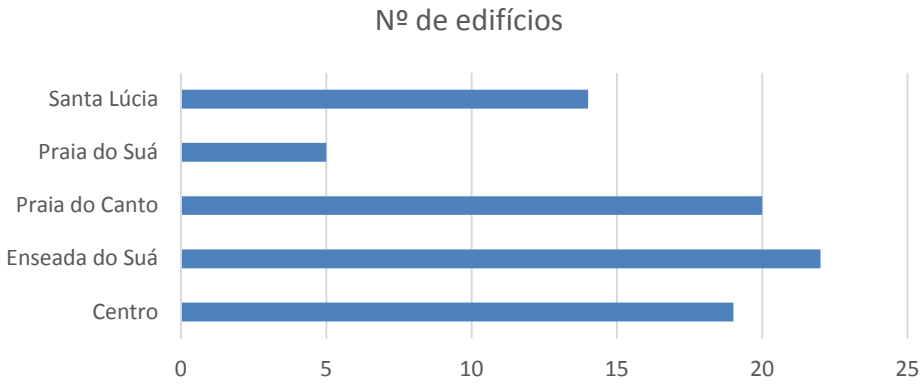
agrupadas, formando um total de três períodos: de 1950 a 1979; de 1980 a 1999; e de 2000 a 2016.

Por fim, foi elaborada uma análise comparativa entre os modelos com foco no efeito que as modificações das técnicas e soluções construtivas têm no conforto ambiental.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

As edificações selecionadas para análise representam a totalidade dos edifícios comerciais verticais encontradas em alguns dos bairros estudados. Em outros casos, como o Centro e Praia do Canto, o número de edifícios selecionados representa a maioria das construções dessa tipologia na região. Em relação ao total da amostra, os 80 edifícios foram divididos entre os cinco bairros, conforme apresentado na Figura 2.

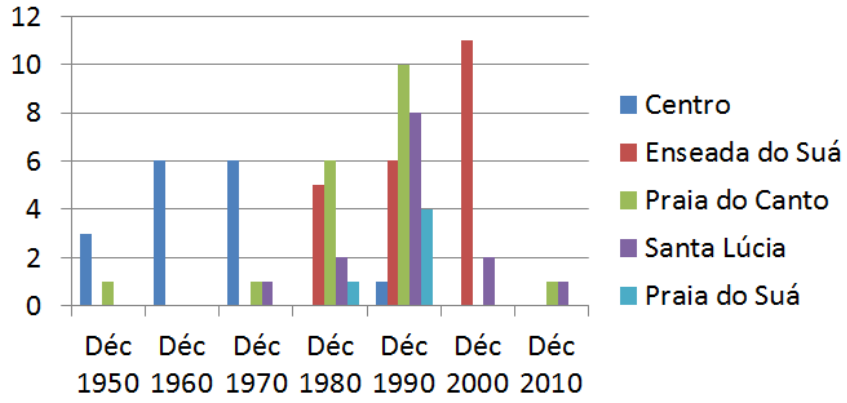
Figura 2: Distribuição da amostra de edificações por bairro



Fonte: Os autores

Dentre as edificações selecionadas, a amostra abrange edifícios a partir da década de 1950 até os dias atuais. A maior concentração de empreendimentos dessa tipologia no município se dá na década de 1990, como observado na Figura 3. A coleta de dados confirmou o fato obtido nas referências bibliográficas de que a ordem do processo de verticalização da cidade de Vitória-ES iniciou-se no centro urbano da cidade, mas depois migrou para o bairro Praia do Canto e adjacências e na virada do século se concentrou na Enseada do Suá (GOMES, 2009; KLUG, 2009).

Figura 3 – Número de edificações por década de construção



Fonte: Os autores

De acordo com os dados obtidos, foi possível verificar que houve uma distribuição de implantação desses edifícios na cidade, sendo que os mais novos empreendimentos se concentram no bairro Enseada do Suá e os mais antigos no Centro, que conta com apenas um edifício, dentre os analisados, construído após a década de 80. Esse fato contribui para caracterizar este bairro como uma região sem grandes investimentos nos últimos anos, sendo marcado por uma tipologia bastante diferente das regiões com ocupação mais recente.

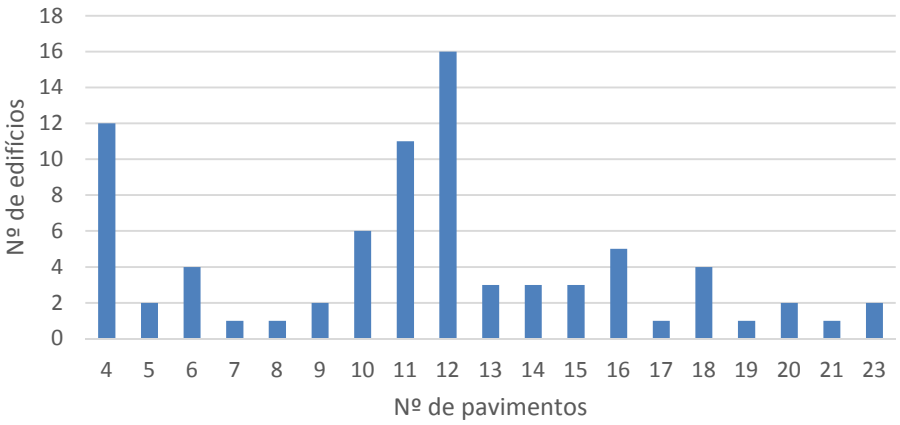
Um exemplo que pode ilustrar isso é o fato de que, ao contrário da tendência atual, a maioria dos edifícios do Centro possui o percentual de abertura de fachada entre 30 e 50%, com predominância de janelas do tipo de correr e vidro incolor, com alguns edifícios com vidro fumê. Também foi possível observar que nessa tipologia de edifício há a predominância de revestimento externo de parede em pastilha e pintura.

Entretanto, verificou-se que alguns edifícios dessa região apresentam fachadas reformadas onde foram aplicados novos materiais de revestimento ou acabamento, não condizentes com as técnicas utilizadas no período de sua construção. Posto isso, as reformas geram, em alguns casos, uma descaracterização do desenho original da edificação. O uso da fachada envidraçada combinada com chapas de alumínio composto (ACM) parece ser uma tendência dos edifícios mais antigos reformados no município.

4.1 Análise geral da amostra

Em relação aos dados gerais coletados, as edificações possuem uma grande variedade de número de pavimentos. Na Figura 4, desconsiderando as construções mais baixas, se observa um maior número de edifícios entre 10 e 12 pavimentos. O destaque fica para a tipologia composta por 12 pavimentos que foi a que mais se repetiu, seguida pela de 4 pavimentos.

Figura 4: Frequência de ocorrência de pavimentos nos edifícios analisados



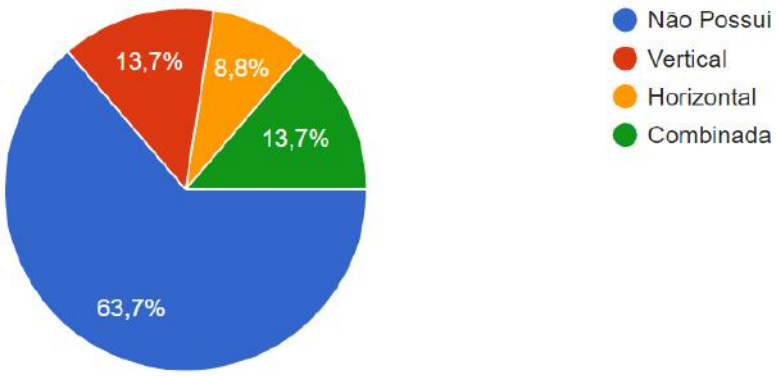
Fonte: Os autores

Quando analisado o formato da planta da edificação, desconsiderando em alguns casos os primeiros pavimentos referentes a lojas ou garagem, aproximadamente 69% apresentam uma forma mais retangular, enquanto 21% apresenta um formato quadrado. O percentual restante é referente aos edifícios considerados de planta irregular, visto que na amostra analisada não foram encontrados edifícios de plantas triangulares.

Sobre o sistema de abertura das janelas, a grande maioria, aproximadamente 72% dos edifícios analisados, apresenta janelas do tipo maxim-ar. Além disso, 71% dessas edificações apresentam Percentual de Abertura de Fachada entre 20 e 60%, sendo que o número mais expressivo de edifícios se concentra no PAF entre 30 e 50% e, de acordo com Santana (2006), a área de abertura das fachadas tem grande influência na variação do consumo de energia de uma edificação comercial. O fato mais preocupante é que, mesmo num clima quente e úmido, como é o caso de Vitória, 39% dos edifícios possuem um Percentual de Abertura de Fachada superior a 50%. Segundo Tahmasebi et al (2011), para climas tropicais um PAF entre 34-41% não representam grandes diferenças no consumo de energia.

Apesar da grande área envidraçada encontrada em parte das edificações, em 63,7% dos casos analisados essas aberturas não são protegidas (Figura 5) e, de acordo com a pesquisa de Carlo (2008) as proteções solares só ficam atrás do percentual do PAF como medida de conservação de energia e ainda podem proporcionar resultados mais vantajosos. Nesses casos, as grandes áreas envidraçadas e sem proteção podem prejudicar as condições de conforto interno, sejam elas em relação ao conforto visual ou em relação ao conforto térmico e, consequentemente, à eficiência energética do edifício (FROTA, 2004; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 5: Presença de elemento de proteção solar



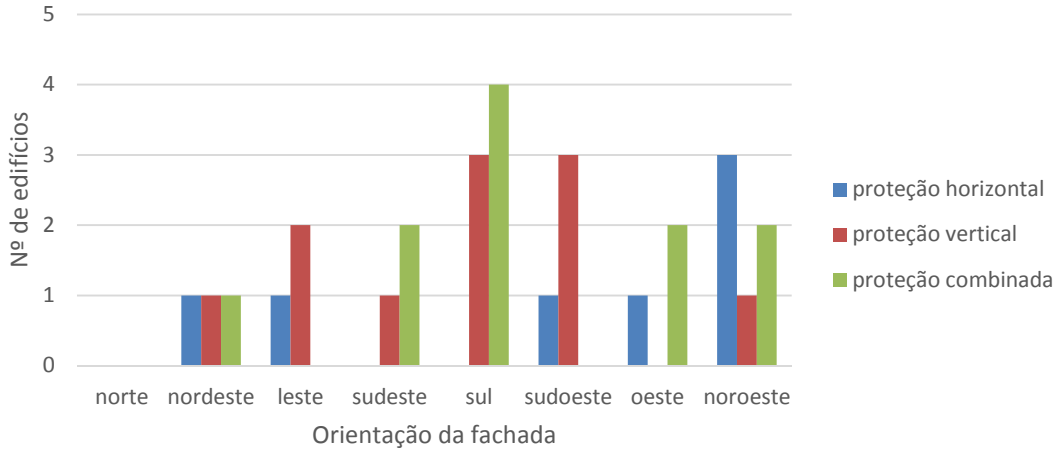
Fonte: Os autores

Percebe-se uma alteração na tipologia dos edifícios ao longo dos anos quando analisamos os elementos de proteção solar. Das edificações analisadas, apenas 36,3% possuem algum tipo de *brise-soleil* ou proteção externa, seja vertical, horizontal ou a combinação das duas. Dentre as edificações com proteção solar, apenas 12 foram construídas após a década de 1980, e apenas 2 edifícios, ou seja, 2,5% do total analisado, possuem proteção solar externa e foram construídos após a virada do século.

Nesse último caso, os edifícios são de menor porte, com 4 pavimentos, sendo que um deles tem certificação ambiental LEED- *Leadership in Energy and Environmental Design*, mas possui o mesmo tipo de *brise* nas quatro fachadas, sem distinção de orientação com relação à insolação. Entretanto, em Frota (2004), verifica-se que em cada orientação a quantidade e as características da radiação solar são diferentes, por isso, necessitam de proteções específicas para cada fachada, a fim de garantir luminosidade suficiente no interior e visual externo.

Esse fato, somado aos dados obtidos no levantamento (Figura 6), indicam que não há uma preocupação com a proteção solar na maioria dos edifícios. Essa hipótese é reforçada pelo fato de que as proteções foram inseridas no edifício sem distinção de orientação ou período de insolação a ser protegido, visto que, em alguns casos observados, os edifícios possuem o mesmo tratamento em fachadas distintas. Entretanto, segundo Santos e Souza (2012), a geometria dos elementos de proteção e a orientação solar devem ser considerados para um melhor desempenho do dispositivo, a fim de se alcançar uma maior eficiência energética do edifício.

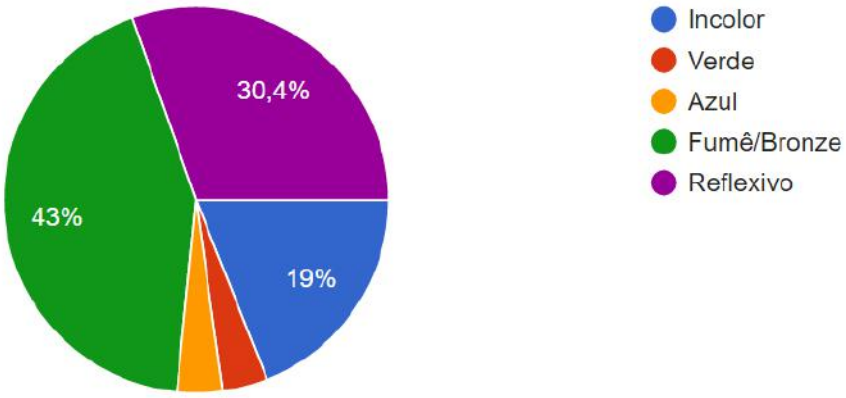
Figura 6: Frequência de elemento de proteção solar por orientação



Fonte: Os autores

Com relação às aberturas, a maioria das esquadrias é composta por vidro fumê ou bronze (Figura 7). Entretanto, quando analisamos apenas os edifícios construídos após a virada do século, a escolha pelo tipo de vidro é diferente. Nesse caso, em aproximadamente 73% das edificações foi instalado o vidro reflexivo em suas esquadrias. Dentre eles, nenhuma obra analisada dispunha de proteção solar externa em suas fachadas. Esse fato pode indicar que as proteções solares externas estão sendo substituídas por vidros reflexivos nas edificações.

Figura 7: Tipos de vidro utilizados nas janelas



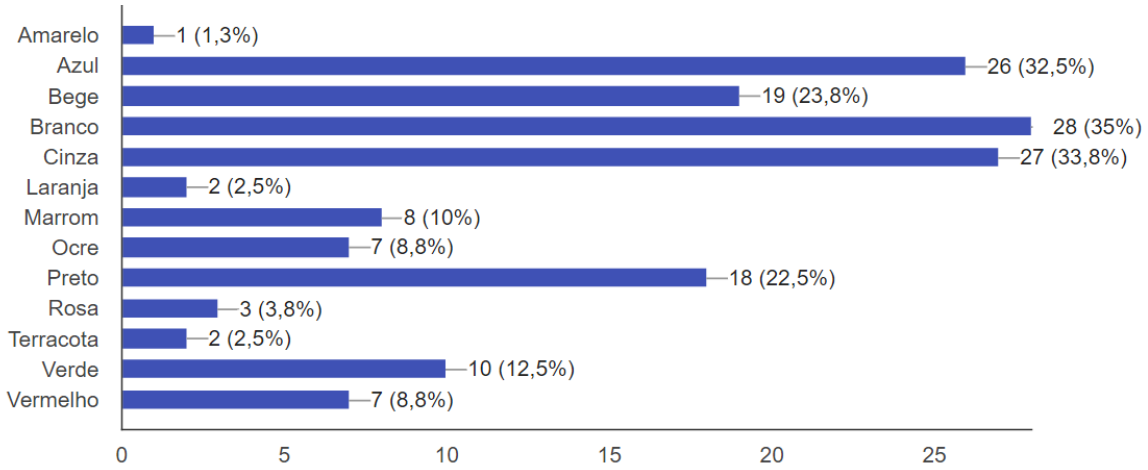
Fonte: Os autores

Quanto às cores presentes nas fachadas, a classificação e identificação foi feita de acordo com a presença das mesmas no corpo do edifício, ou seja, na parte da envoltória referente às paredes laterais dos pavimentos-tipo. Em diversos casos foram observadas mais de duas cores numa mesma fachada e assim foram catalogadas. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a radiação incidente em um material construtivo tem uma parcela absorvida e o que determina essa característica é a cor superficial. Quanto mais escura é a cor, maior a absorção da radiação e, por esse motivo, a cor superficial das fachadas dos edifícios é relevante quanto ao ganho térmico e,

consequentemente ao conforto interno.

Nesse levantamento, observou-se que as cores mais comuns presentes nas fachadas eram a branca, cinza e a azul. Um fato interessante no levantamento é que 22,5% das edificações apresentaram elementos na envoltória com a cor preta, altamente absorvente (Figura 8).

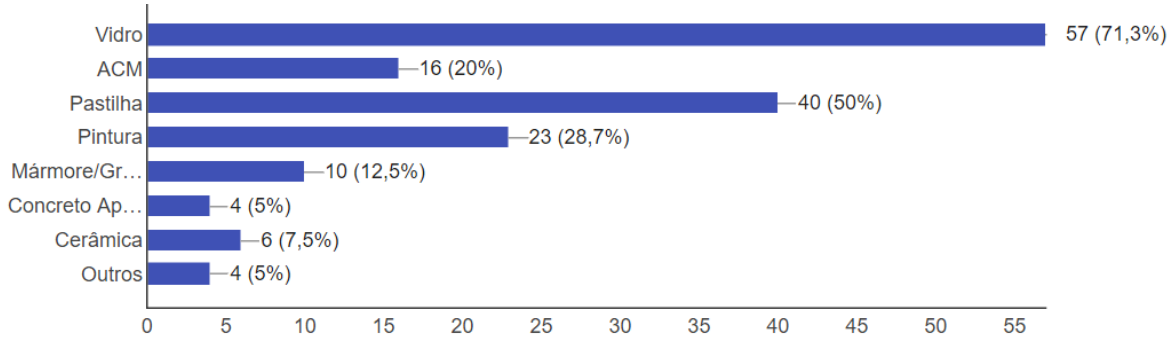
Figura 8: Frequência de cores encontradas nas fachadas dos edifícios



Fonte: Os autores

Também foi possível observar que, dentro do município analisado, há uma preferência por materiais de revestimento como o vidro e a pastilha, presentes em 71,3% e 50% das edificações, respectivamente (Figura 9). Uma das causas possíveis para esse fato é a questão de redução de manutenção, visto que a cidade é caracterizada pela presença constante de partículas totais em suspensão, provavelmente oriundas dos principais pólos siderúrgicos da região, grandes vias de tráfego e construção civil, que se depositam nos revestimentos das fachadas, deixando-as com aspecto sujo ou encardido. A pintura aparece como o terceiro material mais utilizado como revestimento, seguida pelo ACM.

Figura 9: Frequência de ocorrência de materiais de revestimento das fachadas



Fonte: Os autores

Diferentemente do observado em outras cidades do país, mesmo em outras tipologias, no município são encontrados poucos edifícios com revestimento externo com aplicação de textura, mais áspero e, portanto, mais propício a agregar essas partículas presentes no ar.

Outro fato interessante é de que mesmo o mercado capixaba dispondo de grande quantidade e variedade de mármores e granitos, esses materiais são pouco utilizados como revestimento de fachadas dessa tipologia de edifícios, sendo observado em apenas 12,5% das construções.

Já o ACM, presente em 20% das edificações, na maioria dos casos é combinado com esquadrias compostas por vidro reflexivo, do tipo maxim-ar e sem elemento de proteção solar. Alguns edifícios da década de 1960, 1970 e 1980 apresentaram esse elemento em suas fachadas, mas o mesmo foi aplicado após os edifícios passarem por uma reforma da envoltória.

Como pode ser observado ao longo do trabalho, este levantamento apresentou dados suficientes para se levantar as características mais comuns dessa tipologia de edifícios construídos no município em diferentes décadas.

Em virtude da quantidade de edificações disponíveis e das datas de construção dos edifícios, foram gerados três modelos representativos de períodos distintos, a fim de caracterizar uma edificação comercial vertical de cada período, apresentados nos itens a seguir. Para se gerar os modelos, foram selecionadas as características que mais se repetiam dentre os edifícios de cada período, gerando assim um modelo representativo para cada um.

4.2 Modelo representativo das décadas de 1950 a 1970

Dos 80 prédios listados, 18 são do período de 1950 a 1979, sendo a maioria construída no Centro de Vitória. Dentre eles, apenas 4 edifícios pertencem à década de 50, o restante é mais bem distribuído nas duas décadas seguintes.

4.2 Modelo representativo das décadas de 1980 e 1990

Este período concentra a maior parte dos edifícios analisados nessa pesquisa, agrupando um total de 43 construções. A maior representatividade foi de edifícios localizados no bairro Praia do Canto e a década mais presente foi a de 1990 que, segundo as edificações analisadas, foi a década que teve o maior registro de construções dessa tipologia de edifício.

4.4 Modelo representativo das décadas de 2000 a 2016

Dos 80 prédios analisados, 15 são da virada do século até à atualidade, sendo que 73,3% foi construída no bairro Enseada do Suá. Dentre eles, 4 edifícios possuem apenas 4 pavimentos, o que diminui a média geral, contudo, a maior parte das edificações possui acima de 15 pavimentos, sendo o período onde estão concentrados os dois edifícios mais altos encontrados no levantamento, com 23 pavimentos.

4.5 Comparação entre os modelos representativos

Percebe-se uma unanimidade entre os modelos quanto à forma retangular

do edifício e uma proximidade em relação ao número médio de pavimentos, entre 11 e 12, apesar do último período concentrar uma maior verticalização das edificações (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização dos modelos representativos de cada período

Características	**1950 a 1979**	**1980 a 1999**	**2000 a 2016**
Número de Pavimentos	11	11	12
Forma	Retangular	Retangular	Retangular
Cobertura	Telhado embutido	Telhado embutido	Laje Impermeabilizada
PAF	30,1 a 40 %	40,1% a 50%	31% a 40%; 90% a 100%.
Sistema de abertura	Janela de correr	Maxim-ar	Maxim-ar
Tipo de vidro	Incolor	Fumê/Bronze	Reflexivo
Elemento de proteção	Não Possui	Não Possui	Não Possui
Cor da fachada	Bege e Cinza	Bege e Cinza	Azul e Branco
Revest. de fachada	Pintura	Pastilha e Vidro	Vidro e ACM

Fonte: Os autores

Com relação às características que têm influência direta no conforto ambiental do edifício, nota-se um crescimento gradual da área das aberturas nas fachadas, sendo observado em alguns casos que a cobertura de vidro vai de laje a laje, contando apenas com um pequeno elemento em sua base para proteção mecânica. Outro fato interessante é o tipo de vidro utilizado, que passou de incolor, pelo fumê/bronze até o reflexivo no último período. Nesse caso, um aumento do PAF foi acompanhado de uma diminuição do fator solar do vidro, visto que, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), dentre os tipos relacionados na Tabela 1, o vidro incolor possui o maior fator solar e o reflexivo o menor. Esse fato pode reduzir os ganhos térmicos, mas não garante boas condições de conforto interno.

Em todos dos períodos analisados, percebe-se que a maioria das construções apresenta a ausência de proteção solar, sendo que esse elemento pode reduzir os ganhos térmicos, melhorar as condições de conforto visual dos ambientes internos e aumentar a eficiência energética da edificação (FROTA, 2006; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As cores das fachadas nos três períodos apresentam cores claras ou médias, proporcionando uma absortividade da radiação solar não muito elevada, reduzindo os ganhos térmicos através dos fechamentos opacos.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa abordou o tema da transformação da tipologia construtiva dos edifícios comerciais verticais, fazendo uma relação com o conforto ambiental. O levantamento das informações sobre os edifícios e a caraterização das tipologias dos diferentes períodos auxiliaram na percepção dessa mudança nas características desses edifícios.

Percebe-se que há uma tendência no aumento do Percentual de Abertura de Fachada e nos materiais de revestimento externo utilizados. O uso mais abundante do vidro, cuja transmitância térmica supera a de soluções tradicionais como a alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, pode aumentar o desconforto interno. Em muitos casos, a proteção solar utilizada para reduzir o desconforto gerado por essa alteração nas fachadas é simplesmente a aplicação de vidro reflexivo.

É, portanto, necessária uma mudança na tipologia das construções para melhor se adequar às condições climáticas locais como, por exemplo, uso de proteções solares externas, especificação de materiais adequados para revestimento e vedação da edificação, além do aproveitamento dos condicionantes naturais.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais. Florianópolis, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GOMES, E. R. **A geografia da verticalização litorânea em Vitória**: o bairro Praia do Canto. 1 ed. Vitória: Gráfica Santo Antônio, 2009.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício ambiental**. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

KLUG, L. B. **Vitória:** Sítio físico e Paisagem. 1 ed. Vitória: Edufes, 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 2014. 366 p.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; RAMOS, G. **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil.** Florianópolis: LABEEE, 2006. 49 p.

SANTANA, M. V. Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC. Florianópolis, SC. UFSC. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, I. G.; SOUZA, R. V. G. Proteções solares no Regulamento brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 227-241, 2012.

TAHMASEBI, M. M.; BANIHASHEMI, S.; HASSANABADI, M. S. Assesment of the variation impacts of window in energy consumption and carbon footprint. **Procedia Engineering**, 21, 2011. 820-828.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE DUAS HABITAÇÕES UNIFAMILIARES UTILIZANDO O SISTEMA ETICS NA CIDADE DE AQUIRAZ - CE[1]

MARCELINO, Renato (1); LEITE, Renan C. V. (2)

(1) UNIFOR, e-mail: arq.renatomarcelino@gmail.com (2) UNIFOR, e-mail: renancid@bol.com.br

RESUMO

Uma das principais preocupações do arquiteto passa por assegurar as condições de conforto térmico no interior das edificações. O presente estudo teve como propósito central analisar e comparar o desempenho térmico de duas habitações localizadas em Aquiraz - Ceará, através de medições in loco da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, para verificar o efeito do sistema External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS). Para a elaboração deste estudo foram utilizados três aparelhos registadores portáteis eletrónicos, modelo HOBO®. A utilização dos mesmos permitiu recolher os dados da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Para uma análise mais precisa, os três aparelhos foram programados para obter leituras de 5 em 5 minutos por um período de 8 dias. Comparando as duas habitações, verificou-se que a habitação com ETICS apresentou valores inferiores de temperatura do ar em relação à habitação sem ETICS, como uma diferença de 1,5ºC a 2ºC, sendo esta diferença bastante significativa.

Palavras-chave: Isolamento térmico. ETICS. Medições in loco.

ABSTRACT

One of the top concerns of the architect is to ensure that the thermal conditions inside of the buildings. This study had the central purpose analyse and compare the thermal performance on two houses located in Aquiraz–Ceará, through measurements in loco of the air temperature and humidity, to check the effect of the system External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS). For the preparation of this study were used three HOBO® Data Loggers. The use of these allowed to collect air temperature data and relative humidity. For more accurate analysis, the three devices were programmed to give readings of 5 in 5 minutes for a period of 8 days. Comparing the two houses, it was found that the house with ETICS presented lower values of air temperature than the house without ETICS, showed a difference between 1,5ºC to 2ºC, this being very significant difference.

***Keywords**: Thermal insulation. ETICS. In loco measurements.*

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais o ser humano compromete o futuro da nossa espécie e se o mesmo não encontrar soluções, a habitabilidade é prejudicada uma vez que há limites à sustentabilidade.

[1] MARCELINO, Renato; LEITE, Renan C. V. Análise do comportamento térmico de duas habitações unifamiliares utilizando o sistema ETICS na cidade de Aquiraz – CE. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

Por esta razão, torna-se necessário incluir nos projetos sistemas construtivos com considerações energéticas e ambientais. É neste contexto que se insere a Arquitetura Bioclimática e Sustentável, que visa a harmonização das construções e das características climáticas locais, otimizando as relações entre o homem e a natureza, quer no que diz respeito à redução de impactos ambientais, como também na melhoria das condições de vida humana, conforto e redução de consumo energético (KAPPAUN, 2012).

Assim sendo, temos que ter consciência na forma como a energia disponível é utilizada, visto que ela é a chave de todo o processo de desenvolvimento da sociedade moderna. Portanto, o aumento da eficiência energética das operações da humanidade é imprescindível para se atingir os objetivos do novo modelo de desenvolvimento, tanto pela diminuição da intensidade energética global, como pelo aumento dos correspondentes resultados económicos (PINHEIRO, 2013).

Existem normas que regulam o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações desde a década de 1970 em diversos países. Essas normas definem critérios e requisitos para que as construções sejam baseadas nas características climáticas locais e garantam um desempenho térmico mínimo (KAPPAUN, 2012).

Desta forma, é importante o avanço tecnológico de materiais e técnicas construtivas que possibilitem um maior conforto ao usuário, além de buscar soluções alternativas e de baixo custo. Dentro destas novas tecnologias temos o sistema *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS).

Por outro lado, e principalmente em países europeus e norte-americanos, o isolamento térmico e acústico das fachadas é um aspeto culturalmente adquirido, mesmo em climas muito distintos. No entanto, no Brasil ainda existe uma resistência por parte dos profissionais em enveredar por estas opções no ato de projetar e construir. Assim, a utilização de sistemas de isolamento é uma das soluções para atingir uma maior eficiência energética e, consequentemente, um maior conforto do usuário, seja em ambientes naturais ou climatizados (CHAIBEN, 2014).

Este estudo teve como propósito analisar e comparar o desempenho térmico de duas habitações localizadas em Aquiraz, Ceará, através de medições *in loco* da temperatura do ar e da umidade relativa para verificar o efeito do sistema *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS).

Para a elaboração deste estudo foram utilizados três aparelhos registadores portáteis eletrónicos, modelo HOBO® Data Logger, da empresa Onset Computer Corporation. A utilização dos mesmos permitiu recolher os dados da temperatura do ar (bulbo seco) e da umidade relativa do ar.

Comparando as duas habitações, verificou-se que a habitação com ETICS apresentou valores inferiores de temperatura do ar em relação à habitação sem ETICS na maior parte das medições efetuadas, sendo que em alguns casos houve diferenças de 1,5ºC a 2ºC entre as duas habitações.

Em suma, este estudo foca comparativamente o comportamento térmico de duas habitações, construídas pelo autor, em que numa delas foi aplicado o sistema ETICS nas paredes de alvenaria exteriores, verificando como este sistema influência o desempenho térmico do ambiente selecionado.

1.1 OBJETIVO

Analisar e comparar o desempenho térmico de duas habitações localizadas em Aquiraz - Ceará, através de medições *in loco* da temperatura do ar e da umidade relativado ar, para verificar o efeito do sistema *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS).

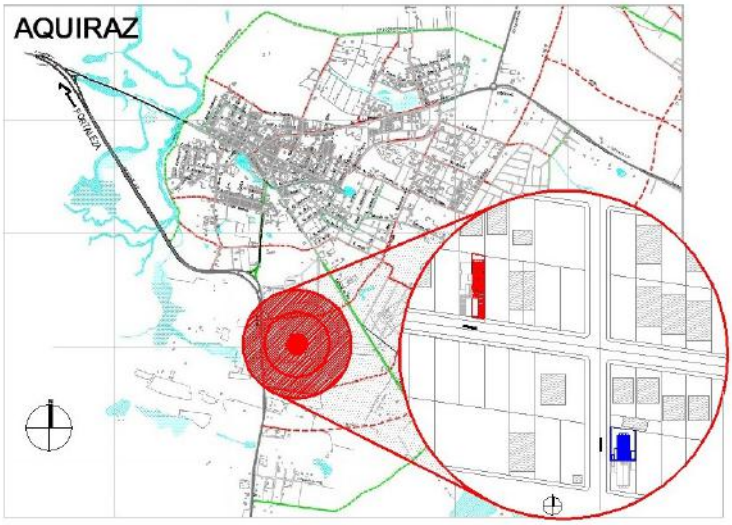
2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do local e dos objetos de estudo

A cidade de Aquiraz situa-se na costa leste do litoral Cearense e está localizada na Região Metropolitana de Fortaleza, entre as seguintes coordenadas geográficas: latitude 03º 55' 08.6'' S e longitude 38º 23' 05.8'' W. Segundo a classificação climática de Koppen Geiger, a região de Aquiraz apresenta um clima AW, tratando-se de um clima tropical semi-úmido, com duas estações bem definidas: seca (Outono/Inverno) e chuvosa (Primavera/Verão). Aquiraz possui uma amplitude térmica praticamente estável ao longo de todo o ano, com uma temperatura média anual de 26.5ºC, sendo que a temperatura média máxima dos meses mais quentes (Dezembro e Janeiro) é de 29.5ºC e a temperatura média mínima do mês mais frio (Julho) ronda os 24.9ºC. Importa referir que nesta região predominam os ventos de Sudeste e durante o ano a umidade relativa do ar apresenta uma média que ultrapassa os 70% (CORDEIRO; MARINHO, s.d.).

As habitações foram projetadas e construídas pelo autor (figura 1).

Figura 1 – Localização dos objetos de estudo



Fonte: Arquivo do autor

Estão inseridas numa zona residencial de baixa densidade, onde predominam habitações unifamiliares. As duas habitações têm o mesmo tipo de construção e a mesma orientação solar, distinguindo-se apenas pela aplicação de um sistema de isolamento térmico pelo exterior – ETICS, utilizado nas paredes de um das duas habitações. Deste modo, a escolha destas duas habitações baseou-se no fato de ambas terem uma arquitetura semelhante, permitindo comprovar se a utilização do sistema ETICS é uma solução eficiente para o desempenho térmico. Para o efeito, as duas habitações foram denominadas da seguinte forma: Habitação 1 (habitação com ETICS) e Habitação 2 (habitação sem ETICS).

As duas habitações são de volumetria simples, constituídas por um único piso, com dimensões relativamente pequenas e com materiais e áreas semelhantes.

As metodologias construtivas utilizadas foram semelhantes nas duas habitações: paredes em alvenaria tradicional simples (tijolo cerâmico de 6 furos) com reboco de 2cm de espessura e uma laje pré moldada, utilizando vigotas de concreto protendido e placas de poliestireno expandido (EPS). E posteriormente foi adicionada uma camada de concreto armado com 5cm de espessura, oferecendo resistência e coesão ao conjunto. Para concluir o processo construtivo utilizou-se uma cobertura em chapa galvanizada simples, permitindo a recolha das águas pluviais.

Em relação ao sistema ETICS, este foi utilizado apenas na Habitação 1. A técnica foi aplicada pelo exterior, através de placas de poliestireno expandido (EPS) coladas às paredes de alvenaria, revestidas com reboco delgado e armado com rede de fibra de vidro e pintadas de branco (Figura 2).

Importa referir que existe uma grande diferença do Coeficiente Global de Transmissão Térmica entre os sistemas, sendo que U=0,78w/m²k para o sistema ETICS e U=2,39w/m²k para o sistema construtivo de alvenaria simples de tijolos cerâmicos de seis furos.

Figura 2 – Aplicação do sistema ETICS



Fonte: Arquivo do autor

Este sistema construtivo surge como uma solução para habitações com um isolamento térmico insuficiente. A utilização do mesmo permite inúmeras vantagens, tais como: a economia de energia devido à redução das necessidades de arrefecimento do ambiente interno, a diminuição do risco de condensações internas, o aumento da durabilidade das fachadas, entre outras.

2.2 Instrumentos e procedimentos utilizados

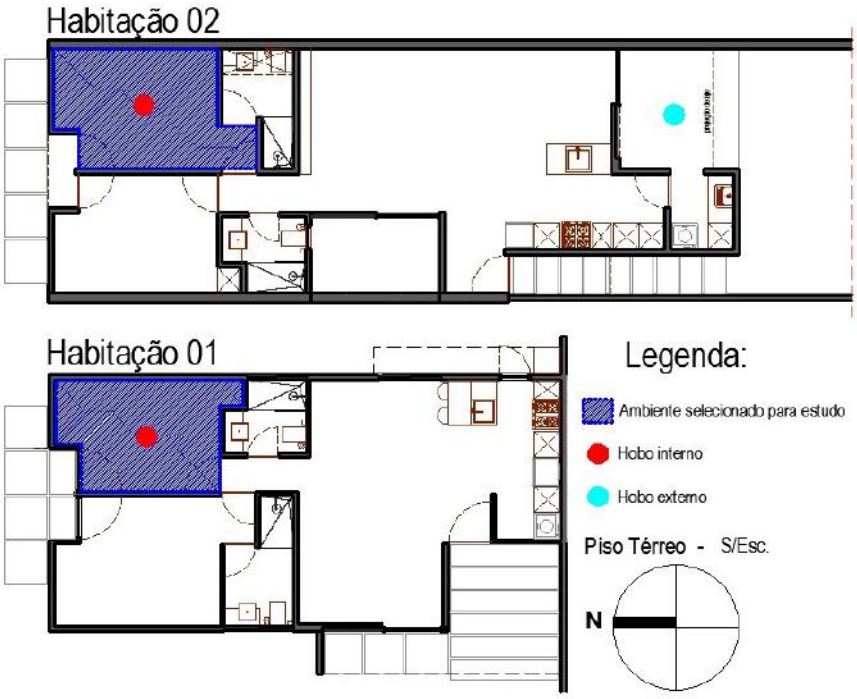
Para a elaboração deste estudo foram utilizados três aparelhos registadores portáteis eletrónicos, modelo HOBO® Data Logger, da empresa Onset Computer Corporation. A utilização dos mesmos permitiu recolher os dados da temperatura do ar (bulbo seco) e da umidade relativa do ar. Para uma análise mais precisa, os três aparelhos foram programados para obter leituras de 5 em 5 minutos por um período de 8 dias.

Importa referir que os três aparelhos foram numerados para facilitar a sua identificação e, posteriormente foram calibrados e testados antes de serem utilizados em campo, durante 2 dias no mesmo local.

Os dados da temperatura e da umidade interna e externa foram recolhidos *in loco* e em simultâneo nas duas habitações. Durante este procedimento optou-se também por realizar medições com os ambientes fechados e com os ambientes abertos. De referir ainda que durante as medições *in loco* a Habitação 1 estava ocupada e a Habitação 2 desocupada. Deste modo, o ambiente selecionado na Habitação 1 ficou totalmente fechado e sem qualquer interferência humana.

As medições da temperatura e da umidade interna com os ambientes fechados foram efetuadas durante 6 dias consecutivos, no período de 22/09/2015 a 27/09/2015. Acresce referir que nas duas habitações optou-se por fazer as medições em um dos quartos, isto por se tratar de um ambiente com a mesma área, com a mesma forma e com a mesma orientação solar a Norte. De referir ainda que dois dos aparelhos ficaram localizados a uma altura de 1,50m do piso e centralizados no ambiente estudado. Foram também efetuadas medições da temperatura e da umidade interna com os ambientes abertos durante 2 dias consecutivos, no período de 28/09/2015 a 29/09/2015, conseguindo, assim, uma análise comparativa com o ambiente fechado. Podemos observar na Figura 3 a identificação dos dois ambientes selecionados e ainda o local exato da colocação dos três aparelhos.

Figura 3 – Planta das habitações selecionadas para o estudo



Fonte: Arquivo do autor

Paralelamente, e com o intuito de comparar as temperaturas internas e externas, foi utilizado um terceiro aparelho na Habitação 2 para registrar os dados da temperatura e da umidade externa, durante os períodos de 22/09/2015 a 27/09/2015 e de 28/09/2015 a 29/09/2015. Uma vez que estes aparelhos são sensíveis à radiação solar direta e à chuva, o equipamento foi instalado numa área sombreada externa e foi colocado dentro de protetores do tipo *shield*, em PVC, da marca HOBO, com pequenas aberturas que permitissem a livre circulação do ar. De referir ainda que o equipamento ficou localizado a uma altura de 1,50m do piso.

Foi também efetuada uma comparação com os dados da temperatura e da umidade externa coletados pela estação meteorológica da Funceme, localizada no Castelão, para posteriormente analisar o comportamento da variação térmica verificada no local de estudo.

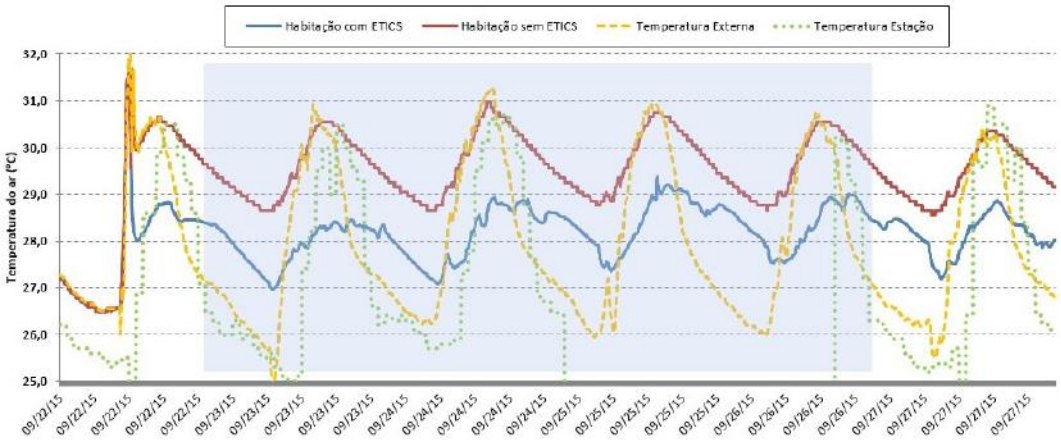
2.3 Técnica de análise

Os dados recolhidos pelos três aparelhos foram exportados para uma planilha eletrónica, e através desta obtiveram-se diferentes gráficos referentes às temperaturas coletadas durante os períodos mencionados anteriormente. Consequentemente, a partir dos gráficos foi possível analisar o comportamento térmico das duas habitações, quer ao nível da variação da temperatura e da umidade do ar, como também perceber como é que estas duas variáveis se comportam com os ambientes abertos e fechados.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apresentam-se, a seguir, os resultados obtidos nas medições da temperatura e da umidade nas duas habitações durante 8 dias consecutivos. Para uma análise comparativa mais eficiente, os registros do primeiro e do último dia foram excluídos da pesquisa. Os resultados obtidos com os ambientes fechados podem ser observados na Figura 4.

Figura 4 – Variação das temperaturas internas e externas com os ambientes fechados



Fonte: Arquivo do autor

Após uma análise da Figura 4, constatamos que existem diferenças significativas de temperatura entre as duas habitações. A Habitação 1 obteve valores inferiores de temperatura relativamente à Habitação 2, apresentando em alguns momentos diferenças de 2ºC. Neste sentido, o valor máximo absoluto de temperatura do ar na Habitação 1 foi de 29,30ºC às 14h25min do dia 25/09/2015, enquanto a Habitação 2 apresentava, à mesma hora, uma temperatura de 30,80ºC. Relativamente aos valores mínimos, estes foram obtidos às 6h40min do dia 23/09/2015, apresentando uma temperatura de 27,01°C na Habitação 1 e de 28,70ºC na Habitação 2.

O valor mais significativo entre a Habitação 1 e a Habitação 2 ocorreu no dia 24/09/2015 às 14h10min, registrando temperaturas de 28,90ºC e de 30,95ºC respetivamente. Ao analisar os dados obtidos, percebe-se que as duas habitações têm um comportamento similar de variação térmica, separados por 1,5ºC a 2,05ºC entre si. Esta condição justifica-se pela utilização do sistema ETICS na Habitação 1, reduzindo eficazmente a variação térmica e, consequentemente, colocando a habitação com um melhor conforto térmico para o usuário.

É possível verificar ainda que, quando a temperatura externa atinge o seu pico máximo a cada dia por volta das 14h00min, a Habitação 1 obtém um desempenho térmico bastante satisfatório, conseguindo em muitos momentos do dia mais de 2ºC de diferença relativamente à temperatura externa. Por outro lado, a temperatura interna da Habitação 2 acompanha a temperatura externa nos picos máximos.

Outro dado analisado foi o registro da umidade relativa do ar durante os 6 dias de coleta de dados. Como podemos observar na Figura 5, as duas habitações apresentam comportamentos distintos, pois a Habitação 1 obteve valores de umidade superiores à Habitação 2. Isto deve-se ao fato de o sistema ETICS ser um bom isolamento térmico e apresentar uma baixa condutividade térmica.

Figura 5 – Variação das umidades internas e externas com os ambientes fechados



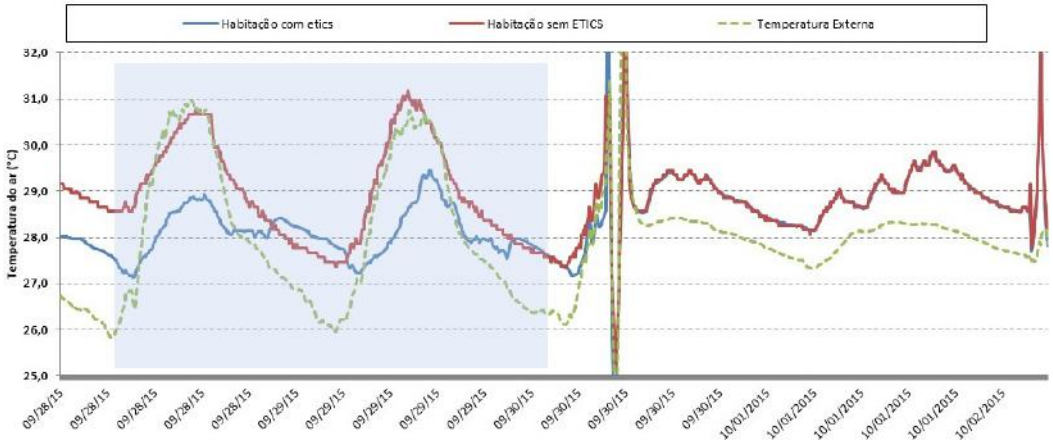
Fonte: Arquivo do autor

Observa-se também que a umidade relativa externa alcançou picos superiores a 83%, enquanto a umidade relativa interna não ultrapassou os 77%. De referir que a Habitação 1 obteve valores de umidade superiores relativamente à Habitação 2, com uma diferença de 7,5% a 8,5% entre ambas.

No que diz respeito aos dados coletados com os ambientes abertos durante 2 dias consecutivos, podemos observar na Figura 6 que a variação da temperatura teve um comportamento diferente daquela que foi observada com os ambientes fechados.

Verifica-se ainda que, durante a maior parte do dia, a Habitação 1 continua a demostrar uma temperatura interna inferior em relação à Habitação 2. Porém, em alguns momentos, nomeadamente ao final do dia, os valores obtidos pelas duas habitações são praticamente os mesmos, sendo que por vezes a Habitação 2 consegue obter valores de temperatura inferiores à Habitação 1. Isto deve-se, novamente, ao sistema ETICS utilizado na Habitação 1, que por sua vez obtém um coeficiente de condutibilidade térmica menor relativamente à Habitação 2, ou seja, se por um lado a Habitação 1 tem a capacidade de reduzir a transferência de calor do exterior para o interior, por outro lado observamos que, com os ambientes abertos, a Habitação 1 tem a mesma capacidade de reduzir essa transferência de calor do interior para o exterior.

Figura 6 - Variação das temperaturas internas e externas com os ambientes abertos



Fonte: Arquivo do autor

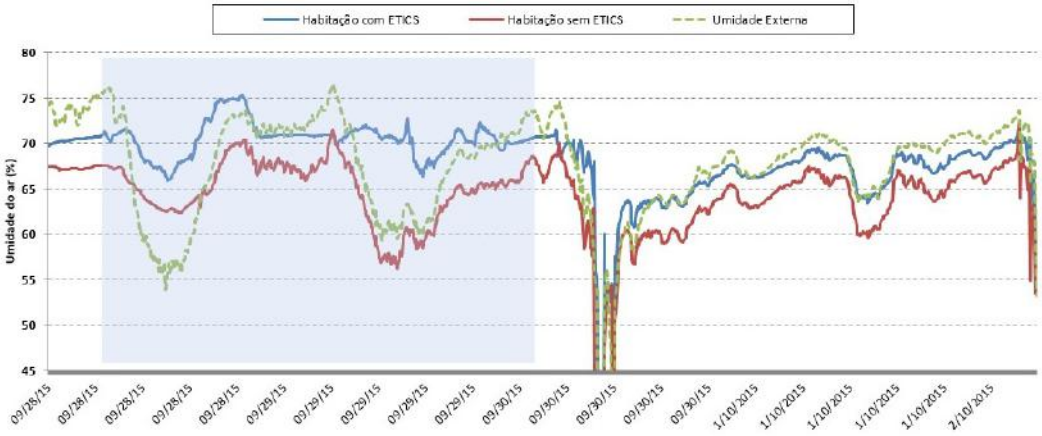
Constatou-se também que o valor máximo absoluto de temperatura do ar na Habitação 2 foi de 31,20ºC às 13h00min do dia 29/09/2015, enquanto à mesma hora a Habitação 1 apresentava uma temperatura de 28,60ºC. Importa referir que a Habitação 1 só atingiu o seu pico máximo, no mesmo dia, às 15h05min, com uma temperatura de 29,35ºC. Compreende-se que, com os ambientes abertos, os valores máximos de temperatura em cada habitação são a diferentes horas do dia.

Em relação aos valores mínimos de temperatura, estes foram obtidos às 7h35min do dia 29/09/2015, com uma temperatura de 27,22ºC na Habitação 1 e de 27,46ºC na Habitação 2.

Podemos verificar ainda que quando a temperatura do ar externa atinge o seu pico máximo por volta das 13h30min, a Habitação 1 consegue obter novamente um desempenho térmico satisfatório, conseguindo 1,5ºC de diferença relativamente à temperatura externa do ar. Por outro lado, a temperatura do ar interna da Habitação 2 acompanha novamente a temperatura externa nos picos máximos.

Quanto ao registro da umidade relativa do ar com os ambientes abertos, podemos observar na Figura 7 que o comportamento das habitações difere em relação à umidade relativa do ar analisada com os ambientes fechados. O comportamento da Habitação 2 é aquele que mais se destaca, visto que os valores coletados são muito idênticos aos da umidade externa.

Figura 7 – Variação das umidades internas e externas com os ambientes abertos



Fonte: Arquivo do autor

Deste modo, verifica-se que a Habitação 1 apresenta uma umidade mais constante ao longo do período de medição, variando entre 67% e 75%. Já na Habitação 2 os valores da umidade variam entre 56% e 71,5%.

Relativamente à umidade relativa do ar externa, observou-se que a mesma obteve um pico máximo de 77% e um pico mínimo de 54.5%.

De certa forma, as habitações em estudo apresentam um desempenho adequado em relação à umidade relativa do ar no seu interior.

4 CONCLUSÃO

Este estudo surgiu da necessidade de avaliar o desempenho térmico de duas habitações projetadas pelo autor, permitindo verificar se a utilização de isolamento térmico pelo exterior é um método viável na construção Brasileira, sobretudo para as regiões quentes e úmidas.

Após a análise comparativa das duas habitações, concluímos que a Habitação 1 obteve valores inferiores de temperatura relativamente à Habitação 2, apresentando em alguns momentos diferenças de 2ºC. Esta diferença de temperatura deve-se à colocação de placas de isolamento térmico pelo exterior (EPS), de 3cm de espessura, utilizadas na Habitação 1, onde se obteve temperaturas mais baixas. Neste sentido, podemos afirmar que os resultados obtidos na Habitação 1 resultam da grande diferença do Coeficiente Global de Transmissão Térmica entre os sistemas, sendo que U=0,78w/m²k para o sistema ETICS e U=2,39w/m²k para o sistema construtivo de alvenaria simples de tijolos cerâmicos de seis furos.

Face ao exposto, evidencia-se o potencial de sistemas construtivos mais isolantes do ponto de vista térmico, uma vez que a economia de recursos é cada vez mais uma preocupação, quer a nível energético quer a nível económico. Portanto, o sistema ETICS está inteiramente associado à economia, não apenas no campo de isolamentos eficientes, mas também por ser uma solução de baixo custo, obtendo resultados bastante satisfatórios para o usuário.

Relativamente ao custo médio de instalação do ETICS, este pode variar dependendo do grau de dificuldade da fachada e dos materiais isolantes escolhidos. Comparando com a alvenaria simples de tijolos cerâmicos de seis furos, o custo médio por m² da instalação deste sistema é aproximadamente 40% superior ao convencional.

Podemos concluir que para um maior conforto dos usuários, as habitações têm que ter soluções construtivas que visem o bem-estar, e que de certa forma possam contribuir para reduzir os ganhos térmicos e, consequentemente, os gastos energéticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) pelos equipamentos cedidos que permitiram realizar as medições.

REFERÊNCIAS

CHAIBEN, C. **Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS): avaliação preliminar de viabilidade para sua aplicação no Brasil.** Curitiba: Cátia Chaiben. Monografia de Especialização apresentada à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

CORDEIRO, W. & MARINHO, J. **Aplicação Hidrogeológica do método geofísico VLF (*Very Low Frequency*) em áreas de coberturas sedimentares cenozóicas do Ceará, Brasil.** 1° Joint World Congress on Groundwater, s.d.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 Brasileira.** Santa Maria: Kamila Kappaun. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

PINHEIRO, S. **Análise do Comportamento Térmico de Habitações Unifamiliares tendo em conta o conforto dos seus ocupantes.** Guimarães: Sílvia Pinheiro. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade do Minho, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

IMPACTO DA TEMPERATURA DE CONTROLE NA OPERAÇÃO DAS JANELAS E NO CONFORTO TÉRMICO PARA UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NATURALMENTE VENTILADA EM SÃO CARLOS – SP[1]

MARIN, Héctor F. (1); CASATEJADA, M. Pilar (2); CHVATAL, Karin M. S. (3)

(1) IAU, e-mail: arq.hectormarin@gmail.com; (2) IAU, e-mail: pilarcasatejadagil@gmail.com; (3) IAU, e-mail: uspkarin2015@gmail.com

RESUMO

O uso da ventilação natural como estratégia de resfriamento passivo é amplamente estudado por diferentes autores, que avaliam sua eficácia para garantir o conforto térmico dos usuários em projetos arquitetônicos, especialmente em habitações de interesse social (HIS). Assim, este artigo propõe estudar a influência da temperatura de controle (temperatura de *setpoint*) na modelagem no módulo *AirflowNetwork* do programa *EnergyPlus* para uma HIS naturalmente ventilada em São Carlos-SP, para possibilitar simulações mais precisas e confiáveis. Esse impacto é avaliado em relação à operação das janelas e ao conforto térmico da HIS. As alternativas de temperaturas de controle analisadas foram obtidas a partir dos seguintes critérios: (a) método de Conforto Adaptativo fornecido pela ASHRAE 55 (ASHRAE 2013), e (b) temperatura de controle proposta pelo RTQ-R (INMETRO, 2012). O padrão de comportamento da abertura das janelas mostrou a necessidade do uso da ventilação noturna para São Carlos no período de verão. Estas alternativas de modelagem geraram uma diferença significativa tanto na operação das janelas quanto na quantidade de graus-hora de desconforto. Portanto, observou-se uma forte relação entre a temperatura de controle e o uso da ventilação natural.

Palavras-chave: Temperatura de controle. Ventilação natural. *EnergyPlus. Airflow Network*.

ABSTRACT

The use of natural ventilation as a passive cooling strategy is widely studied by different authors. They evaluate its efficacy for promoting the thermal comfort for the users in architectural projects, specially in social housing. The aim of this study is to establish the impact of the setpoint temperatures modeling in the Airflow Network model of EnergyPlus (EP) program for a social housing naturally ventilated in São Carlos, São Paulo to enable more accurate and reliable simulations. This impact is evaluated regarding to the windows operability and to the environmental comfort of that social housing. The alternative of setpoint temperatures analyzed were obtained through: (a) method of acceptable operative temperature suggested by ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), *and (b) setpoint proposed by RTQ-R* (INMETRO, 2012). *The pattern of windows operability showed the need of night ventilation used during summer time for São Carlos. Those modeling alternatives generated a pronounced difference for both, opening factor and the amount of degree-hours of*

[1] MARIN, Héctor F.; CASATEJADA, M. Pilar; CHVATAL, Karin M. S.. Impacto da temperatura de controle na operação das janelas e no conforto térmico para uma habitação de interesse social naturalmente ventilada em São Carlos – SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

discomfort. Therefore, it was observed a strong relationship between the setpoint temperatures and the natural ventilation.

***Keywords**: Setpoint. Natural ventilation. EnergyPlus. Airflow Network.*

1 INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais, o resfriamento por ventilação é uma das melhores alternativas para garantir o conforto térmico nas habitações. A norma NBR 15220 (ABNT, 2005), que apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro sugere a ventilação natural como estratégia para a maioria das regiões do Brasil, especialmente para as zonas mais quentes e úmidas. Além disto, o uso desta estratégia em países em desenvolvimento, como o Brasil, representa uma opção viável para a população que não tem acesso ao uso de ar acondicionado. Os principais benefícios da ventilação natural são: (a) remover os ganhos de calor armazenados pela estrutura da edificação quando a temperatura externa é menor que a interna, (b) promover o resfriamento a partir da evaporação do suor e das trocas de calor devido ao movimento contínuo do ar, melhorando as condições de conforto, e (c) garantir a qualidade deste ar no interior das edificações, através de renovações do ar interno, removendo desta forma os poluentes presentes no ambiente, aspecto importante para a saúde dos usuários (CANDIDO; BITTENCOURT, 2008; GIVONI, 1976). No entanto, segundo Givoni (1992), enquanto que a qualidade do ar não depende das condições climáticas do local, para o conforto térmico estas precisam ser consideradas.

Quanto à ventilação noturna, o seu grande potencial como estratégia de conforto passivo consiste na remoção do calor armazenado pela estrutura durante o dia. Seus principais benefícios são os seguintes: redução do pico de temperatura no dia seguinte, redução da faixa de variação de temperatura durante o dia, especialmente no período matutino, e criação de um tempo de atraso entre as temperaturas máximas externas e internas. É importante que as baixas temperaturas não gerem desconforto por frio, e exista um fluxo de ar adequado no ambiente (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006).

Atualmente, existem programas computacionais que permitem simulações do desempenho térmico e preveem o consumo energético das edificações e de seus sistemas de climatização, sendo um deles o *EnergyPlus* (EP) (EERE, 2012). Esta ferramenta utiliza os conceitos fundamentais do balanço de energia aplicados ao modelo do edifício. O EP é composto por diferentes módulos, nos quais são inseridas as características do edifício e de seus sistemas (EERE, 2012). Um desses módulos é o *AirflowNetwork* que tem como base de cálculo algoritmos denominados "modelos de rede". Estes modelos simulam o fluxo de ar numa edificação a partir de uma fórmula simplificada que considera o potencial de uso da ventilação como recurso de resfriamento (SANTAMOURIS; ALLARD, 1998).

Para a modelagem no *AirflowNetwork* é preciso fornecer os dados de entrada com os quais o programa vai simular. Estes parâmetros agrupam-se

em quatro módulos: controle de simulação, caracterização das zonas térmicas, das superfícies e das aberturas da envolvente. No entanto, existem incertezas na modelagem de vários destes parâmetros, como a temperatura de controle inseridos nos módulos para a caracterização das zonas térmicas e das superfícies, podendo comprometer a confiabilidade de dados de saída, como as renovações de ar e a quantidade de graus-hora de desconforto (SORGATO, 2009). A temperatura de controle (temperatura de *setpoint*) é aquela pela qual se faz o controle da operação das portas e janelas (abertura e fechamento) para permitir a ventilação natural (EERE, 2012). A temperatura de controle sugerida pelo método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012), para edificações naturalmente ventiladas, é de 20°C, no período das 9 às 20 horas. Por outro lado, a norma ASHRAE *Standard 55 Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE, 2013) a partir da incorporação em 2004 do modelo adaptativo de Dear e Brager (2002), avalia o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados com base na hipótese de que as pessoas tendem a se adaptar às condições ambientais de seu entorno. O cálculo dos limites superior e inferior que delimitam a faixa de conforto ocorre a partir de uma relação entre a temperatura externa e a temperatura operativa da zona analisada. Estes valores são variáveis ao longo do ano e podem ser designados para duas faixas de aceitabilidade, 80% e 90% das pessoas satisfeitas com a temperatura. É importante avaliar o impacto da adoção desses diferentes critérios para a abertura das janelas tanto no comportamento da ventilação natural quanto na avaliação do conforto, sendo esta a principal proposta deste trabalho.

2 OBJETIVOS

Comparar o impacto na operação das janelas e na avaliação do conforto térmico de uma habitação de interesse social (HIS) naturalmente ventilada devido à modelagem de diferentes temperaturas de controle no *EnergyPlus*.

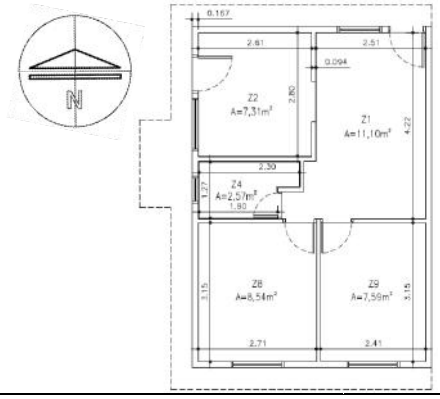
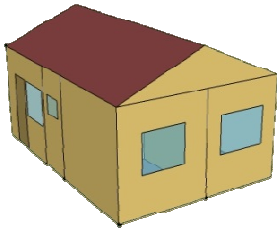
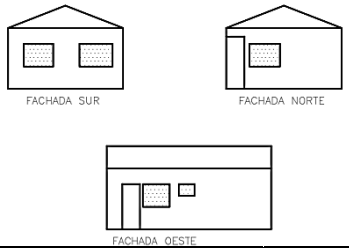
3 METODOLOGIA

3.1 Modelo de edifício

O objeto de estudo desta pesquisa é uma HIS localizada em São Carlos – SP, que apresenta uma geometria simples (retangular, térrea, isolada, sem geminação) de 37,7 m^2, composta de sala, cozinha, banheiro e dois quartos. Tanto a geometria, quanto as características construtivas da habitação empregada foram adotadas a partir dos trabalhos realizados por Marques (2013) e Chvatal (2014). Esta, por sua vez, configura uma solução tipológica representativa das HIS do estado de São Paulo. As simulações foram realizadas no programa *EnergyPlus* (EERE, 2012), e a geometria foi modelada com o *plug-in Open Studio* para *SketchUp* (TRIMBLE, 2012). As cargas internas e os períodos de ocupação foram considerados de acordo com os valores

indicados pelo RTQ-R (INMETRO, 2012). Neste artigo são apresentados os resultados apenas para a Zona 3 (Quarto), por ser um ambiente de maior permanência, além de apresentar comportamentos térmicos similares às zonas restantes. A orientação definida nas simulações foi adotada com respeito aos ventos predominantes para a cidade de São Carlos (sudeste) de forma que atingissem a zona estudada. Os Quadros 1 e 2 apresentam as características geométricas, construtivas e especificidades da ocupação.

Quadro 1 – Caracterização do Projeto de HIS, São Carlos – SP

<table>
<tr><td colspan="3">Plantas e vistas</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tipologia arquitetônica</td><td>Zonas térmicas estudadas</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vista fachada frontal</td><td>Fachadas</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">Características gerais</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Casa térrea</td><td colspan="2">Área total: 37,7m²</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pé-direito: 2,7m</td></tr>
<tr><td colspan="3">Características construtivas</td></tr>
<tr><td>Paredes externas</td><td colspan="2">Bloco de concreto furado de 19 cm</td></tr>
<tr><td>Paredes internas</td><td colspan="2">Bloco de concreto furado de 14 cm</td></tr>
<tr><td>Revestimento</td><td colspan="2">Reboco e pintura branca</td></tr>
<tr><td>Janelas</td><td colspan="2">Vidro incolor, 4 mm</td></tr>
<tr><td>Laje</td><td colspan="2">Laje de concreto (8 cm)</td></tr>
<tr><td>Piso</td><td colspan="2">Brita (3cm) + concreto (8 cm)+ revestimento cerâmico (5cm)</td></tr>
<tr><td>Cobertura</td><td colspan="2">Telha cerâmica (0,1 cm)</td></tr>
</table>

Fonte: Adaptado de Marques (2013)

Quadro 2 – Dados de entrada no programa EP "continua"

Parâmetros	
Área de janela em relação à parede externa do ambiente	20% (Z3 quarto / Z4 quarto /Z5 sala) 10% (Z1 cozinha / Z2 banheiro)
Vidro Cor/Espessura	Incolor/4mm

Transmitância térmica	
Paredes externas	2,62 W/m²K
Paredes internas	2,70 W/m²K
Sistema de cobertura	2,10 W/m²K

Quadro 2 – Dados de entrada no programa EP "conclusão"

Absortância		**Solar**		**Visível**
Paredes externas		0,65		0,5
Paredes internas		0,65		0,5
Cobertura		0,75		0,5
Padrão de uso				
	Z5: Sala	Z3: Quarto 1	Z4: Quarto 2	Z1: Cozinha
Iluminação	6 W/m²	5 W/m²	5 W/m²	6 W/m²
	17h-22h	7h-8h/21h-23h	7h-8h/21h-23h	12h-14h/18h-20h
Ocupação	14h-22h	22h - 08h	22h - 08h	12h-14h/18h-20h
Equipamentos	7h/21h-23h	Não se aplica		
Temperatura do solo	Igual à média mensal da temperatura externa			

3.2 Modelagem da ventilação natural

A ventilação natural foi modelada através do módulo *AirflowNetwork*. Uma variável importante para as simulações no EP é a modelagem da temperatura de controle para os diferentes casos de estudo. Esse parâmetro habilita as aberturas das janelas e portas e define os limites de temperatura para que ocorra a ventilação natural. Para todas as alternativas propostas, os requisitos para que houvesse ventilação foram: a temperatura interior do ar maior que a temperatura externa do ar (Tint > Text) e a temperatura interna do ar maior que a temperatura de controle (Tint > Tcontrole). A ventilação foi permitida 24hs/dia, no entanto, é importante ressaltar que a ventilação só ocorreu nos momentos em que as duas condições apresentadas foram satisfeitas simultaneamente. Adotaram-se os coeficientes médios de pressão do vento para cada fachada *(INPUT: SURFACE AVERAGE CALCULATION)* gerados automaticamente pelo programa para geometrias retangulares.

3.3 Casos de estudo

As variáveis analisadas foram as temperaturas de controle definidas em cada caso para a cidade de São Carlos – SP, como se expõe no Quadro 3.

Quadro 3 – Descrição das variáveis estudadas

Casos	**Tcontrole**	**Referencia**
Caso 1 (C1)	Temperatura de conforto (Temperatura variável ao longo do ano)	ASHRAE-55
Caso 2 (C2)	Limite inferior de conforto (Temperatura variável ao longo do ano)	ASHRAE-55
Caso 3 (C3)	20°C (Temperatura fixa ao longo do ano)	RTQ-R

Os dados de saída foram obtidos em formato de arquivo de texto (csv) a partir do qual foi realizado o pós-processamento dos dados.

3.4 Definição dos períodos e de seus dias representativos para São Carlos –SP

Foi necessário criar um método que permitisse distinguir períodos padrões para um ano, referentes à abertura das janelas para os três casos de estudo. Com este objetivo, foram realizados gráficos para cada mês, nos quais foram plotados os seguintes parâmetros, para cada hora do dia: (a) média das temperaturas externas, (b) média das temperaturas internas, (c) média de renovações de ar por hora, e (d) fator de abertura das janelas. Visualmente conseguiu-se identificar padrões similares referentes à abertura das janelas entre os meses do ano, o que permitiu agrupa-los nos diferentes períodos apresentados no Quadro 4. Observa-se que os períodos resultantes são distintos dependendo dos casos (C1, C2 ou C3). Também foi escolhido um dia, dentro do período, que representasse esse comportamento. Para a escolha desse dia, analisaram-se visualmente gráficos diários com os seguintes parâmetros: (a) temperatura exterior, (b) fator de abertura das janelas, e (c) renovações de ar por hora. Como critério final, entre os dias que apresentavam um comportamento similar ao período, escolheu-se um dia que atendesse a todos os casos, permitindo assim ter o mesmo dia para cada período padrão, para todos os casos. No Quadro 4 mostram-se os dias representativos escolhidos.

Quadro 4 – Definição dos períodos padrões e dia representativo para cada um dos casos de estudo

Nome	Verão	Meia-estação	Inverno
Caso 1 (C1)	Outubro – Março	Abril, agosto, setembro.	Maio-Julho
Caso 2 (C2)	Agosto- Junho	-----	Julho
Caso 3 (C3)	Agosto- Abril	-----	Maio- Julho
Dia representativo	17 de fevereiro	19 de agosto	15 de junho

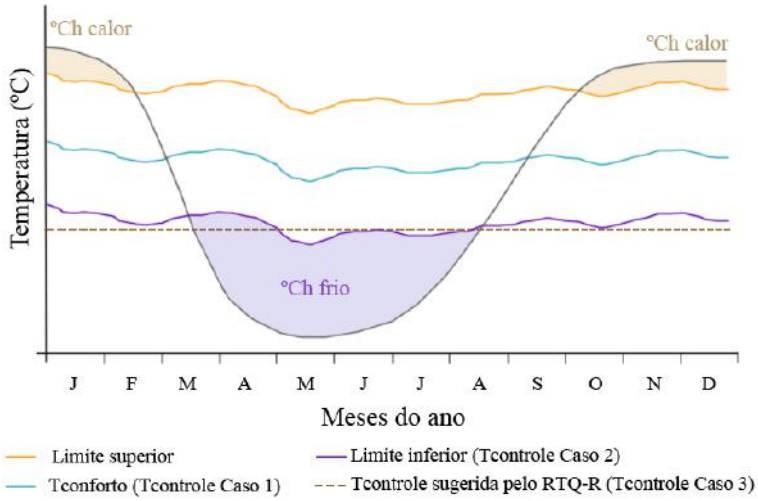
Destaca-se que, segundo a metodologia adotada, para os casos 2 e 3 não foi distinguido o período de meia-estação porque as temperaturas de controle para estes casos são menores. Isto faz com que as diferenças entre os períodos padrões do ano sejam diferentes para cada caso.

3.5 Quantificação do desconforto

A partir dos limites de conforto inferior e superior definidos pelo método da ASHRAE-55 (ASHRAE, 2013), foi possível obter os graus-hora de desconforto (°Ch) por calor e por frio. Tais limites representam a quantidade de horas em um período de tempo no qual a temperatura operativa de uma zona excede os limites gerados a partir dessa norma. Para o presente artigo foram quantificados somente os graus-hora de desconforto para a zona 3 (Quarto). A Figura 1 exemplifica a metodologia seguida para o cálculo dos graus-hora de desconforto ao longo de um ano segundo o método adaptativo e

apresenta as alternativas de temperaturas de controle utilizadas para cada caso.

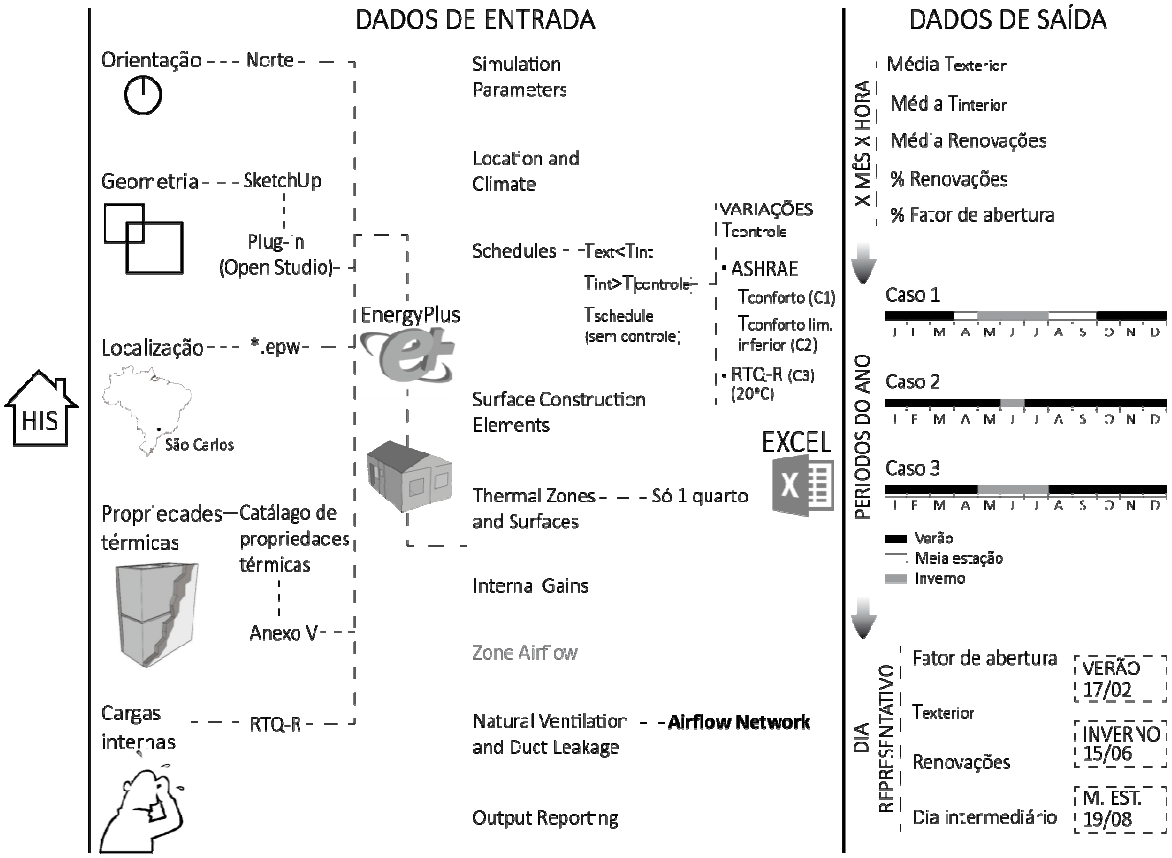
Figura 1 – Exemplo de determinação de graus-hora (°C)



Fonte: Os autores

A Figura 2 apresenta o fluxograma de todo o processo metodológico em que se baseia o presente estudo.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada



Fonte: Os autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia apresentada no item anterior, optou-se por uma analise de cinco variáveis para os mesmos dias representativos de cada período padrão (verão, inverno e meia estação), para cada um dos casos de estudo. Tal análise tem como objetivo entender o comportamento da ventilação natural por meio da operação das janelas. A duração desses períodos padrões foi diferente para cada um dos casos, conforme explicado na metodologia.

4.1 Período de verão

Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam o comportamento da ventilação natural para um dia de verão (dia representativo escolhido -17/02) considerando os três casos de estudo. No Caso 1, a temperatura de controle é 24 °C, no Caso 2, 21°C e no Caso 3, 20°C. Identificou-se que, ao diminuir a temperatura de controle, as janelas abriram por mais tempo.

Observou-se que os períodos de abertura das janelas corresponderam principalmente ao período noturno. Notou-se que a partir das 17h, quando a temperatura externa começou diminuir, foi o momento em que o uso da ventilação natural foi requerido a fim de eliminar os ganhos de calor diurnos.

Identificou-se que os Casos 2 e 3 apresentaram maiores taxas de renovação de ar e maiores fatores de abertura. A abertura de janelas (Casos 2 e 3) teve um comportamento similar ao observado no Caso 1 quando foram utilizadas temperaturas de controle menores. Por exemplo, no Caso 1, as janelas se fecharam às 7h, uma vez que a temperatura interna se manteve abaixo da temperatura de controle. Já nos Casos 2 e 3, pelo limite ser menor, elas só fecharam às 11h, e a partir desse horário a temperatura externa se elevou, sendo maior que a interna e assim, não permitindo a ventilação.

Gráfico 1 – Caso 1: Dia representativo de verão (17/02)

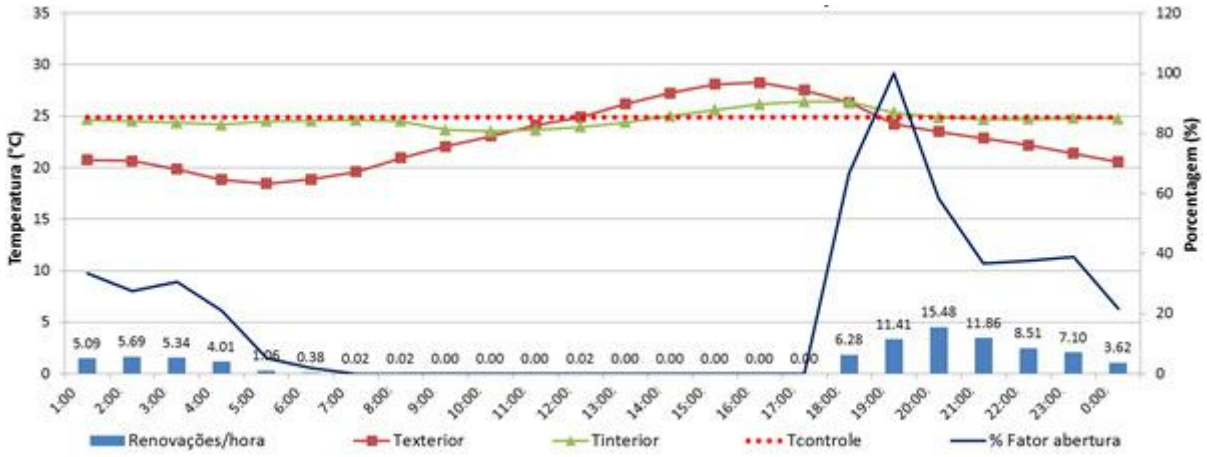


Gráfico 2 – Caso 2: Dia representativo de verão (17/02)

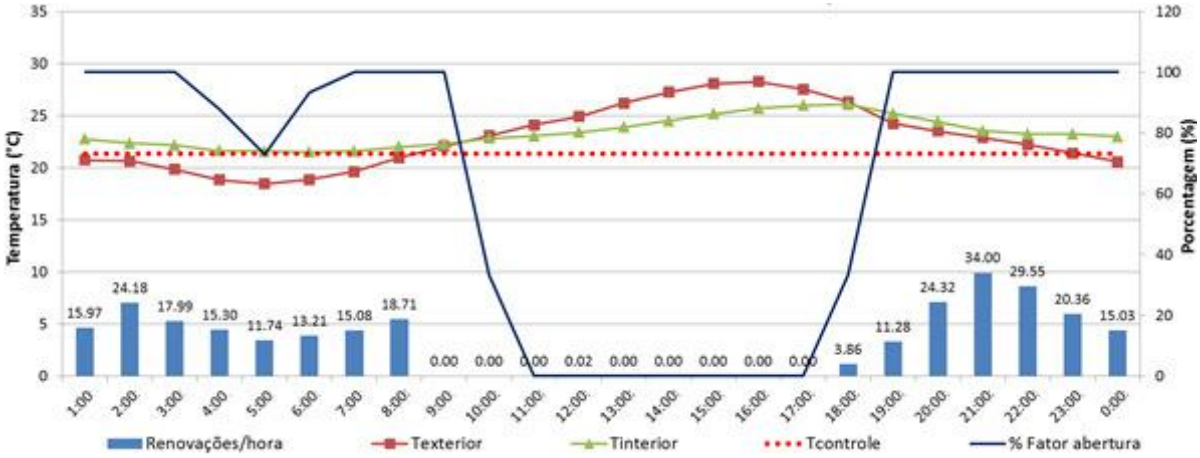
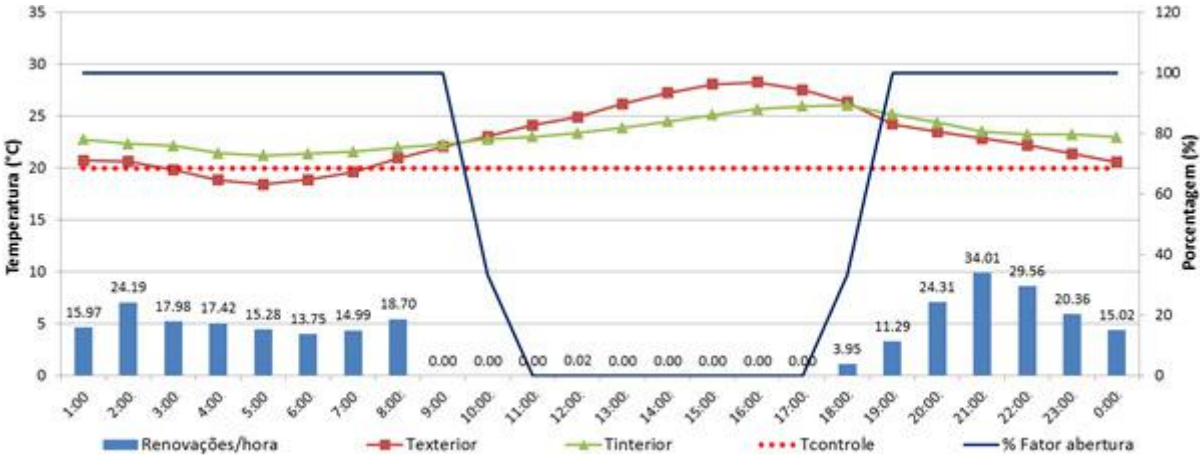


Gráfico 3 – Caso 3: Dia representativo de verão (17/02)

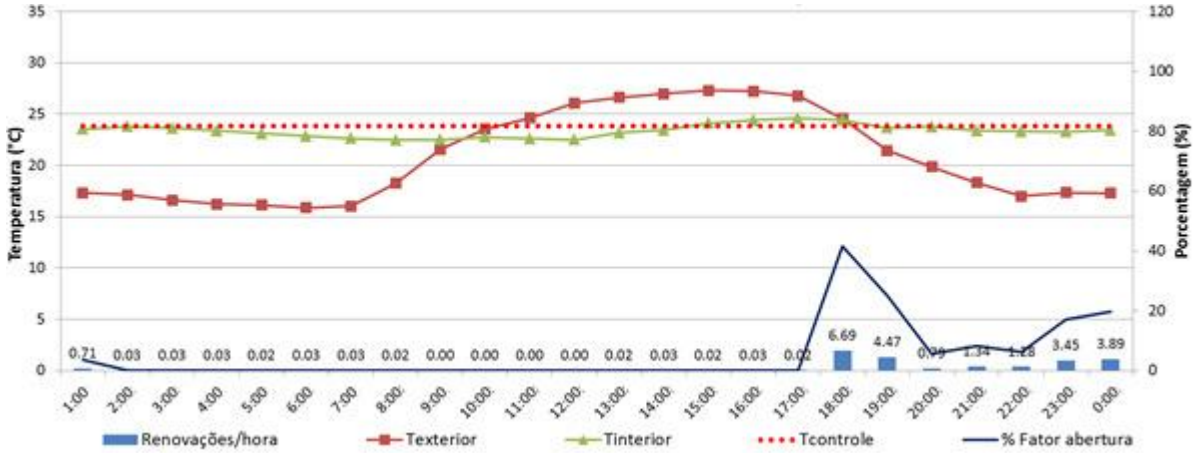


4.2 Período de meia-estação

A meia-estação foi analisada apenas para o Caso 1, sendo caracterizado o uso da ventilação natural no horário noturno, similar ao peíodo de verão. No entanto, este período caracterizou-se por menores períodos de abertura de janelas, e, como resultado, menores renovações de ar por hora. Isto foi observado, por exemplo, no dia representativo (19 de agosto).

A abertura das janelas ocorreu no período das 18h às 2h. Neste caso, a temperatura de controle gerada pelo índice de conforto adaptativo foi de 23ºC, porém a temperatura interna ficou a maior parte do tempo abaixo desse limite. Este comportamento é ilustrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Caso 1: Dia representativo de meia-estação (19/08)



4.3 Período de inverno

Neste período, o dia representativo escolhido foi 15 de junho, e para ele, as temperaturas de controle foram as seguintes: 23ºC (Caso 1), 19 °C (Caso 2) e 20ºC (Caso 3). O período de inverno apresentou um padrão bem diferenciado quando comparado ao período de verão, como pode se verificar nos Gráficos 5, 6 e 7. Observa-se que tanto a porcentagem de abertura de janelas como a taxa de renovação de ar são muito menores no inverno. Embora, observe-se que para os casos com temperatura de controle menores (casos 2 e 3), houve ocasionalmente abertura das janelas quando se atingiram simultaneamente os critérios de ventilação dados pelo EP ($T_{ext}<T_{int}$; $T_{int}>T_{controle}$; $T_{schedule}$), especialmente nos períodos noturnos.

Gráfico 5 – Caso 1: Dia representativo de inverno (15/06)

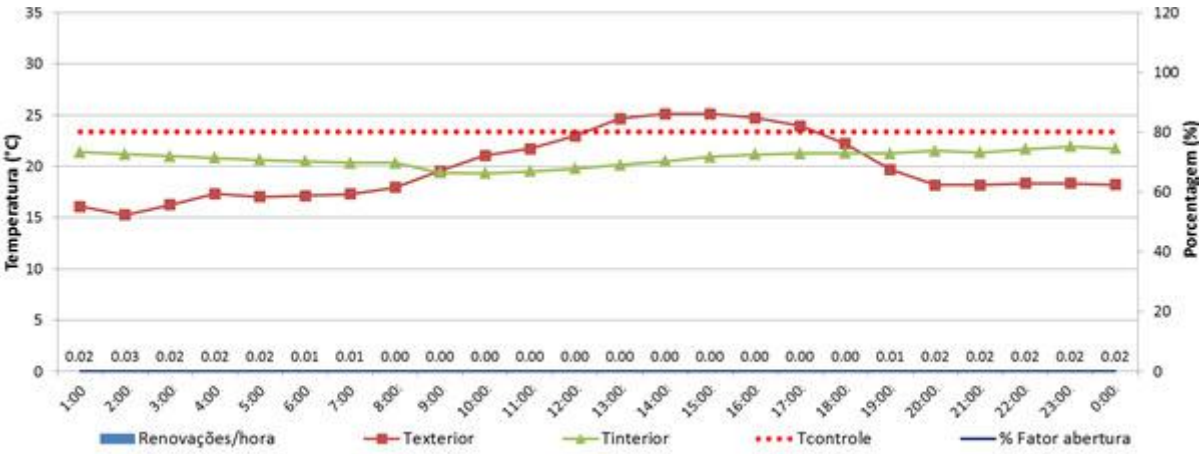


Gráfico 6 – Caso 2: Dia representativo de inverno (15/06)

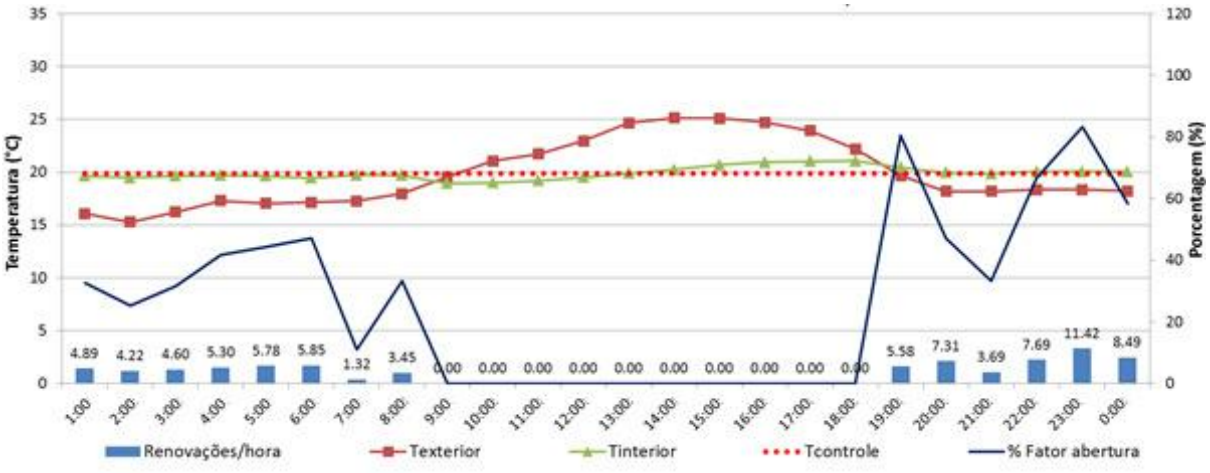
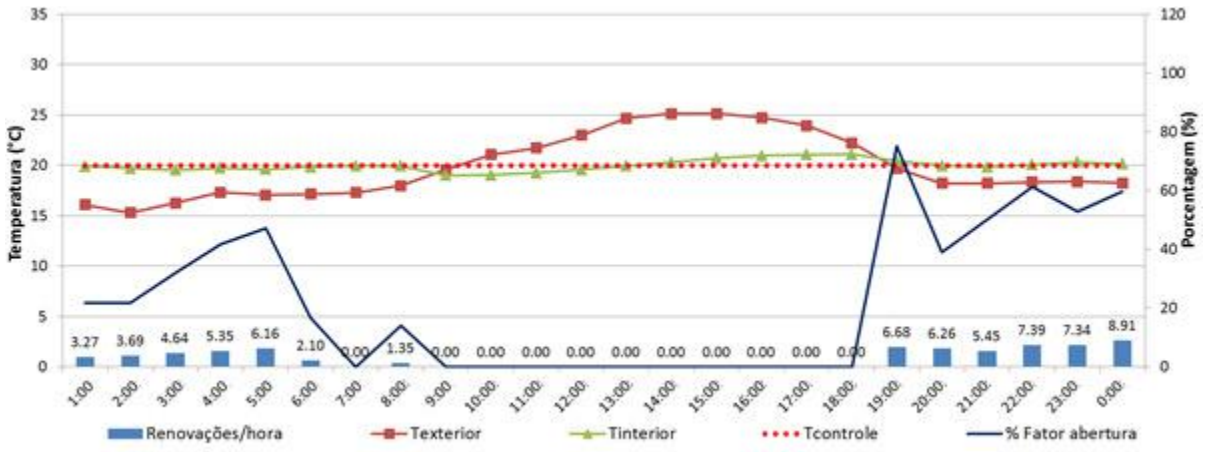


Gráfico 7 – Caso 3: Dia representativo de inverno (15/06)



4.4 Graus-hora de desconforto

No gráfico 8 comparou-se as diferentes temperaturas de controle aplicadas para cada caso de estudo e a temperatura operativa da zona 3 (Quarto). Observa-se que a temperatura de controle do Caso 2, correspondente ao limite inferior da faixa de conforto do método ASHRAE-55, ficou abaixo da temperatura de controle obtida pelo regulamento RTQ-R (Caso 3) apenas nos meses de inverno. Isso resultou em menos graus-hora de desconforto por frio no Caso 2, comparado ao Caso 3, conforme pode ser visto na tabela 1. No verão, ambos os casos apresentaram quantidades similares de graus-hora de desconforto por calor.

No Caso 1, observou-se uma maior quantidade de graus-hora de desconforto por calor, e uma menor por frio quando comparados aos periodos dos outros casos. A maior diferença, observada foi de 952 graus-hora de desconforto por frio para o Caso 3. Foi identificado um comportamento semelhante das temperaturas operativas nos três casos para os meses mais frios do ano. Essa constatação pode ser justificada pela pelo grande quantidade de horas em que as janelas se mantem fechadas neste período.

Gráfico 8 – Gráfico comparativo do índice de conforto adaptativo (80%) para os Casos 1, 2 e 3

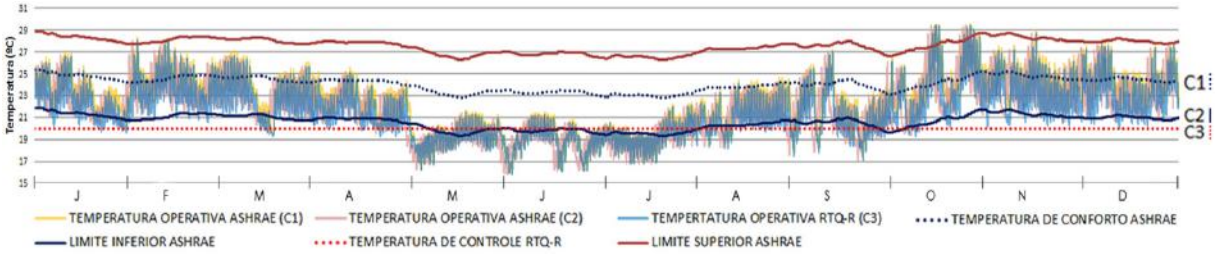


Tabela 1 – Resumo graus-horas de desconforto para os Casos 1, 2 e 3

	ºCh desconforto calor	**ºCh desconforto frio**
Caso 1/Tconforto	45	1941
Caso 2/límite inferior de conforto	35	2618
Caso 3/20ºC	35	2893

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a escolha da modelagem da temperatura de controle para simulações da ventilação natural no *EnergyPlus* (EP) está diretamente relacionada à operação das janelas e consequentemente ao aproveitamento do potencial de resfriamento por esta estratégia. Portanto, o aprimoramento dos parâmetros de entrada é determinante para a confiabilidade dos resultados fornecidos por este programa computacional.

Observou-se que o caso com maior graus-hora de desconforto por calor no verão foi aquele com temperatura de controle maior. Do mesmo modo, no inverno, temperaturas de controle menores obtiveram maiores graus-hora de desconforto por frio.

Por outro lado, no Caso 1, obteve-se três períodos padrão: verão, meia-estação e inverno. Destacou-se o inverno por não ter ventilação e o verão por apresentar porcentagens menores de abertura de janela. Para os casos 2 e 3, foram identificados dois períodos padrão: verão e inverno. Este último caracterizou-se por ter abertura de janelas ocasionais no periodo noturno para ambos os casos, esclarecendo que para o Caso 2 houve um inverno mais curto quando comparado com os outros casos. No verão para todos eles, notou-se que as aberturas das janelas ocorreram principalmente durante a noite e que quanto menores as temperaturas de controle, mais similares foram os padrões de ventilação dos meses do ano.

Em trabalhos futuros seriam necessários mais estudos sobre a modelagem deste parâmetro nos programas de simulação do desempenho térmico em edificações e pesquisas experimentais com usuários de edifícios melhorando assim a confiabilidade das simulações.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à CAPES pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575:** Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.

CANDIDO, C.; BITTENCOURT, L. **Introdução a Ventilação Natural**. 3 edição ed. Maceió: EDUFAL, 2008.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014.

DEAR, R. J. DE; G.S. BRAGER. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings**: revision to ASHRAE standards 55. Journal of Energy and Buildings, v. 34, p. 549–561, 2002.

DEPARTMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY -EERE. **EnergyPlus.** Version 8.1. USA, 2012.

GIVONI, B. **Man, climate, and architecture**. 2ª edição: Londres: Aplied Science, 1976.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines.** Energy and Buildings, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA- INMETRO. **RTQ-R:** Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

MARQUES, T. H. T. **Influencia das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações sociais em São Carlos, SP**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo, IAU/USP. São Carlos, SP, 2013.

SANTAMOURIS, M.; ALLARD, F. **Natural ventilation in buildings: a design handbook**. London: James & James Science Publishers, 1998.

SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building Ventilation: The State of the Art**. ilustrada ed. UK USA: Earthscan,2006.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009.

TRIMBLE NAVIGATION. **SketchUp**, 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES DOS CORREIOS[1]

MELLO, Claudia (1); LOMARDO, Louise (2)

(1) UFF, e-mail: claudiasouzamello@gmail.com; (2) UFF, e-mail: louiselbl@gmail.com

RESUMO

O trabalho apresenta uma análise da eficiência energética das envoltórias de um grupo de edificações da empresa Correios, objetivando o apontamento de práticas para a requalificação do espaço construído. Dessa forma, definiu-se uma amostra de três edificações localizadas no Estado do Rio de Janeiro na Zona Bioclimática 8 (ZB8) com características semelhantes quanto ao uso, porém diferenciadas quanto à construção, ao tamanho e à implantação: Agência Largo do Machado (1920), Edifício Sede/RJ (1980) e Agência Central/RJ (1878). Assim, aplicou-se o método prescritivo para classificação do nível de eficiência energética das envoltórias proposto pelo RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) e desenvolveu-se um estudo, tendo como fatores comparativos os períodos em que foram construídas e, consequentemente, os sistemas construtivos e materiais utilizados. O método utilizado apontou a Agência Central como mais eficiente e o Ed. Sede como menos eficiente. Esse resultado corrobora com a hipótese inicial que edificações construídas antes dos anos 1970 apresentam melhor eficiência energética. A análise dos resultados da metodologia RTQ-C permitiu observar que as coberturas deverão ser corrigidas para que os edifícios melhorem quanto à avaliação da eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-C. Edificações dos Correios.

ABSTRACT

The paper presents an analysis of the energy efficiency of the envelopes of a group of Correios' buildings, aiming to point out construction practice for the rehabilitation of the built environment. Thus, it defined a sample of three buildings located in the state of Rio de Janeiro in the Climatic Zone 8 (ZB8): Largo do Machado post Office (1920), Correios'Headquarters/RJ (1980) and Central/RJ post office (1878). We applied the prescriptive method for rating the energy efficiency level of the envelopes proposed by RTQ-C (Regulations for Voluntary Labeling Level Energy Efficiency of Commercial Buildings, and Public Service), and developed an energy efficiency study, using as comparative factors: the periods that they were built and, consequently, the constructive system, the materials and the site location. The method indicated the Central/RJ post office (1878) as the most efficient and Correios'Headquarters/RJ (1980) as the less efficient. This result confirms the initial hypothesis that buildings constructed before the 1970s have better energy efficiency. Moreover, the results of the RTQ-C methodology allowed us to observe that the buildings roofs should be correctedin order to improve energy efficiency evaluation of the sample.

***Keywords**: Energy efficiency. RTQ-C. Correios' buildings.*

[1] MELLO, Claudia; LOMARDO, Louise. Eficiência energética nas edificações dos correios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

As últimas décadas foram marcadas pelo início de uma consciência da necessidade de proteção e respeito ao meio natural diante das mudanças climáticas acentuadas no século XX. As pressões globais pela redução dos impactos ambientais aliada às crises no setor de fornecimento energético intensificam as preocupações com a racionalização do consumo de energia e a busca de soluções e tecnologias ora eficientes energeticamente ora passivas. O setor da construção civil tem papel fundamental, pois o uso dos edifícios tem um forte impacto sobre o meio ambiente.

De acordo com Gauzin-Mullër (2011) as edificações consomem aproximadamente 50% dos recursos naturais, 40% da energia elétrica e 16% da água e, ainda, construção e demolição de edifícios produzem mais resíduos que o lixo doméstico. No caso do Brasil, especificamente, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2012, "Do atual consumo de energia elétrica no Brasil em 2011 [...], as edificações representaram 46,7% [...]" (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2013, p.16).

Atualmente, são inúmeros os Congressos, Conferências, Encontros e Seminários nacionais e internacionais, além de pesquisas que tratam e enfocam os projetos direcionados à sustentabilidade e eficiência energética nas edificações e nas cidades. Esse fato reflete a importância do tema, que se amplia desde os anos 70, quando as questões energéticas começaram a ser tratadas de forma mais urgente.

Observa-se que a consciência e o conhecimento dos danos causados à natureza devido à exploração desmedida dos recursos naturais ampliam-se. Porém a prática, a alteração de procedimentos e processos, a aplicabilidade mostram-se complexas e de difícil implementação num mundo globalizado e fragmentado. Assim, temas relacionados à eficiência energética das edificações são centrais, pois os gastos com energia crescem a cada dia, assim como as crises do setor energético. Nesse contexto, a pesquisa busca avaliar a eficiência energéticade edificações da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (Correios).

Vale informar que esta é hoje a maior empresa pública brasileira, possuindo mais de 115 mil empregados e 12.644 agências distribuídas por todo território nacional, além das unidades operacionais e administrativas. Nesse contexto e considerando a abrangência geográfica e alcance social dos Correios, o fomento a construções, projetos e reformas energeticamente eficientes tenderá a possibilitar ganhos como a redução do consumo de energia e a disseminação da cultura de edificações e cidades sustentáveis.

O Plano Estratégico da empresa aponta, entre outras, uma política que busca inserção no contexto global de desenvolvimento sustentável. Destacando-se como um de seus valores a sustentabilidade, explicitada como a busca do equilíbrio entre os aspectos social, ambiental e econômico. No entanto, um dos desafios talvez seja conduzir e concretizar esta mudança de paradigma na prática do dia-a-dia em todos os seus campos de atuação: no seu produto, na sua estrutura física e na sua

imagem, entre outros. Nesse grupo inserem-se as edificações da empresa. Portanto, o momento é oportuno para reflexões e questionamentos com relação à adequação da infra-estrutura física da empresa à sua política de sustentabilidade.

Segundo Mascaró "[a] solução está no uso consciente do ambiente evitando o desperdício [...]. Trabalhar dentro da lógica orientada à obtenção dos máximos resultados com investimento dos mínimos recursos [...]" (2010, p.23).

2 OBJETIVOS

Avaliar a eficiência energética e das envoltórias de um grupo de edificações da empresa Correios localizadas no Estado do Rio de Janeiro na ZB8.

Sugerir práticas para a requalificação do espaço construído, através do levantamento de questões a serem abordadas nos projetos, considerando os desafios da eficiência energética. Ademais, pretende refletir sobre a hipótese de que edificações construídas antes dos anos 1970 apresentam melhor eficiência energética.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A composição da pesquisa empírica corresponde às seguintes etapas:

- Escolha de três edificações dos Correios com características semelhantes quanto ao uso, porém diferenciadas quanto à construção, ao tamanho e à implantação, localizadas no Estado do Rio de Janeiro na ZB8.
- Aplicação do método prescritivo para classificação do nível de eficiência energética das envoltórias proposto pelo RTQ-C, utilizando-se a planilha desenvolvida pelo Laboratório de Conservação de Energia e Conforto Ambiental (LabCECA/UFF).
- Análise comparativa dos dados: diferenças e semelhanças de eficiência energética das envoltórias.

A definição das amostras foi norteada por alguns fatores:

- Edificação completa com uso de Correios, "[...] para classificação da envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa" (Portaria 372, 2010, p.14), isto é, toda a sua superfície de contato com o meio exterior.
- Características diferenciadas quanto à construção, ao tamanho, à implantação e a data de construção do imóvel, possibilitando a comparação entre níveis de eficiência energética relacionados a esses fatores.
- Imóveis localizados na cidade do Rio de Janeiro na ZB8, o que também possibilita facilidade de acesso para a execução dos levantamentos de campo.

3.1 RTQ-C

Alguns fatores contribuíram para a definição do RTQ-C como método de análise da eficiência energética das edificações dos Correios. Primeiramente, por ser um método de etiquetagem brasileiro. O PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia) implementou o RTQ-C em 2009. A ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) é obtida através do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). Em segundo lugar, frisa-se que a IN (Instrução Normativa) nº 2/2014 da SLTI/MPOG (Secretária de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão) obriga o uso da ENCE nas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* a partir de 4/8/2014. Por fim, e consequentemente, considera-se que as análises e resultados apontados no presente estudo poderão contribuir para diagnósticos, avaliações e possíveis adequações dos edifícios da empresa.

O RTQ-C (com base na Portaria nº 372/2010 do INMETRO) define requisitos técnicos e métodos para classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à eficiência energética. O método especifica a classificação do nível de eficiência das edificações através das análises da envoltória, do sistema de iluminação e de condicionamento de ar. Entre os procedimentos para a determinação da eficiência energética de edificações, o regulamento prevê o método prescritivo ou de simulação. O método prescritivo apresenta-se como um método simplificado, ele avalia as edificações através da verificação do atendimento a uma multiplicidade de fatores relacionados às características dos prédios expressas através de equações e tabelas. O presente estudo apresenta-se como resultado da aplicação do método prescritivo.

O RTQ-C objetiva a classificação geral do edifício através das avaliações dos sistemas individuais, logo são atribuídos pesos para cada sistema. Porém, é possível a etiquetagem parcial dos sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar), relacionando à eficiência desses separadamente. O peso da envoltória representa 30% na classificação geral, do sistema de iluminação 30% e do sistema de condicionamento de ar 40%. Dessa forma, conforme a pontuação final será definida uma classificação do edifício que varia de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente). Frisa-se que métodos de avaliação de eficiência energética, certificações ou etiquetagem de edifícios não garantem a qualidade da edificação, mas apresentam-se como ferramentas de análise do edifício.

O método prescritivo do RTQ-C baseia-se em um Indicador de Consumo (IC) obtido através de uma equação. Ressalta-se que o IC objetiva demonstrar como a envoltória irá impactar no consumo de energia da edificação. Além do IC, o RTQ-C define pré-requisitos específicos para classificação do nível de eficiência energética da envoltória. Esses estão relacionados à média ponderada da Transmitância térmica da cobertura e das paredes exteriores do edifício, à média ponderada das Absortâncias de superfícies da envoltória (que recebam radiação solar) e à Iluminação Zenital.

4. RESULTADOS

4.1 A agência dos Correios do Largo do Machado

O imóvel localiza-se no Largo do Machado, bairro do Catete, implantado em uma vila (ver figura 1). Segundo dados do registro de imóveis, a edificação possui escritura de 24/06/1920, a qual descreve prédio de platibanda com 214,38m² de área. Os Correios compraram o imóvel em 1976, quando foi ampliado e reformado. Hoje a agência dos Correios ocupa esse prédio de platibanda, porém a área total construída é de 1038,95m². Quanto à estrutura formal do edifício, as composições da fachada são próprias do *artdeco.*

Figura 1- Localização e fachadas da agência do Largo do Machado



Fonte: produção do próprio ator

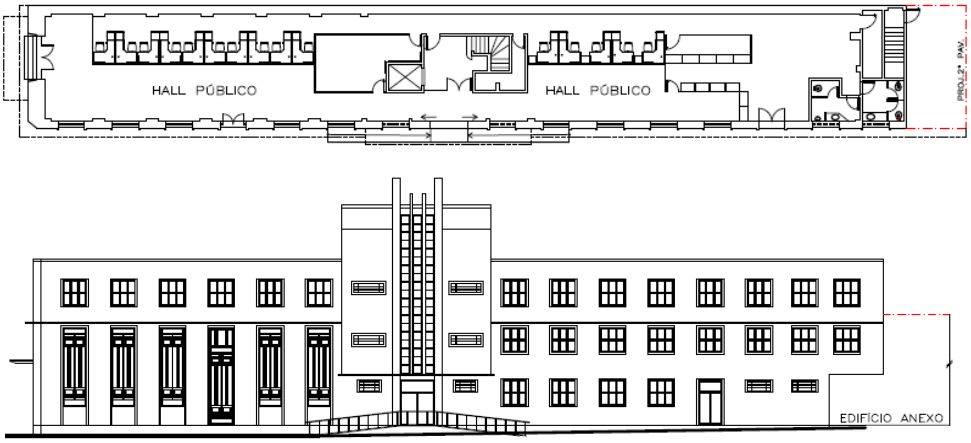
4.1.1 A envoltória

Devido às diversas reformas que o imóvel sofreu, ele apresenta hoje nove tipos diferenciados de paredes. A envoltória do edifício constitui-se basicamente de paredes de tijolos cerâmicos maciços. No entanto, consideraram-se as mais espessas (0,90m e 1,00m) compostas por uma mistura de blocos cerâmicos maciços, pedra e cal. Na presente pesquisa, estabeleceu-se, para o cálculo da Transmitância, o uso de pedra e argamassa de cal e gesso apenas, por ser a situação mais restritiva. Já as paredes das intervenções mais recentes (0,15m) são de alvenaria de tijolos cerâmicos furados. Grande parte das esquadrias é composta de ferro e vidro transparente, havendo também algumas de madeira e vidro. Já a cobertura é de telha ondulada de fibrocimento sobre laje maciça apresentando a Transmitância de 2,06 W/m².K.

Vale destacar que os levantamentos das áreas e materiais constituintes da envoltória, (utilizados na equação para obter-se o IC), foram realizados através das plantas de arquitetura (GEREN-DR/RJ - Gerência de Engenharia - Diretoria Regional dos Correios do Rio de Janeiro), dos levantamentos de campo, fotográfico e de pesquisas junto aos técnicos da manutenção predial e usuários do edifício. Todavia, não foram realizadas "janelas" nas alvenarias para precisão do tipo de parede, logo, em situações de incerteza

quanto ao material da envoltória, optou-se por utilizar o material que apresentasse níveis mais altos de Transmitância térmica e Absortância, que representam a pior situação.

Figura 2 - Plantas baixas: cobertura, térreo e fachada oeste



Fonte: GEREN-DR/RJ

4.1.2 A avaliação da eficiência energética da envoltória

O IC obtido é de 212,44, que classifica a envoltória do edifício no nível "A". Algumas características físicas e construtivas da edificação contribuíram para o resultado inicial do nível "A", como a existência de proteção solar nas aberturas, platibandas, marquises e paredes espessas.

Todavia, ao finalizar a análise através dos pré-requisitos específicos da envoltória, observou-se que, a classificação final do edifício é "E". Tal resultado surge como consequência das características e dos materiais da cobertura: Transmitância Térmica da Cobertura - Ucob=2,06 W/m².K (onde o mínimo admissível para obtenção dos níveis "A", "B", "C" ou "D"seria de Ucob=2,00 W/m².K para qualquer ambiente ou ZB, considerando que o pavimento abaixo da cobertura não é condicionado). Segue abaixo um quadro resumo dos dados do edifício.

Tabela 1 - Quadro resumo do edifício - agência Lg. Machado

Pré-requisitos		
Ucob-AC	0	(W/m².K)
Ucob-ANC	2,06	(W/m².K)
Upar	1,76	(W/m².K)
CTpar	≥81	kJ/m².K
α cob	89	%
α par	47	%
PAZ	0	%

Dados dimensionais		
Atot	1038,95	m²
Apcob	282,94	m²
Ape	398,47	m²
Vtot	3860,95	m³
Aenv	1507,13	m²
FF	0,39	-
FA	0,27	-

Caracteristicas das aberturas		
FS	0,87	-
PAFt	-	%
PAFo	25	%

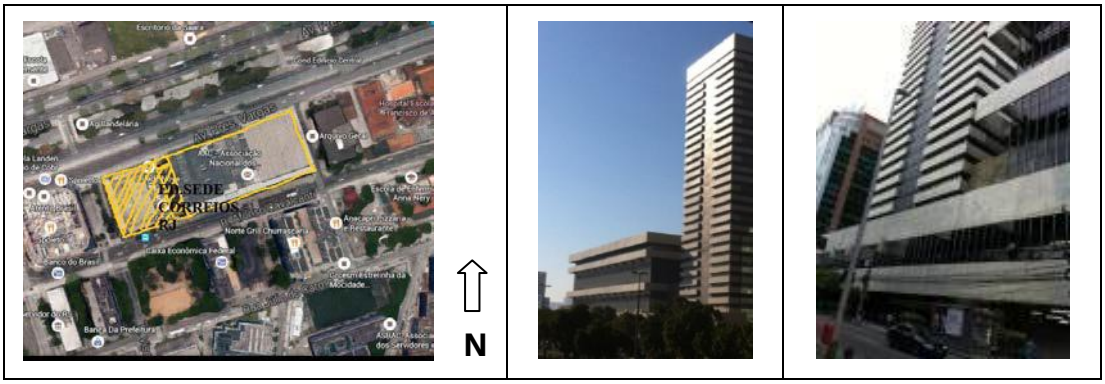
Fonte: produção do próprio ator

4.2 Edifício Sede dos Correios/ RJ

Localiza-se entre as ruas Amoroso Lima, Afonso Cavalcanti, e Av. Presidente Vargas no bairro Cidade Nova, havendo acesso pelas duas últimas. É

composto de dois prédios em concreto aparente e vidro: uma torre administrativa de 26 pavimentos tipo, e um bloco operacional de sete pavimentos(ver figura 3). Entre os dois edifícios localiza-se um auditório, cujo acesso se dá pela torre. O complexo postal possui 113.270,00m² e representa hoje em torno de 40% da área construída da empresa no estado e a torre em torno de 17%, sendo essa uma das razões da inclusão na pesquisa da torre administrativa. O edifício, essencialmente, possui uso administrativo. O número de andares, incluindo os pavimentos tipo, os técnicos, os de serviços e os de acesso, é de 35 (pavimentos). O prédio foi inaugurado em 1980.

Figura 3 - Localização e fachadas do Ed. Sede/ RJ



Fonte: produção do próprio ator

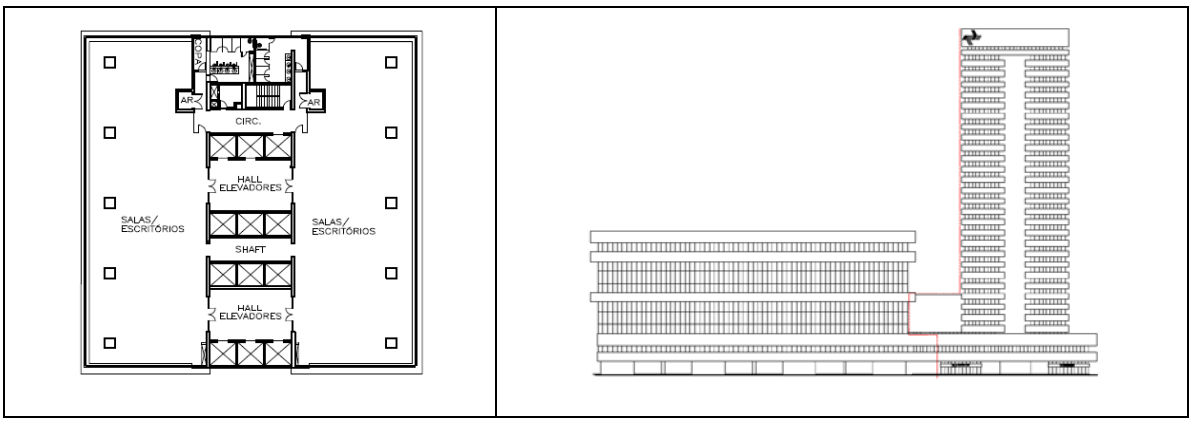
4.2.1 Envoltória

Os estudos da envoltória iniciaram-se pela investigação em planta e in loco da existência de separações físicas entre os dois blocos, considerando a necessidade técnica destas apontada pelo RTQ-C. Constatou-se que os dois prédios são realmente independentes, com acessos e usos específicos.

A envoltória do edifício é basicamente em concreto e vidro, Existem, também, paredes de tijolos furados nos quatro primeiros pavimentos nas fachadas leste e norte. Vale apontar que nas fachadas norte e sul existem paredes pintadas na cor preta, aproximadamente 10% do total da área de paredes, causando um aumento do valor da Absortância das paredes. Os vidros nos pavimentos tipo são de 6mm transparentes, apresentando fator solar de 0,83. A fachada sul, após uma das reformas do prédio, recebeu vidros blindados de 53mm nos pavimentos tipo. Quanto aos vidros da sobreloja e do segundo pavimento, possuem película de proteção, apresentando melhor fator solar.

Quanto às coberturas, o prédio possui três: a área externa do 3º pavimento, a cobertura do auditório e a cobertura formal da torre (32º pavimento), esta última não entra no cálculo de Transmitância e Absortância, por serem os últimos pavimentos de permanência transitória e sem ligação com ambientes de permanência prolongada no mesmo piso. Todas as coberturas são lajes de concreto planas impermeabilizadas.

Figura 4 - Planta baixa pavimento tipo e fachada norte



Fonte: GEREN-DR/RJ

4.2.2 A avaliação da eficiência energética da envoltória

O IC obtido é de 91,55, que classifica a envoltória do edifício no nível "A". No entanto, assim como na agência do Largo do Machado, ao finalizar a análise através dos pré-requisitos, observa-se que, a classificação final do edifício hoje é "E". Esse resultado foi causado, principalmente, pelas características e materiais da cobertura: Ucob=3,08W/m².K (onde o mínimo admissível para obtenção do nível "A" seria de Ucob=1,00 W/m².K para ambiente condicionados na ZB8). Em relação às cores das superfícies das paredes e coberturas é obrigatória a utilização de cor de Absortância solar baixa (menor que 50% do espectro solar) para as zonas ZB2 a ZB8, para a obtenção dos níveis "A" ou "B". Porém, na análise do edifício obteve-se cor de Absortância solar da cobertura 72% e de parede 64%. Segue abaixo um quadro resumo dos dados do edifício.

Tabela 2 - Quadro resumo dos dados do Ed. Sede dos Correios/ RJ.

Pré-requisitos		
Ucob-AC	3,08	(W/m².K)
Ucob-ANC	0	(W/m².K)
Upar	3,34	(W/m².K)
CTpar	≥81	kJ/m².K
α cob	72	%
α par	64	%
PAZ	0	%

Dados dimensionais		
Atot	42763,20	m²
Apcob	2771,25	m²
Ape	1374,69	m²
Vtot	163530,06	m³
Aenv	19158,67	m²
FF	0,17	-
FA	0,06	-

Caracteristicas das aberturas		
FS	0,76	-
PAFt	-	%
PAFo	0,38	%

Fonte: produção do próprio ator

4.3 A agência Central dos Correios / RJ

O edifício que hoje abriga a agência Central foi o primeiro prédio construído originalmente para o serviço postal no Brasil, inaugurado em 1878. O imóvel localiza-se no Centro, ocupando um quarteirão entre as ruas 1º de Março, Travessa Tocantins, Rua Visconde de Itaboraí e Rua do Rosário. O acesso principal se dá pela rua 1º de Março, porém há acessos de serviço nas demais vias. A edificação foi originalmente construída em três pavimentos e um mezanino. Em meados do século XX o edifício foi ampliado, construindo-se mais um pavimento (ver figura 5). Possui, hoje, 7149,00m².

Figura 5–fachadas e cobertura da Agência Central. Rua 1º de Março (1890)



Fonte: produção do próprio ator e foto de Marc Ferrez (última)

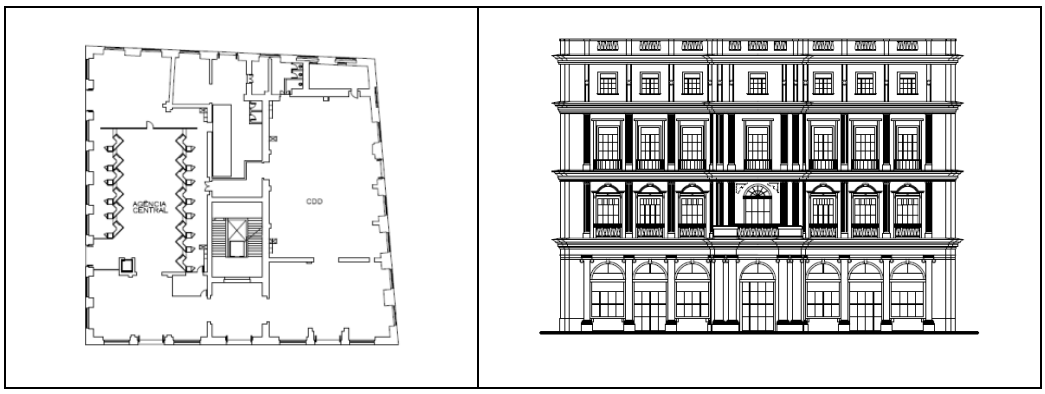
4.3.1 A envoltória

As paredes do edifício (até o 3º piso) compõem-se basicamentede pedra, com um pequeno percentual de outros materiais, como argamassa de cal. Já as paredes do último pavimento, construídas posteriormente, são de tijolos cerâmicos furados.

As esquadrias são compostas de madeira, ferro e vidro transparente. A maior parte da cobertura é de telha francesa, em torno de 11% é de telhado de vidro aramado e há um percentual em laje plana de concreto. Vale destacar que o prédio possuía originalmente um prisma de ventilação central. Possivelmente, em meados do século XX, quando o quarto pavimento foi acrescido, o prisma foi coberto e os elevadores instalados em parte dessa área. Hoje se localizam também nesse espaço as torres de resfriamento de água e dutos do sistema de climatização, funcionando, assim, como área de serviços, não climatizada e sem ligação direta com as áreas de convívio, exceto pelas janelas que são mantidas fechadas.

No cálculo das áreas da envoltória, as paredes internas voltadas para esse duto não foram consideradas, pois hoje se tratam de paredes internas. Quanto à cobertura de vidro aramado, considerou-se o Percentual de Abertura Zenital (PAZ) de 3,5%. Ressalta-se que apesar de ser maior o percentual de área da cobertura em telha de vidro aramado 11,7%, somente 3,5% se caracterizam como abertura zenital, realizando trocas de calor e luminosidade com o exterior.

Figura 6 - Planta baixa do térreo e fachada oeste (Rua 1º de Março)



Fonte: GEREN-DR/RJ

4.3.2 A avaliação da eficiência energética da envoltória

O IC obtido é de 69,16, que classifica a envoltória do edifício no nível "A". Nota-se, no entanto, assim como nas demais edificações em estudo, que ao finalizar a análise através dos pré-requisitos, a classificação do edifício é "C ou D". Esse resultado foi induzido pelas características e materiais da cobertura, inclusive em relação à abertura zenital.

Observa-se que a Transmitância Térmica da Cobertura - Ucob=1,84W/m².K (onde o mínimo admissível para obtenção do nível "A" seria de Ucob=1,00 W/m².K e Ucob=1,50 W/m².K para o nível "B" considerando o ambiente condicionado na ZB8), a Absortância das Coberturas - a=60% , (onde o para obtenção do nível "A" seria necessária a utilização de cor de Absortância solar baixa - menor que 50% do espectro solar para as zonas ZB2 a ZB8), e o Percentual de Abertura Zenital – PAZ=3,5% e Fator Solar – FS=0,83 (onde mínimo admissível para obtenção do nível "A", considerando o PAZ=3,5% existente, seria FS=0,52).

Tabela 3 – Quadro resumo da Agência Central dos Correios/ RJ

Pré-requisitos		
Ucob-AC	1,84	(W/m².K)
Ucob-ANC	0	(W/m².K)
Upar	1,44	(W/m².K)
CTpar	≥81	kJ/m².K
α cob	60	%
α par	25	%
PAZ	3,5	%

Dados dimensionais		
Atot	7148,95	m²
Apcob	1494,05	m²
Ape	1494,05	m²
Vtot	43428,95	m³
Aenv	5982,20	m²
FF	0,17	-
FA	0,21	-

Caracteristicas das aberturas		
FS	0,87	-
PAFt	23	%
PAFo	-	%

Fonte: produção do próprio ator

4.4 Análise Comparativa

Inicialmente vale destacar que os três edifícios analisados apresentaram um nível "A" de eficiência energética, apontado IC. No entanto, em relação aos pré-requisitos, as envoltórias não são consideradas energeticamente eficientes, principalmente as coberturas. A Agência Largo do Machado (1920) e o Ed. Sede (1980) obtêm a etiqueta "E". Enquanto a Agência Central (1878) obtém a etiqueta "C/D". Comparando-se, ainda, os dados da

Agência Largo do Machado aos do Ed. Sede, os dois apresentam valores de Transmitância térmica e de Absortância da cobertura acima do máximo recomendado. Porém, o segundo apresenta também a Absortância das superfícies das paredes acima do máximo recomendado. Assim, considerando as edificações com os materiais e instalações atuais, o método apontou a Agência Central (1878) como mais eficiente e o Ed. Sede (1980) como menos eficiente.

A tabela 4 abaixo apresenta os dados existentes dos edifícios em análise e os propostos para obtenção da etiqueta "A". O material construtivo proposto trata-se de sugestões para melhorar a eficiência energética das envoltórias.

Tabela 4 – Dados de Transmitância, Absortância e materiais existentes e propostos

	ENVOLTÓRIA					
	PAREDE					
	EXISTENTE			PROPOSTA		
	U(W/m².K)	α (%)	MATERIAL CONSTRUTIVO	U(W/m².K)	α (%)	MATERIAL CONSTRUTIVO
AGÊNCIA LARGO DO MACHADO (1920)	1,76	47	tijolos cerâmicos maciços (80%)-cor predominante: palha	*manter*	*manter*	*manter*
ED. SEDE (1980)	3,34	64	concreto e tijolo cerâmico furado (cor predominante: concreto)	*manter*	50	pintar na cor branca-os 10% de parede de cor preta
AGÊNCIA CENTRAL (1878)	1,44	25	pedra (80%)-cor predominante: branco	*manter*	*manter*	*manter*
	COBERTURA					
	EXISTENTE			PROPOSTA		
	U(W/m².K)	α (%)	MATERIAL CONSTRUTIVO	U(W/m².K)	α (%)	MATERIAL CONSTRUTIVO
AGÊNCIA LARGO DO MACHADO (1920)	2,06	89	telha ondulada de fibrocimento sobre laje macissa	2,0	50	telhas cerâmicas não esmaltadas
ED. SEDE (1980)	3,08	72	laje macissa de concreto 20cm-terraço do 3º pavimento e cobertura auditório	1,0	50	telhado vegetado intensivo-3º piso e telha metálica "sanduiche" na cor branca com 4cm de poliestireno e câmara de ar sobre laje - auditório
AGÊNCIA CENTRAL (1878)	1,84	60	telha francesa (80%) sobre laje macissa	1,0	50	inserção de lâmina de alumínio polido

ETIQUETA A
ETIQUETA B
ETIQUETA C/D
ETIQUETA E

Fonte: produção do próprio ator

O RTQ-C indica, prioritariamente, alterações nas coberturas dos edifícios, que serão propostas a seguir. Agência Largo do Machado: retirar as telhas onduladas de fibrocimento existentes e instalar telhas cerâmicas não esmaltadas; Ed. Sede: tratar as lajes de concreto (do terraço do 3º pavimento) com instalação de telhado vegetado intensivo e (da cobertura do auditório) de telha metálica "sanduiche" na cor branca (com 4cm de poliestireno e câmara de ar) sobre laje existente; e Agência Central: inserção de lâmina de alumínio polido na telha francesa existente. Sugere-se, ainda, uma pequena alteração de cor em 10% das paredes do Ed. Sede: a troca da cor preta por cor clara (de Absortância solar baixa a=25%).

Ainda, em relação ao método proposto pelo RTQ-C, considerando as reflexões realizadas ao longo das análises das edificações e a sistematização das recomendações, apontam-se algumas incompreensões em relação ao método. O IC, que demonstra como a envoltória irá impactar no consumo

de energia da edificação, utiliza dados reais da edificação como Área total construída (Atot); Área de projeção da cobertura (Apcob); entre outros. No entanto os pré-requisitos são genéricos para qualquer edificação. Logo, o impacto (na classificação do desempenho do edifício), de um telhado que cobre 30% das áreas de uma edificação é o mesmo de um que cobre 7%.

Tem-se como exemplo a Agência Largo do Machado que possui 3 pavimentos e Atot =1038,95m², onde as telhas onduladas de fibrocimento cobrem 27% da área total habitável do edifício (Apcob=282,94m²). Enquanto no Ed. Sede (que possui 26 pavimentos tipo e Atot=42.763,20m²) as lajes de concreto (do terraço do 3º pavimento e da cobertura do auditório) cobrem 6,5% da área do edifício. Logo, considerando os dados acima expostos, sugere-se uma reflexão sobre os pré-requisitos, de forma a possibilitarem resultados proporcionais às áreas, refletindo as dimensões das edificações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho avaliou a eficiência energética das envoltórias de três edificações da empresa Correios (com características similares quanto ao uso, porém diferenciadas quanto à tipologia, ao tamanho e à implantação), localizadas no Estado do Rio de Janeiro na ZB8. Foi desenvolvido um estudo comparativo de eficiência energética através de análises das envoltórias recomendadas pelo RTQ-C. O método utilizado apontou a Agência Central/RJ (1878) como mais eficiente e o Edifício Sede/RJ (1980) como menos eficiente. Esse resultado corrobora com a hipótese inicial que edificações construídas antes dos anos 1970 apresentam melhor eficiência energética.

A análise dos resultados do método RTQ-C, permitiu observar que as coberturas devem ser corrigidas para que os edifícios melhorem quanto à avaliação da eficiência energética. Ademais, considerando os resultados dos estudos de caso acima expostos, sugere-se uma reflexão sobre os pré-requisitos do RTQ-C.

REFERÊNCIAS

GAUZIN-MULLËR, D. **Arquitetura Ecológica**. São Paulo: Editora Senac, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª. ed.: PROCEL, ELETROBRÁS, MME, 2013.

MASCARÓ, Juan Luís (org.). **Sustentabilidade em urbanizações de pequeno porte.** Porto Alegre, Masquatro Editora, 2010.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Secretária de Logística e Tecnologia da Informação. **Instrução Normativa nº 02 de 4 de junho de 2014.**

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Instituto Nacional De Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO. **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010.**

PROCEL EDIFICA. **Manual para Aplicação do RTQ-C- Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ABSORTÂNCIA DE TELHAS CERÂMICAS NOVAS E DETERIORADAS PELA EXPOSIÇÃO ÀS INTEMPÉRIES: IMPACTO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES[1]

LOUZICH, Kellen Melo Dorileo (1); CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio (2); DURANTE, Luciane Cleonice (3); MARTINS, Ana Flávia Souza (4); ROSSETI, Karyna Andrade Carvalho (5); MARTINS, Wennder Tharso Oliveira (6)

(1) UFMT, e-mail: kellendorileo@gmail.com; UFMT, (2) e-mail: ivancallejas1973@gmail.com; (3) UFMT, e-mail: Luciane.durante@hotmail.com; (4) UFMT, e-mail: ana.flavia.martins@hotmail.com; (5) UFMT, e-mail: karyna.rosseti@gmail.com; (6) UFMT, e-mail: wenndermartins_93@hotmail.com

RESUMO

Ao longo do tempo, as telhas que compõem o sistema de cobertura vão sendo influenciadas pela ação da radiação ultravioleta e pelo acúmulo de sujeira e pó advindos da poluição urbana, sofrendo alteração em suas propriedades físicas de rugosidade e cor. Como consequência, materiais se tornam mais escuros e rugosos, promovendo alteração na sua absortância. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto proporcionado pelo envelhecimento das telhas cerâmicas (do tipo colonial) no desempenho térmico de uma edificação idealizada para conjuntos habitacionais de interesse social por meio de simulação computacional. As medições indicaram que as telhas novas (α=0,60) tiveram sua absortância elevada pela ação das interpéries (α=0,83) em 27,7%. A simulação computacional da edificação com dados de absortância avaliados indicou que houve alteração na classificação de desempenho térmico no dia típico de verão, de intermediário (I) (Ti,máx - 2° ≤ Te,máx) para mínimo (M) (Ti,máx ≤ Te,máx). O computo dos graus-horas anuais de resfriamento indicou que o processo de alteração da absortância das telhas ocasionou piora no desempenho térmico, com elevação de 2,7% em relação à edificação com telha nova.

Palavras-chave: Sistema de cobertura. Reabilitação. Simulação térmica.

ABSTRACT

Over time, the tiles that compose roofing system deteriorate by the action of ultraviolet radiation, by dust/ dirt accumulation and by urban pollution, which produce changes in its roughness and color physical properties. As a result, roof materials become darker and rougher, changing its absorbance. The objective of this study is to evaluate the impact provided by the aging of ceramic tiles (the colonial type) in the building thermal performance of low income house by computer simulation. The measurements indicated that the new tiles (α = 0.60) had their absorptance elevated by the environment degradation (α = 0.83) in approximately 27.7%. The building computer simulation indicated that level of thermal performance was reduced in the typical summer day, decreasing from intermediate (I) (Ti, max - 2°C ≤ Te, max) to minimum (M) (Ti max ≤ Te, max). The annual cooling degree-

[1] LOUZICH, Kellen Melo Dorileo; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; DURANTE, Luciane Cleonice; MARTINS, Ana Flávia Souza; ROSSETI, Karyna Andrade Carvalho; MARTINS, Wennder Tharso Oliveira. Absortância de telhas cerâmicas novas e deterioradas pela exposição às intempéries: impacto no desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

hours were elevated by the deterioration of ceramic tile in 2.7% over the building with new tile.

***Keyboards**: Building roof. Rehabilitation. Thermal simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Para os seres humanos, a edificação exerce funções primordiais dentre as quais se destaca a de proteção contra as mudanças ambientais e intempéries, como sol, chuva, ventos, neve, entre outros. Dentre os sistemas que compõem a edificação, aquele que mais fica exposto e que deveria merecer mais atenção é o da cobertura.

Em áreas onde a incidência da radiação solar é intensa, a cobertura serve como forma de proteção das áreas internas e também é a principal componente nos ganhos de calor das edificações. Exceções acontecem em edificações que apresentam grandes áreas de fachadas expostas, onde o sistema de vedação também contribui de forma considerável.

Segundo Dornelles (2008), a absortância é definida como a razão entre a energia que atinge uma superfície e a que é absorvida por ela. Esse valor varia de acordo com os materiais empregados em função de suas características físicas e influência diretamente na variação de temperatura experimentada por um corpo. Assim, quando se analisa o envelope das edificações, essa grandeza pode ser utilizada como um indicador de ganhos/ perdas de energias nos ambientes internos de uma edificação.

A exposição direta da edificação ao meio externo, causa ao longo do tempo a deterioração das telhas presentes na cobertura, em virtude da ação da radiação ultravioleta, do acúmulo de sujeira/pó e da ação da poluição urbana, desencadeando assim alteração das propriedades físicas de rugosidade, de ondulação e de cor deste sistema construtivo. Em decorrencia disso, constata-se que a absortância dos componentes da cobertura sofrem alteração, podendo este parâmetro ser elevado ou diminuido, dependendo do tipo de degradação sofrida. A mudança dos níveis de absortância impactará nos ganhos e perdas de calor através da cobertura, alterando a temperatura interna da edificação e, desta forma, influenciando o conforto ambiental dos ambientes internos, bem como os gastos de energia para resfriamento/ aquecimento artificial.

A alteração da absortância está intimamente ligada à facilidade de aderência da sujeira sobre a superfície do componente, da sua capacidade de limpeza com a incidência de chuvas, bem como relacionada à sua rugosidade superficial, sendo este um fator responsável pelo acúmulo de sujeira sobre a superfície (DORNELLES e SICHIERI, 2014; SEKER e TAVIL,1996). Estes aspectos demonstram a necessidade de se realizar manutenções periódicas no sistema de cobertura, sendo a mais simples por meio de esfregamento, utilizando detergente ou alvejante, conforme sugerido por Akbari et al. (2005). Destaca-se que dependendo do tipo da manutenção aplicada, é possível restabelecer entre 90 e 100% de sua absortância original (PEREIRA, 2014).

É importante mencionar que a manutenção das telhas reduz a sua rugosidade, sendo esta responsável pela inter-reflexão da radiação

incidente sobre a superfície, o que aumenta a quantidade de energia radiante absorvida (RORIZ, 2007). A cor de uma superfície tem forte relação com a propriedade de absortância, sendo que quanto mais clara, menor será a sua absortância.
Destaca-se que, o acúmulo de materiais sobre as superfícies e a proliferação de fungos e musgos devido a presença de umidade nos materiais, tendem a modificar a cor e a rugosidade dos elementos do sistema de cobertura, elevando a sua absortância ao longo do tempo. Diante desta constação, indaga-se qual possa ser o impacto ocasionado pela modificação desta propriedade no desempenho térmico de um edifício.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto ocasionado pelo envelhecimento das telhas cerâmicas do tipo colonial no desempenho térmico de uma tipologia arquitetônica idealizada para conjuntos habitacionais de interesse social (HIS)do Programa Minha Casa por meio de simulação computacional, conforme os procedimentos da NBR 15575 (2013a) e RTQ-R (graus-horas) (RTQ-R, 2010).

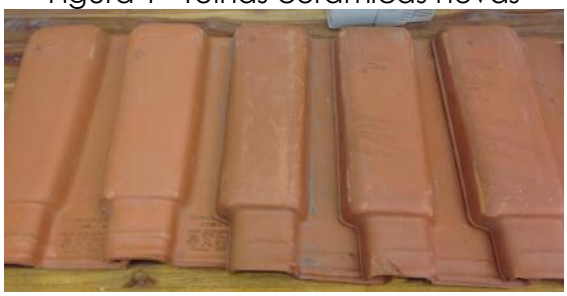
3 MATERIAIS e MÉTODO

O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira refere-se a medição da absortância em exemplares de telhas novas e degradadas pela ação das intempéries. A segunda, refere-se a simulação realizada no programa EnergyPlus (DOE, 2016). Os valores médios encontrados para a absortância das telhas, na primeira etapa, serviram de base para alterar a absortância no infravermelho, no solar e no visível, nas propriedades do material das telhas utilizadas na simulação computacional.

3.1 Medição da Absortância

Foram selecionados cinco exemplares do modelo de telhas novas do tipo romana comumente encontradas no mercado (Figura 1) e de telhas romanas deterioradas pela ação das interpéries, que apresentavam em diferentes graus de degradação, com mais de 20 anos de uso, de forma a se obter uma representatividade do efeito da ação das intempéries (Figura 2).
Foram realizadas medições com o auxílio do aparelho denominado de *Alta Reflectance Spectrometer* fabricado por Venier Software Tecnology (Figura 3). O aparelho possibilita a medição de refletancias correspondentes a radiações em onze diferentes comprimentos de onda entre 470 e 940nm (nanômetros), dos quais sete destes comprimentos de onda são na região visível: 470nm (Blue), 525nm (Cyan), 560nm (Green), 585nm (Yellow), 600nm (Orange), 645nm (Red), 700nm (Deep Red) e quatro se encontram na região do infravermelho: 735nm (IR1), 810nm (IR2), 880nm (IR3) e 940nm (IR4). A abortância foi determinada a partir da refletância, subtraindo-se a unidade.

Figura 1– Telhas cerâmicas novas



Fonte: Os Autores

Figura 2 – Telhas cerâmicas degradadas



Fonte: Os Autores

De acordo com Pereira et al. (2016), as curvas espectrais dos equipamentos ALTA II alcançaram uma boa aproximação com a curva e valores de referência obtidos com espectrofotômetro, considerando os onze comprimentos de onda do aparelho (470 a 940nm). Entretanto, ao se comparar a refletância solar total obtida por meio do mesmo equipamento, de 300 a 2500nm, observou-se uma incerteza máxima absoluta na ordem de 10% entre os aparelhos.

Figura 3 – Alta Reflectance Spectrometer



Fonte: http://www.vernier.com/products/sensors/spectrometers/alta/

3.2 Caracterização da edificação simulada

O modelo adotado para as simulações se constitui de uma tipologia arquitetônica idealizada para conjuntos habitacionais de interesse social (HIS) do Programa Minha Casa, Minha Vida que já se encontra construída na região da zona bioclimática 7, sendo o seu modelo amplamente utilizado em várias regiões bioclimáticas brasileiras.

O sistema construtivo é composto por paredes de tijolos cerâmicos de oito furos com dimensões de 9x19x19cm, assentados na menor dimensão (meia vez), revestidos com argamassa externa e interna de 2,5cm de espessura e com argamassa de assentamento de 1cm de espessura. O sistema de cobertura é composto por telhas cerâmicas do tipo romana, idênticas as utilizadas na avaliação da abortância. O piso é de concreto desempenado, a cobertura de telha cerâmica em duas águas com forro de PVC, portas externas de aço e portas internas de madeira. As paredes têm acabamento externo no tom bege claro e as internas na cor branca. As janelas dos

quartos e da sala não possuem vidro, somente venezianas. As janelas da cozinha são em vidro transparente, sem proteção solar específica. A implantação da residência afastada dos limites do terreno permite que haja aberturas em todas as laterais (Figura 4). A planta baixa e cortes da edificação que apresenta área construída igual a 38,70m^2 podem ser visualizados nas Figuras 5 e 6.

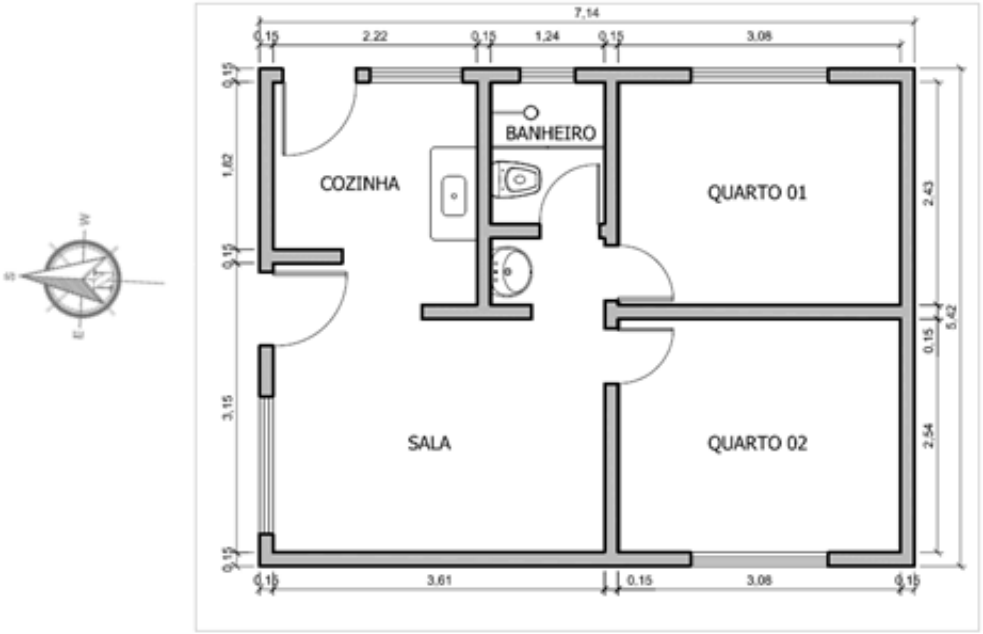
Como se objetiva comparar os sistemas de cobertura com diferentes tipos de componentes (telhas novas e degradas), as propriedades físicas das absortâncias medidas por meio do aparelho *Alta Reflectance Spectrometer* foram substituídas no programa de simulação (EnergyPlus), sendo que os demais elementos da envoltória (cobertura) foram modelados de forma idêntica em ambas as simulações computacionais.

Figura 4 – Foto da edificação utilizada na avaliação de desempenho térmico



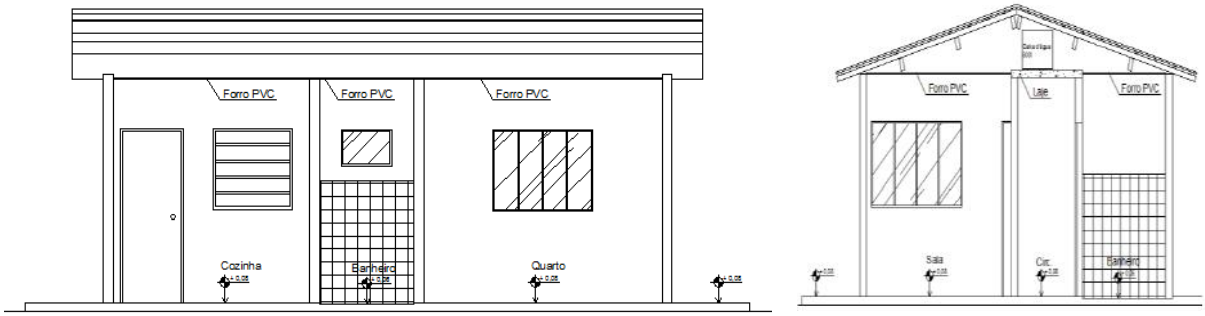
Fonte: Os autores

Figura 5 – Planta baixa da HIS



Fonte: Os autores

Figura 6 – Cortes da HIS simulada



Fonte: Os autores

3.3 Modelagem e Simulação

A avaliação do desempenho térmico da HIS com os diferentes tipos de telhas no sistema de cobertura foi realizada por meio de simulações computacionais com o programa EnergyPlus, utilizando-se de um banco de dados climático para a zona bioclimática 7 (Cuiabá-MT). Adotou-se para a simulação o ano típico de referência (TRY), arquivo climático obtido no sitio www.procelinfo.com.br/etiquetagem edifícios, conforme recomendação do Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R, 2010).

Na etapa de modelagem da HIS, utilizou-se o Plug-in OpenStudio para a edição e visualização em maquete eletrônica no programa SketchUp8. Para o desenho em 3D, o programa considera os elementos de construção sem suas espessuras, as quais serão adicionadas, como informações numéricas para os cálculos, diretamente no EnergyPlus 8.1. A tipologia foi modelada conforme a planta-baixa apresentados na Figura 5, sendo que as superfícies que representam as paredes externas foram desenhadas nos limites externos, as que representam as paredes internas, no eixo da parede de divisão entre os ambientes. Foram modeladas cinco zonas térmicas: quarto 1, quarto 2, banheiro, sala-cozinha e ático da cobertura, conforme critério estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Para subsidiar as análises, determinaram-se as propriedades físicas e térmicas dos componentes da edificação, com painel de blocos cerâmicos revestidos externa e internamente e sistema de cobertura em telha cerâmica, seguindo as orientações previstas nos procedimentos de cálculo estabelecidos pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Características termofísicas dos materiais da edificação.

Características inseridas	**Cerâmica (Tijolo)**	**Cerâmica (Telha)**	**Argamassa**	**PVC**
Rugosidade	Áspero	Áspero	Áspero	Liso
Espessura (m)	0,09	0,01	0,015	0,01
Condutividade (W/mK)	0,55	0.9	1,15	0,2
Densidade (Kg/m³)	1600	1600	2000	1300
Calor Específico (J/kgK)	920	920	1000	960
Absorção térmica, solar e visível	0,85; 0,75; 0,75	Tabela 3	0,85; 0,3; 0,3	0,9; 0,2; 0,2

Fonte: Autores

Tabela 2 – Transmitância térmica dos componentes da edificação.

Componen-tes	**Composição**	**α (absortân-cia solar)**	**Transmitância** (W/m².K)	**Fator solar** FSo = 4.U.α	**Capacida-de Térmica** (kJ/ m².K)	**Atraso térmico** (φ,horas)
Parede – tinta látex PVA Fosca - cor marfim	Argamassa (2,5cm) + Tijolo (9x19x19cm) + Argamassa (2,5cm)	0,30	2,49	2,95	158	3,30h
Cobertura	Telha Cerâmica + ar (> 5cm) + PVC (1cm)	Conforme Tabela 3	1,75	5,25	21	0,52h
Piso	Radier concreto (10cm)	0,75	3,33	Não aplicável	240	Não aplica-vel

Fonte: Autores

Para atender o critério da NBR 15575-Parte 4 (ABNT, 2013b), a absortância à radiação solar das superfícies das paredes foi considerada na cor clara com α = 0,3, apesar de que a cor em que a edificação foi pintada (bege) já atendia essa condição.

Como a edificação foi implantada em várias orientações no condomínio, na simulação computacional da edificação seguiu-se o critério estabelecido na NBR 15575-Parte 1 (ABNT, 2013a) que indica que devem ser simulados os recintos de permanência prolongada (sala de estar e dormitórios) na orientação geográfica mais crítica do ponto de vista térmico, que para no verão a janela do cômodo fique voltada para oeste e a outra parede exposta fique voltada para norte, condição esta encontrada no quarto 1 da edificação.

Não foram considerados sombreamentos visto que a referida norma prescreve que as paredes e janelas devem estar totalmente desobstruídas.

Foi considerada na simulação a condição de ausência de ocupação, portas e janelas fechadas e ventilação natural padrão estabelecida para os ambientes (inclusive ático), ou seja, ocorrendo apenas pelas frestas com 1 taxa de renovação de ar por hora (1 ren/h).

Foram adotados os parâmetros de coeficiente de rugosidade do entorno (a), de coeficientes de pressão superficial (CP), de coeficiente de descarga (CD) e de coeficiente do fluxo de ar por frestas (CQ), indicados pelo RTQ-R (BRASIL, 2010), referentes a esta condição. As áreas de abertura das janelas atendem o requisito de percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A) deve ser superior a 5%.

3.4 Avaliação de desempenho térmico – NBR 15575 e RTQ-R

A verificação da adequabilidade da edificação ao clima da região (zona bioclimática 07) é passível de ser feita pelos procedimentos normativos da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), bem como pelo procedimentos estabelecidos no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2010). Ambos serão adotados

para avaliação do desempenho térmico da edificação pesquisada.

A avaliação da edificação habitacional, considerando o desempenho térmico, deve atender aos requisitos do usuário quanto à permanência nos ambientes. Assim, os critérios de avaliação para as condições de verão segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), considerando os níveis de desempenho mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) são as apresentadas na Tabela 3, em função da temperatura do ar interna (do ambiente) e da temperatura externa do ar (CBIC, 2013).

Tabela 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para a ZB07

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	T_i, máx ≤ T_e, máx	T_i, máx ≤ T_e, máx
I	T_i, máx ≤ (T_e, máx. – 2°C)	T_i, máx ≤ (T_e, máx. – 1°C)
S	T_i, máx ≤ (T_e, máx. – 4°C)	T_i, máx ≤ (T_e, máx. -2°C) e T_i, mín ≤ (T_e, mín. +1°C)

Sendo: M, I e S: Nível de desempenho Mínimo, Intermediário e Superior; Te, Máx e Ti, máx: Temperatura externa e interna máxima no dia típico de verão (°C)

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Já o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2010) estabelece que a análise do desempenho térmico seja feita através do cálculo de graus-hora de resfriamento de cada ambiente de permanência prolongada da edificação habitacional. Esse indicador representa o somatório anual de graus-hora, calculado a partir da temperatura de base de 26°C para resfriamento conforme recomendação do próprio RTQ-R (BRASIL, 2010), sendo o cálculo realizado através da temperatura operativa do ambiente (obtida na simulação) quando esta se encontra acima da temperatura de base conforme apresentado na Equação 1.

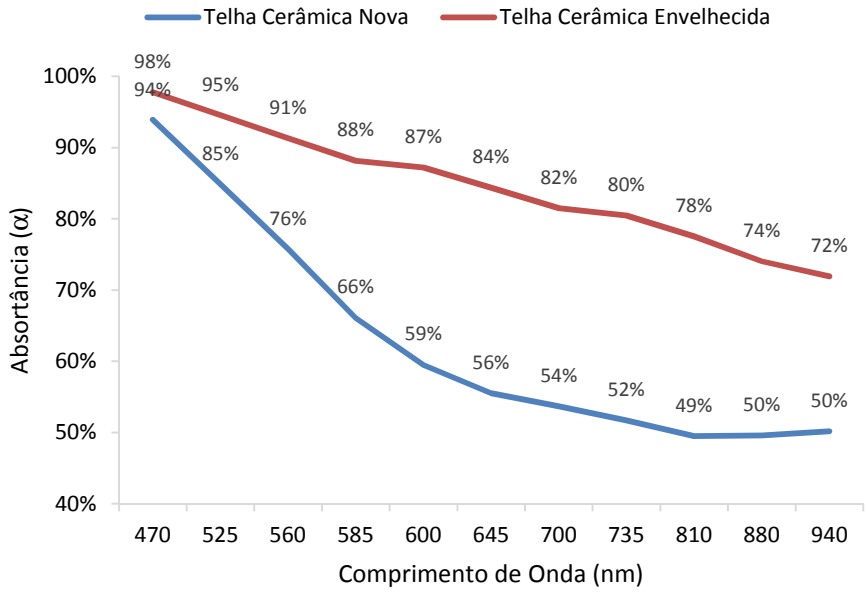
$$GH_R = \sum_{i=0}^{8760} \begin{cases} se\ Ti > 26; & (Ti - 26) \\ se\ Ti \leq 26; & (0) \end{cases} \quad (1)$$

Em que GHR representa graus-hora de resfriamento anual (°Ch) e Ti a temperatura operativa em cada uma das 8.760 horas do ano (°C). O quarto 1 em planta foi o ambiente escolhido na analise visto que este apresentou o pior desempenho térmico na edificação avaliada.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao se analisar a abortância das telhas novas e deterioradas, observa-se ação das interpéries provocou elevação da absortância em todos os comprimentos de onda pesquisados (Figura 6). As maiores elevações foram verificadas nos comprimentos de onda do laranja, vermelho, vermelho profundo e região do infravermelho (elevação média ~ 27%).

Figura 6 - Absortâncias em porcentagens das Telhas Cerâmicas



Fonte: Os Autores

Os valores médios das absortâncias foram determinados para a região do espectro solar, do visível e do infravermelho (Tabela 4). Assim como relatado anteriormente, constata-se que as telhas deterioradas pela ação das interpéries tiveram sua absortância elevada em 27,7% pela modificação da sua cor e rugosidade. Os resultados encontrados para as telhas cerâmicas novas estão de acordo com os apresentados por Bonin e Pezzuto (2013) que encontram valores de absortancia variando entre 60 a 75%.

Tabela 4 - Valores médios das Absortâncias das amostras das telhas cerâmicas.

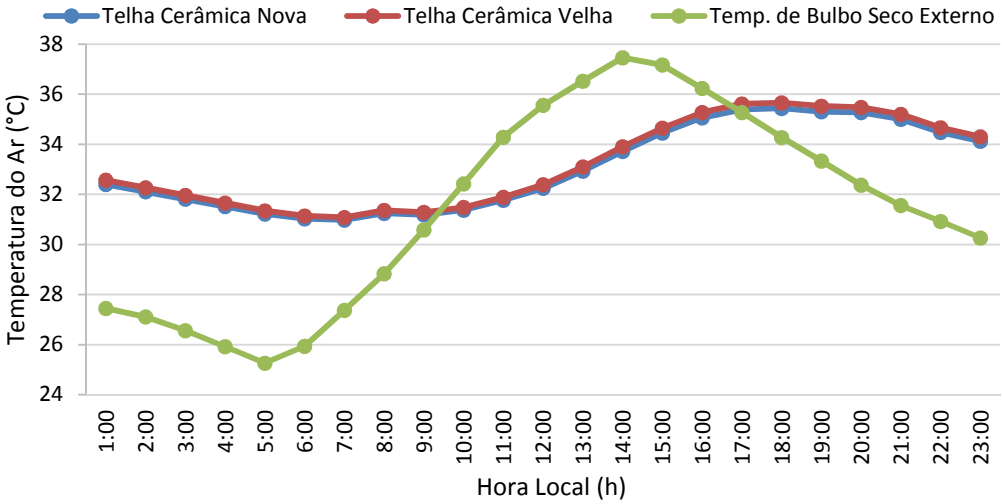
	Telha Cerâmica Nova	Telha Cerâmica Velha
Infravermelho (735-940nm)	0,50	0,76
Visível (470-700nm)	0,67	0,87
Total (solar) (470-940nm)	0,60	0,83

Fonte: Os Autores

Os valores determinados para as absortância foram introduzidas no programa de simulação computacional com intuito de captar o impacto ocasionado pela degradação das telhas pela ação das interpéries.
A variação de temperatura interna durante dia típico de verão indicou que a edificação com telha nova no sistema de cobertura apresenta melhor desempenho térmico durante todo o dia típico em relação a edificação com telha cerâmica envelhecida, apesar da diferença ser pequena (Figura 7). Os picos de temperatura do ar no quarto 1 na tipologia com telha nova e envelhecida foram de 35,4°C e 35,7°C, ocorrendo ambas às 18h, indicando

que há um atraso térmico em relação ao pico da temperatura do ar externa de 4 horas. Logo, constata-se que a edificação com telha nova apresentou menor temperatura máxima interna do que a com telha envelhecida (~0,3°C). No dia típico de verão, as reduções da temperatura do ar interna em relação à temperatura externa foram de 2,1°C e 1,8°C nas edificações com telhas novas e envelhecidas respectivamente, indicando que, em virtude da deterioração das telhas, o desempenho da edificação que era intermediário (I) passou a ser mínimo (M) (Tabela 3).

Figura 7 – Comportamento no dia típico de verão para a habitação

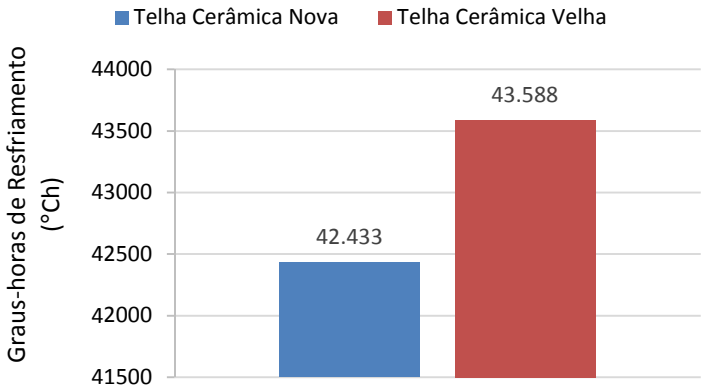


Fonte: Os Autores

O computo dos graus-horas de resfriamento indicou que, anualmente, a habitação com telha nova e envelhecida apresentou 42.433°Ch e 43.588°Ch, respectivamente (Figura 8), o que demonstra que a deteriorização da telha ocasiona piora no desempenho térmico de 2,7% em relação à edificação com telha nova.

Apesar de pequena, esse comportamento implica em elevação no consumo de energia para refrigeração, caso os ambientes de permanecia prolongada venham a ser condicionados. Os elevados valores de graus-horas de resfriamento anual decorrem do fato da edificação ter sido modelada conforme prescrição da NBR 15575 (ABNT, 2013c) que estabelece que a edificação seja simulada na condição de ausência de ocupação, portas e janelas fechadas e ventilação natural padrão estabelecida para os ambientes (inclusive ático), ocorrendo apenas pelas frestas com 1 taxa de renovação de ar por hora.

Figura 8 - Graus-horas de resfriamento anual



Fonte: Os Autores

5 CONCLUSÕES

A analise a abortância das telhas novas e deterioradas indicou que a ação das interpéries foi capaz de provocar elevação da absortância em todos os comprimentos de onda pesquisados. Com resultado, tem-se a telha envelhecida apresentou elevação na absortância total de 27,7% em virtude da modificação de sua cor e rugosidade superficial.

Em virtude deste fato, houve piora do desempenho térmico no dia típico de verão, fazendo com que o desempenho da edificação segundo a NBR 15575 que era intermediário (I) ($T_{i,máx}$ - 2° ≤ $T_{e,máx}$) passasse a ser mínimo (M) ($T_{i,máx}$ ≤ $T_{e,máx}$). O computo dos graus-horas de resfriamento indicaram que a deteriorização das telhas cerâmicas ocasionaram piora o desempenho térmico em termos de graus-horas de resfriamento de 2,7% em relação a edificação com telha nova.

Apesar da variação ser pequena, esse comportamento implica em elevação no consumo de energia para refrigeração, caso os ambientes de permanecia prolongada venham a ser condicionados. Por outo lado, a incerteza na medição é da ordem de 10%, o que implica em dizer que absortância média da telha nova está compreendida entre 50 à 70%, enquanto o da telha envelhecida entre 73 à 93%. Considerando a hipótese de que a absortância da telha nova seja 50% e a da telha deteriorada 93%, os efeitos da deterioração pela exposição às intempéries no desempenho térmico seriam mais elevados, o que justifica a pesquisa e sua continuidade.

Para trabalhos futuros, vislumbra-se a possibilidade de avaliar o desempenho térmico da edificação com outros tipos de telhas, realizando simulações das telhas de concreto e fibrocimento envelhecidas com o intuito de avaliar os desempenhos térmicos e graus-horas de resfriamento das edificações entre estes tipos de componentes no sistema de cobertura.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PIBIC/UFMT e a FAPEMAT pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AKBARI, H. ; BERHE, A. A. ; LEVINSON, R. ; GRAVELINE, S. ; FOLEY, K. Aging and weathering of cool roofing membranes. **Report LBNL-58055.** Berkeley: Lawrence Berkeley. National Laboratory, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

BONIN, T. PEZZUTO, C. C. **Medição da refletância e análise de sua influência nos materiais de cobertura.** Anais do XVIII Encontro de Iniciação Cientifica e Anais do III Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovador, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2013.

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), **Portaria 449, de 25 de Novembro de 2010**, Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, Rio de Janeiro, 2010, Disponível em:< http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/ RTAC 001462. pdf> Acesso em: 03 Ago, 2015.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edicações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: <http://www.energy.gov/> Acesso em: maio 2016.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: **Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 160 f. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Construção, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

DORNELLES, K. A ; SICHIERI, E. Efeitos do intemperismo natural sobre a refletância de tintas brancas para coberturas. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2014, Maceio. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2014. p. 1004-1013.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações.** 2014. 185 f. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnologico.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.; GHISI, E. **Relatório de avaliação do espectrômetro portátil ALTA II**. Relatório de Pesquisa, CB3E, 2015. Disponível: http://www.cb3e.ufsc.br/publicacoes Acesso em: junho 2016.

RORIZ, V. F. **Refrigeração evaporativa por aspersão em telhas de fibrocimento**: estudo teórico e experimental. 2007. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2007.

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. Ü. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, v. 31, n. 4, p. 393-398, 1996.

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO, VISUAL E ACÚSTICO EM UMA SALA DE ESCRITÓRIO NATURALMENTE VENTILADA EM FLORIANÓPOLIS (SC)[1]

DE QUADROS, Bianca M. (1); VON MEUSEL, Marina (2); PASSOS, Bruno A. (3)

(1) UFSC, e-mail: bianca@labcon.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: mvonmeusel@yahoo.com.br; (3) UFSC, e-mail: brunoaiedpassos@gmail.com

RESUMO

Abertura na fachada que permita a entrada da ventilação natural apresenta-se como uma das principais estratégias adotadas para garantir o conforto térmico e reduzir o consumo de energia das edificações. No entanto, além do conforto térmico, a qualidade do ambiente interno está relacionada ao conforto visual e acústico. Diante disto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre as condições de conforto térmico, visual e acústico em uma sala de escritórios ventilada naturalmente por uma abertura unilateral em Florianópolis-SC. Para isto, foram analisados dados quantitativos por meio de medições in loco. Os critérios de avaliação foram baseados nas normativas brasileiras. Os resultados obtidos pela avaliação do conforto térmico classificaram o ambiente como termicamente aceitável pelo modelo adaptativo. As iluminâncias levantadas apontaram que a combinação entre iluminação natural e artificial são determinantes para alcançar os níveis de iluminação recomendados nas superfícies de trabalho. Por outro lado, a medição feita com as janelas abertas confirmou a presença de desconforto acústico causado pelo ruído proveniente do tráfego de veículos. Conclui-se que a abertura unilateral adotada no escritório garante o conforto térmico e visual para o período das medições, porém compromete o conforto acústico.

Palavras-chave: Conforto térmico. Conforto visual. Conforto acústico. Ventilação natural. Sala de escritório.

ABSTRACT

Opening in the facade that allow the entry of natural ventilation is one of the most adopted strategy to ensure thermal comfort and to reduce energy consumption in buildings. However, beyond the thermal comfort, the environmental quality also concerns acoustic and visual comfort. In this way, the present work intends to evaluate the relationship between thermal, visual and acoustic conditions in an office room naturally ventilated by a unilateral opening in Florianópolis-SC. For this, quantitative data were analyzed using measurements in loco. The evaluation criteria was based on Brazilian regulations. The results obtained by evaluation of thermal comfort classified the environment as thermally acceptable by the adaptive model. The raised illuminances pointed out that the combination of natural and artificial lighting are crucial to achieving the recommended levels of illumination on work surfaces. On the other hand, the measurement made with the windows opened confirmed the presence of the acoustic discomfort caused by noise from the vehicle traffic. In conclusion, the unilateral opening adopted in the office room ensures thermal and visual comfort for the period of measurements,but compromises the acoustic comfort.

***Keywords**: Thermal comfort. Visual comfort. Natural ventilation. Office room.*

[1] DE QUADROS, Bianca M.; VON MEUSEL, Marina; PASSOS, Bruno A. Avaliação das condições de conforto térmico, visual e acústico em uma sala de escritório naturalmente ventilada em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A principal função da envoltória da edificação é garantir o conforto térmico, visual e acústico por meio do controle da temperatura, ventilação, iluminação e ruído. Atualmente, outro objetivo deve ser a redução do consumo de energia sem comprometer a qualidade ambiental (Oral et al., 2004).

Salas de escritórios são locais onde atividades de leitura e escrita no computador tomam a maior parte do tempo do cotidiano dos usuários. Para facilitar o desenvolvimento destas atividades, o ambiente interno deve atender aos níveis de conforto estabelecidos pelas normativas. Rozenfeld e Forcellini (2006) aponta entre as causas do baixo desempenho nos espaços de trabalho o desconforto causado por fatores ambientais como iluminação, temperatura, qualidade do ar e ruídos. Iida (2005) destaca que as condições ambientais dos espaços de escritórios são capazes de gerar tensão e estresse aos usuários e afetar o rendimento dos trabalhadores.

Os fatores que influenciam o conforto dos usuários estão interconectados, por isso é importante dar atenção à qualidade do ambiente como um todo. Por exemplo, uma iluminação insuficiente resulta em problemas de concentração, mesmo que não haja problemas com a temperatura do ar, ventilação ou ruído, assim como a falta de ventilação pode causar dores de cabeça e fadiga, mesmo que a iluminação esteja adequada (Mihai e Iordache, 2016).

Abertura na fachada que permita a entrada da ventilação e iluminação natural apresenta-se como uma das principais estratégias adotadas para garantir o conforto térmico e visual, reduzindo o consumo de energia. Além disso, janelas também possuem comprovados benefícios psicológicos por permitir acesso à paisagem externa (Menzies e Wherrett, 2005). No entanto, a abertura das janelas pode causar desconforto pelo aumento do ruído proveniente do meio externo, comprometendo a produtividade dos usuários.

Diante disto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre as condições de conforto térmico, visual e acústico em uma típica sala de escritório com ventilação natural unilateral em Florianópolis-SC.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização do ambiente

A seleção do ambiente avaliado considerou a premissa de representar uma típica sala de escritório em Florianópolis (SC), devendo assim, estar inserida em uma rua com tráfego intenso de veículos e possuir no mínimo uma abertura na fachada para ventilação natural.

O escritório escolhido está localizado no sexto andar de um edifício de 12 pavimentos em uma avenida importante do município. A Figura 1apresenta a planta baixa e corte com as dimensões e área útil da sala. Todas aberturas estão voltadas para a fachada sudeste do edifício. A porta de acesso à sala

está no lado oposto juntamente com o banheiro. No total a sala apresenta seis postos de trabalho, sendo quatro de frente para as janelas e dois de costas para as janelas.

Figura 1. Planta baixa e corte da sala de escritório.



Fonte: Os autores.

O horário de funcionamento do escritório é das 08hs às 19hs, período em que foram feitas as medições desta pesquisa. Em um dia de trabalho, há uma troca dos funcionários no turno da manhã e tarde. Com isto, a sala costuma ser ocupada por cinco a seis usuários por turno. Estes têm a liberdade para controlar as condições térmicas do ambiente por meio de mecanismos como: persianas, porta para a circulação, ar condicionado e janelas operáveis com películas.

2.2 Medições

2.2.1 Conforto Térmico

Para a determinação de condições de conforto no ambiente escolhido, fora adotado o modelo adaptativo (ASHRAE 55, 2010), que se aplica a ambientes naturalmente condicionados, onde as janelas podem ser operadas pelos ocupantes de acordo com suas necessidades. Os pré-requisitos ao ambiente para a realização deste método são: sistema de condicionamento artificial mecânico inoperante, ocupantes devem desenvolver atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met. e podem variar a sua vestimenta em uma faixa de 0,5 – 1,0 clo e a temperatura média predominante do ar externo deve estar dentro do intervalo de 10 °C e 33,5 °C.

Para isto, foram medidas (temperatura do ar, temperatura radiante, e velocidade do ar) e calculadas (temperatura operativa) as variáveis térmicas.

O termômetro de globo foi instalado em um ponto central da sala para maior aproximação da sensação geral dos usuários nos postos de trabalho. No caso do ambiente de escritórios, onde as pessoas costumam permanecer sentadas, localizaram-se todos os equipamentos à aproximadamente 0,6 m do chão, na altura da cintura dos usuários. Para determinar o valor da temperatura média radiante, primeiramente fez-se necessário calcular o coeficiente de troca de calor por convecção do globo. Neste caso, todas as trocas de calor ocorrem por convecção natural, sendo adotada a seguinte equação (1) para determinar a temperatura média radiante:

$$tr = \sqrt[4]{(tg + 273)^4 + (0{,}4 \,.\, 10^8)\sqrt[4]{|tg - ta|}.(tg - ta)} - 273 \qquad (1)$$

Por se tratar de um estudo experimental, as medições foram realizadas em um dia com condições de temperaturas amenas. Com relação ao conforto térmico, as medições foram realizadas no dia 21 de julho no período matutino, das 10hs50min às 12hs50min e no período vespertino, das 15hs30min às 17hs30min.Os dados foram coletados a cada 20 minutos.

2.2.2 Conforto visual

O espaço em análise apresenta as seguintes fontes de iluminação natural e artificial: janelas operáveis com vidro de controle solar; dispostas na superfície sudeste e duas luminárias embutidas no forro de gesso. Cada luminária apresenta refletores e aletas em alumínio anodizado e possui 128W de potência instalada.

A partir da verificação das fontes de iluminação, prosseguiu-se com as medições dos níveis de iluminância do ambiente interno que seguiu os parâmetros estabelecidos pela normativa NBR15215-4 – Iluminação Natural – Parte 4 (ABNT, 2004). Os níveis de iluminância foram obtidos com o auxílio de um luxímetro e a representação dos dados coletados foi realizada com curvas isolux no programa *Surfer (Golden Software, 2012).*

Para a realização das medições foi necessária a elaboração de uma malha de pontos no ambiente estudado. A determinação do número de pontos considerou a Equação 2, onde "K" é o índice do local e foi determinado pela Equação 3.

$$\text{Nº mínimo de pontos} = (\text{K} + 2)^2 \qquad (2)$$

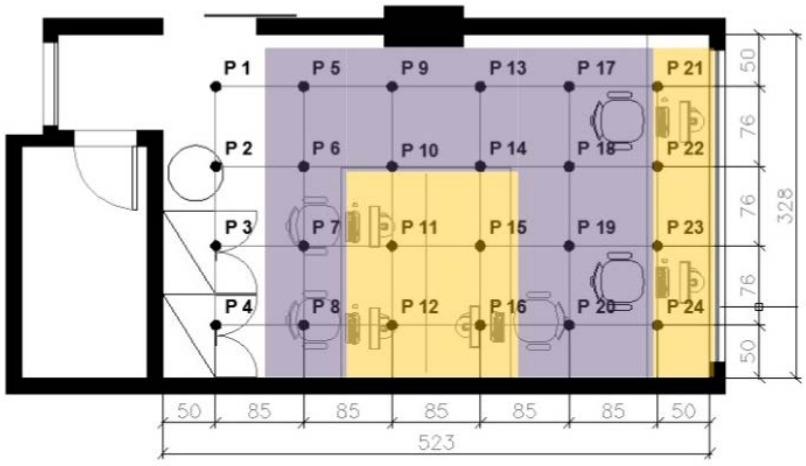
$$\text{K} = \frac{\text{C.L}}{\text{Hm} \,.\, (\text{C+L})} \qquad (3)$$

Sendo: "L" a largura do ambiente em metros; "C" o comprimento do ambiente em metros e "Hm" a distância vertical em metros entre o plano de trabalho e o topo da janela.

Apesar do resultado do cálculo apontar o mínimo de 10 pontos, adotou-se uma malha com 24 pontos de modo a abranger todos os postos de trabalho, conforme ilustra a Figura 2. Os pontos foram demarcados no espaço e o luxímetro foi posicionado a 75cm do chão, correspondente à altura das superfícies de trabalho.

Devido ao entorno adensado e com edificações verticalizadas, o ambiente não recebe radiação solar direta. Desta forma, as medições foram realizadas em horários aleatórios. Foram realizadas três medições que consideraram diferentes condições de iluminação: somente natural às 15h; artificial e natural às 15hs30min e somente artificial às 20h.

Figura 2- Planta baixa setorizada em plano de trabalho (amarelo) e entorno imediato (roxo)



Fonte: Os autores.

2.2.3 Conforto acústico

Primeiramente, foram feitas observações prévias onde constatou-se que o tráfego de veículos na via de acesso ao edifício poderia comprometer o conforto acústico dos usuários. O critério de escolha do período de medição considerou um horário de trânsito intenso durante o período de trabalho. Desta forma, as medições foram realizadas em um dia da semana às 18hs. As condições ambientais eram favoráveis, sem haver interferências adversas como ventos fortes, temperaturas extremas, precipitações, entre outros. Para as medições foi utilizado o modelo de medidor de nível de pressão sonora LUTRON SL-4001.

Conforme ilustra a Figura 3, as medições foram executadas no ambiente externo e interno. No ambiente externo, foram localizados 3 pontos, sendo 2 nas extremas do edifício e 1 ponto central. Os pontos foram afastados 3 m da fachada frontal do edifício e a uma altura de 1,2m do piso.

No ambiente interno, as medições também foram executadas por 3 pontos distribuídos linearmente. Sendo, um ponto central e dois pontos no limite de afastamento de 1m das paredes, de modo a atender a recomendação da NBR 10151 (ABNT, 2000). Os pontos foram posicionados a pelo menos 1 m de distância das paredes, teto e piso e a pelo menos 0,5 m de distância entre si.

A medição dos níveis de pressão sonora do ambiente interno foi feita na ausência dos usuários da sala para devida identificação do ruído de fundo. Para simular situações do cotidiano do escritório, as medições foram efetuadas em duas situações: janelas abertas e janelas fechadas. A seleção do tempo de amostragem foi definida de modo a abranger as variações sonoras significativas do ambiente de estudo. O tempo de amostragem em cada um dos pontos foi de 1 minuto.

O equipamento utilizado não possui a função de medição automática da Pressão Sonora Equivalente (LAeq). Por isto, foi aplicada a Equação 4 do método alternativo para a determinação do Laeq (ABNT, 2000).

$$\text{Laeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} 10^{\frac{Li}{10}} \quad (4)$$

Onde, Li é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5segundos, durante o tempo de medição do ruído; n é o número total de leituras.

Figura 3. Pontos de medição no ambiente externo e interno.



Fonte: Os autores.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Conforto térmico

Como se pode observar na tabela 1, a temperatura do ar interno apresentou pouca variação com máximas de 23,3 e 23,7°C e mínimas de 21,2 e 23,3°C durante a manhã e tarde, respectivamente. Durante o período matutino, a temperatura média radiante registrou valores relativamente constantes entre 19,9 e 21,1°C. No período vespertino, a temperatura média radiante apresenta maior variação com valores entre 20,5 e 23,3°C.

Tabela 1– Resultados das medições no período matutino e vespertino.

Data	Tmpaext (°C)	Hora	Vel. Ar (m/s)	Temp. Ar (°C)	Tmr (°C)	To (°C)
21/07/2014	15,3	Período matutino				
		10:50	0,01	23,3	21,1	22,2
		11:10	0,02	21,2	19,9	20,5
		11:30	0,00	21,6	20,0	20,8
		11:50	0,00	21,8	20,2	21,0
		12:10	0,01	21,8	20,4	21,1
		12:30	0,00	22,0	20,6	21,3
		12:50	0,00	22,2	20,8	21,5
		Período vespertino				
		15:30	0,01	23,7	23,3	23,5
		15:50	0,00	23,5	22,0	22,8
		16:10	0,02	23,3	20,5	21,9
		16:30	0,01	23,3	22,9	23,1
		16:50	0,03	23,3	22,1	22,7
		17:10	0,00	23,7	22,8	23,3
		17:30	0,00	23,6	23,1	23,4

Fonte: Os autores.

Para a determinação da temperatura média predominante do ar externo, tomaram-se como base os dados climáticos fornecidos pelo Accuweather (2014) para os sete últimos dias antes do dia da medição. A temperatura média predominante foi calculada por meio da Equação 5.

$$Tmpa(ext) = 0,34Tod\text{-}1 + 0,23Tod\text{-}2 + 0,16Tod\text{-}3 + 0,11Tod\text{-}4 + 0,08Tod\text{-}5 + 0,05Tod\text{-}6 + 0,03Tod\text{-}7 \quad (5)$$

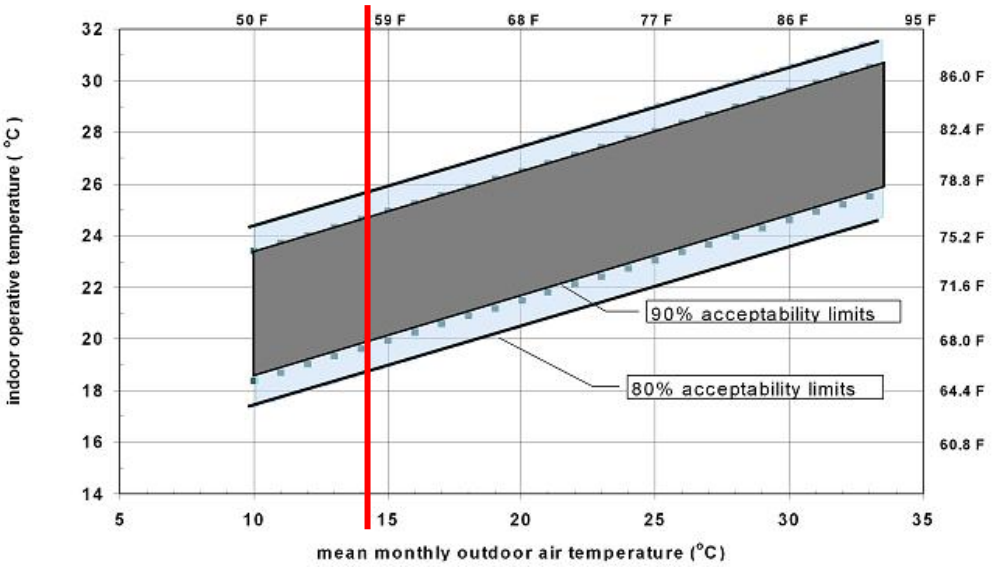
Uma vez que o resultado do cálculo da temperatura média predominante foi de 15,3°C, modificou-se o gráfico de faixas de temperaturas operativas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados (Figura 4)de forma a considerar a temperatura média predominante constante, somente variando as temperaturas operativas que foram medidas in loco (Figura 5).

Desta forma, é possível visualizar que as temperaturas operativas variaram de 20,5 a 23,5°C, caracterizando o ambiente como termicamente aceitável (90% de aceitabilidade) em ambos os períodos avaliados pelo método adaptativo. Isto demonstra que, a ventilação natural por meio da abertura

unilateral foi capaz de promover o conforto térmico aos usuários no período estudado.

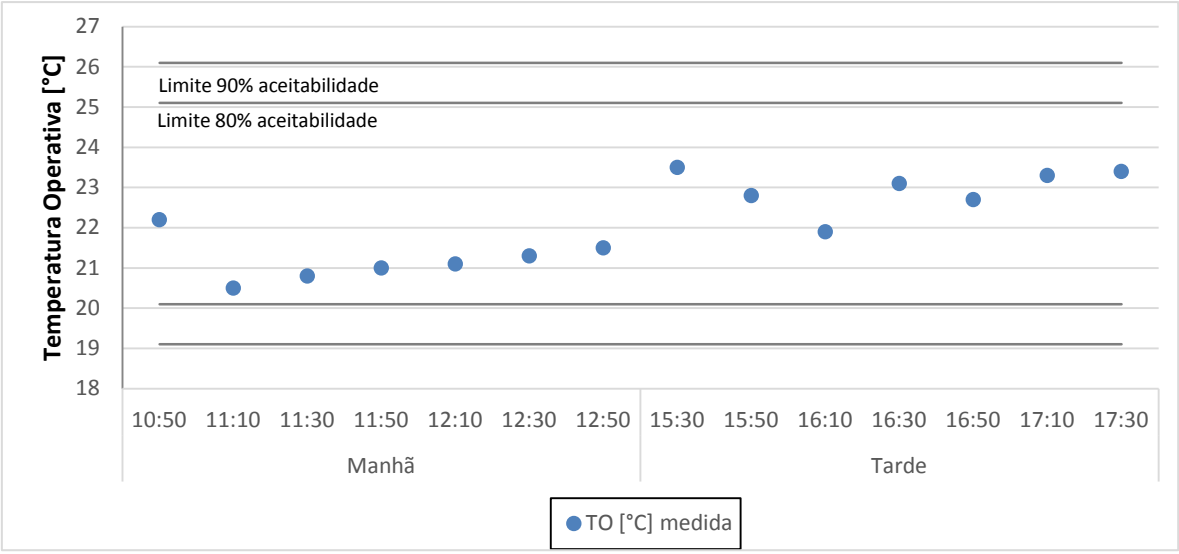
Salienta-se a necessidade de medições no período de verão para verificar o desempenho da ventilação natural em outras condições de temperaturas externas.

Figura 4 – Faixas de temperaturas operativas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados. Linha em vermelho indicando atemperatura média predominante calculada.



Fonte: ASHRAE 55 (2010) modificado pelos autores.

Figura 5– Gráfico do cálculo pelo método adaptativo para o caso de mais de 90% de aceitabilidade, com atemperatura média predominante fixada em 15,3°C.



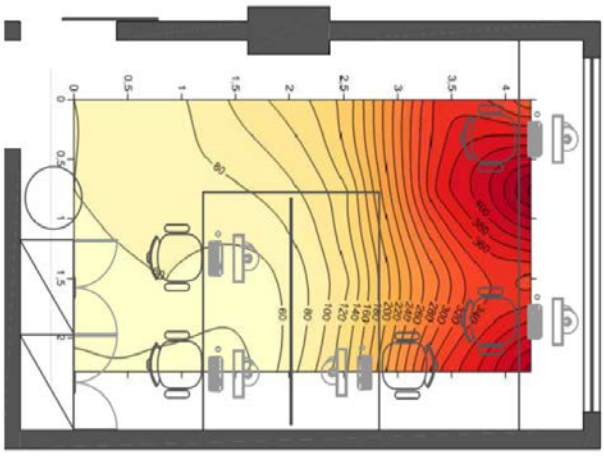
Fonte: Os autores.

3.2 Conforto visual

A análise dos resultados obtidos tomou como base a norma NBR-ISO 8995-1(ABNT, 2013), onde a iluminância média indicada para a atividade exercida no escritório é de 500lux e para o entorno imediato é de 300lux.

A Figura 6apresenta o mapa das iluminâncias da primeira medição, realizada às 15h00min, que considerou apenas a iluminação natural. Observa-se que a maioria das superfícies de trabalho apresentam níveis de iluminância muito baixos. A situação mais desfavorável ocorre no ponto P12, com apenas 41lux e a melhor situação no ponto P22 com 488lux.

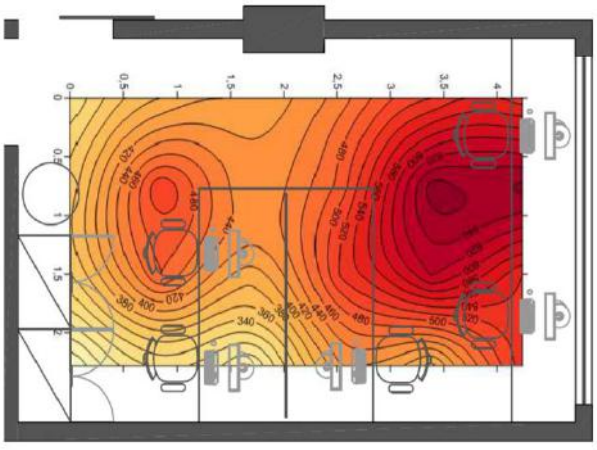
Figura 6- Situação 1, curvas isolux às 15h00min (iluminação natural).



Fonte: Os autores.

A segunda medição foi feita às 15h30min combinando iluminação artificial e natural. O mapa de iluminâncias apresentado pela Figura 7 indica um ambiente com iluminação melhor distribuida em relação a condicao anterior em que o ambiente recebe apenas iluminacao natural.Observa-se uma variação da iluminância de 256lux à 665lux nos ponto P12 e P22, respectivamente.

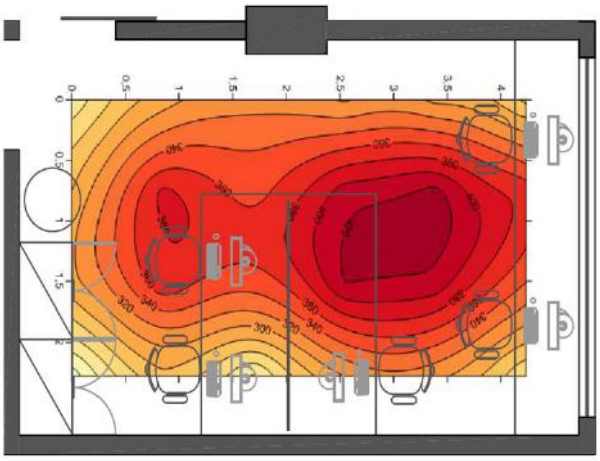
Figura 7- Situação 2, curvas isolux às 15h30min (iluminação natural e artificial).



Fonte: Os autores.

Na última medição, realizada às 20h00min, consideraram-se apenas a iluminação artificial.O mapa de curvas isolux (Figura 8) apresenta um ambiente com iluminação mais uniformemente distribuída do que nos casos anteriores, variando a iluminância de 216lux no ponto P12 à 373lux no ponto P22.

Figura 8- Situação 3, curvas isolux às 20h00min (iluminação artificial).



Fonte: Os autores.

A análise dos dados obtidos revela que a situação que combina iluminação natural e artificial aproxima-se mais dos 500lux recomendado. Sendo que, alguns pontos registraram níveis de iluminâncias superiores ao recomendado pela norma.

Em todas as situações analisadas, percebe-se que os níveis de iluminância são maiores no entorno imediato do que nos postos de trabalho. Esta condição não atende a norma NBR-ISO 8995-1(ABNT, 2013) que recomenda que os níveis de iluminação no entorno devem ser menores do que nas superfícies de trabalho.

3.3 Conforto acústico

Os resultados obtidos com as medições permitem a análise comparativa entre os níveis de pressão sonora equivalente (LAeq) e o Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos e internos. O NCA para ambientes externos e internos com janelas abertas ou fechadas varia de acordo com cada norma.

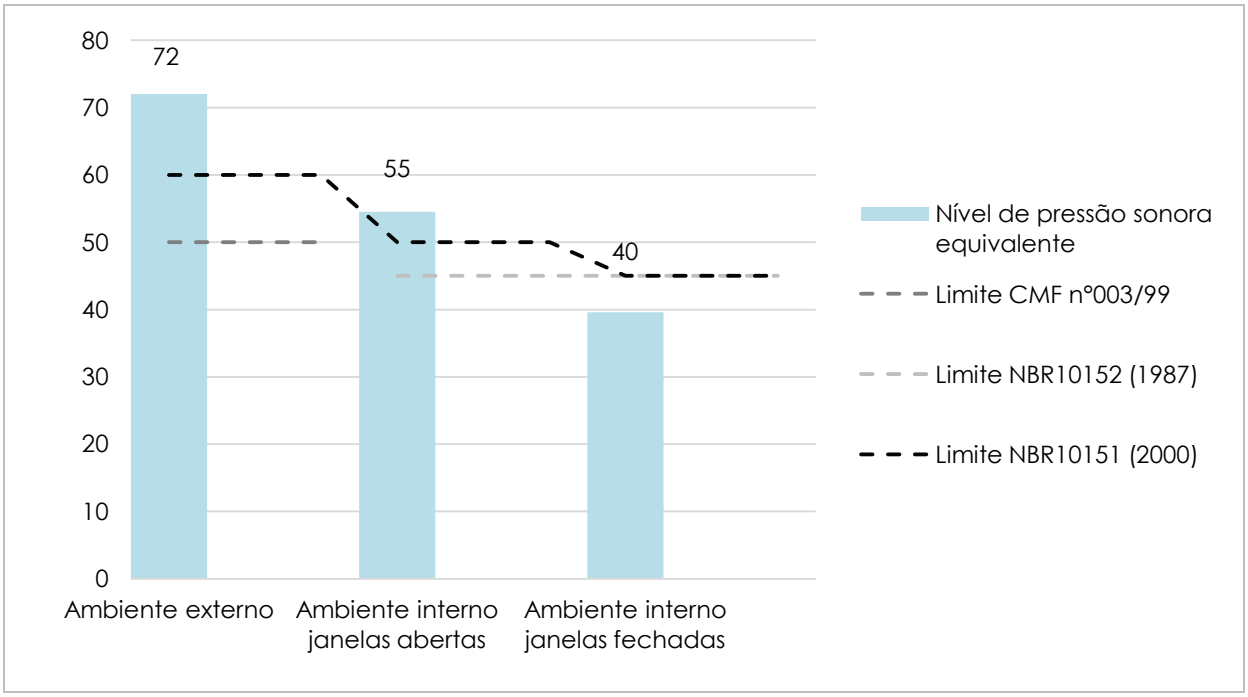
Para ambientes externos, o NCA é determinado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) e pela lei complementar CMF n°003/99 (CMF, 1999) que estabelece os valores de acordo com o zoneamento urbano para o município de Florianópolis. Para ambientes internos, o NCA é determinado pelas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987). A primeira norma é a única que faz distinção entre ambientes com janelas abertas ou fechadas.

A Figura 9 apresenta o gráfico comparativo entre o LAeq e NCA para o ambiente externo e interno com janelas abertas ou fechadas. O valor de

LAeq é a média logarítmica para os três pontos medidos no ambiente. Observa-se que o ambiente externo está 12db(A) e 22db(A) acima do nível aceitável pela NBR 10151 (ABNT, 2000) e CMF n°003/99 (CMF, 1999), respectivamente. O ambiente interno com janelas abertas também registra valores elevados de LAeq, estando 5db(A) e 10db(A) acima do nível aceitável pela NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987). Ao fechar as janelas, o LAeq reduz 15db(A) e atende ao NCA recomendado pelas normas.

O ambiente com janelas fechadas apresentou melhores resultados e maior homogeneidade entre os pontos medidos.Os resultados confirmam a hipótese de ruídos causados pelo tráfego de veículos na via principal de acesso à edificação.

Figura 9. Gráfico comparativo entre o LAeq e NCA para o ambiente externo e interno com janelas abertas ou fechadas.



Fonte: Os autores.

4 CONCLUSÕES

Aberturas unilaterais que permitam a entrada da ventilação natural são frequentemente utilizadas para garantir o conforto térmico em salas de escritórios. No entanto, sua adoção pode comprometer outros fatores relacionados à qualidade ambiental como o ruído e a iluminação. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o conforto térmico, visual e acústico em uma típica sala de escritórios com ventilação natural unilateral em Florianópolis-SC.

As condições térmicas internas do ambiente ventilado naturalmente através da abertura unilateral foram avaliadas como aceitáveis por meio do método adaptativo, tanto no período matutino quanto vespertino do período de

medição. As iluminâncias levantadas demonstram que, para o ambiente atingir o nível de iluminação recomendado quando as janelas estão abertas, a iluminação natural deve ser combinada com a iluminação artificial. No entanto, percebe-se que as luminárias não foram posicionadas conforme os postos de trabalho e assim, as iluminâncias do entorno apresentaram valores superiores do que as medidas nas superfícies de trabalho. Com relação a avaliação do conforto acústico, o ambiente com janelas abertas ultrapassa o limite do nível de pressão sonora máximo estabelecido pelas normativas, confirmando a hipótese de ruídos causados pelo tráfego de veículos na via principal de acesso à edificação. Ao fechar as janelas, o ambiente apresenta melhores resultados com maior homogeneidade entre os pontos medidos e níveis de pressão sonora aceitáveis.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a abertura unilateral adotada no escritório garante o conforto térmico e visual para o período das medições, porém compromete o conforto acústico em função de ruídos oriundos do tráfego de veículos. Neste caso, o entorno influencia negativamente, comprometendo uma solução integrada para o conforto ambiental. Esta constatação evidencia o desafio de equilibrar as diversas variáveis ambientais, como: iluminância, ruído, temperatura e velocidade do ar.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, jun/2000.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Associação Brasileira de Normas Técnicas, dez/1987.

_____.**NBR ISO 8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

_____.**NBR 15215-4 :** Iluminação Natural – Parte 4. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ACCUWEATHER.**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS FLORIANÓPOLIS-SC.**Disponível em: <http://www.accuweather.com/pt/br/brazil-weather>. Acesso em: 21 ago. 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR ENGINEERS CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE 55-2010**: Thermal Environmental Conditions for HumanOccupancy. Atlanta, 2010.

CMF CÂMARA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Lei Complementar nº CMF Nº 003/99**, de 1999. Dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem-estar e do sossego público.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer versão 11 Demo. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer >. Visualizado em set. 2014.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgar Blucher, 2005

MENZIES, G.F.; WHERRETT, J.R. Windows in the workplace: examining issues of environmental sustainability and occupant comfort in the selection of multi-glazed windows. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 623-630, 2005.

MENZIES, G.F.; WHERRETT, J.R. Windows in the workplace: examining issues of environmental sustainability and occupant comfort in the selection of multi-glazed windows. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 623-630, 2005.

MIHAI, T.; IORDACHE, V. Determining the indoor environment quality for an educational building. **Energy Procedia**, v. 85, p. 566-574, 2016.

ORAL, G. K; YENER, A. K. ; BAYAZIT, N. T. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Environment,**V. 39, p. 281-287, 2004.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006, 542 p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM NORMATIVA DA NBR 15575 PARA DESEMPENHO LUMÍNICO: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ-AL[1]

NASCIMENTO, Thássia (1); BATISTA, Juliana (2)

(1) UFAL, e-mail:thassia.cnascimento@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: juliana.batista@fau.ufal.br

RESUMO

Os critérios de avaliação para desempenho lumínicodaNBR15575/2013 vêm sendo discutidos no intuito de melhorar a abordagem normativa, buscando maior qualidade das edificações brasileiras. O presente artigo, apresentando resultados parciais de uma dissertação de mestrado, tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho lumínico de ambientes residenciais segundo os critérios utilizados pela NBR15575/2013 e critérios baseados em estudos científicos já realizados. Apresenta um estudo de caso de uma edificação residencial localizada em Maceió-AL. Foram feitas simulações do quarto de casal com o software Troplux v. 7.3.1, no primeiro pavimento da edificação, nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Os resultados das simulações com tipo de céu 10(CIE) foram analisados conforme os critérios da NBR15575/2013. Os resultados do tipo de céu 16(CIE) foram analisados com base no critério UDI – *Useful DaylightIlluminance*(100 lx a 3000 lx)para todas as horas do ano, observando-se também as isocurvas do ambiente. Os resultados demonstraram que o quarto seria aprovado de acordo com os dois conjuntos de critérios. Entretanto, verificou-se que os critérios adotados pela pesquisa possibilitam analisar o comportamento da luz no ambiente viabilizando identificar os possíveis problemas de desconforto visual através da análise da distribuição das iluminâncias, aspecto não abordado pela NBR15575/2013.

Palavras-chave: NBR 15575. Desempenho lumínico. UDI. Troplux.

ABSTRACT

The evaluation criteria of luminous performance in NBR15575/2013 have being discussed in order to improve the normative approach, ensuring a better building performance. This article, presenting partial results of a master's thesis, aims to assess comparatively the luminous performance of residential environments in accordance with criteria used by the NBR15575/2013 and criteria based on scientific studies. It's a case study of a residential building located in Maceió-AL. Troplux v.7.3.1 software *was used for simulate the couple room at the first floor of the building, in the directions North, South, East and West. The results of the simulations with Sky type 10* (CIE) *were analyzed according to the criteria of the NBR15575/2013. The results of the sky type 16* (CIE) *were analyzed based on the criteria UDI-Useful Daylight Iluminance (100lx to 3000lx) for all year and isocurves of the room. The results showed that the room would be approved according to the two sets of criteria. However, it was found that with the criteria adopted by the research it was possible to analyze the*

[1] NASCIMENTO, Thássia; BATISTA, Juliana. Avaliação da abordagem normativa da NBR 15575 para desempenho lumínico: Estudo de caso em Maceió-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

behavior of light in the environment identifying the possibility of visual discomfort problems through the analysis of the distribution of light, issue not mentioned by NBR15575/2013.

***Keywords**: NBR 15575. Luminous performance. UDI. Troplux.*

1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural em ambientes construídos é importante tanto para o conforto do usuário quanto devido à economia de energia provinda da iluminação artificial. O uso racional da energia é a melhor oportunidade para redução dos custos e impactos causados por sua geração, além de reduzir a necessidade de instalações de novas linhas de transmissão (CBCS, 2014). No Brasil, o setor residencial é o segundo maior consumidor de energia, sendo a iluminação artificial responsável por 11% do consumo residencial (ELETROBRAS; PROCEL, 2007).

Ao investir em estratégias que possibilitem um melhor desempenho das edificações, obtém-se a melhoria da qualidade ambiental e de seus sistemas. As normas de desempenho apontam requisitos a serem atendidos pela edificação, diferentemente das normas prescritivas, que determinam como deve ser feita a melhoria (ABNT, 2013a). A NBR 15575 surgiu em 2013 como um marco na construção civil brasileira por ser a primeira norma de desempenho para edificações residenciais do país. No que diz respeito à iluminação natural, a abordagem avaliativa utilizada pela norma considera a iluminância mínima de 60lx como única referência para classificação do desempenho lumínico, desconsiderando questões importantes como a dimensão da janela e seu tipo de fechamento (LEDER et al, 2015) ou a influência da profundidade dos ambientes na qualidade da iluminação natural (AMORIM et al, 2011).O desempenho lumínico exigido pelas normas pode ser um importante caminho para edificações de qualidade e eficientes. Os critérios de avaliação normativos devem conduzir os projetistas e construtores a trabalharem por soluções com baixo consumo de energia e alto índice de conforto.

Mardaljevic et al (2011) avaliaram a luz natural de ambientes construídos utilizando o intervalo de Iluminância Natural Útil ou *Useful Daylight Illuminances*(UDI), compreendido entre 100lx e 3000lx,que corresponde à ocorrência de iluminâncias no plano de trabalho em um período anual. O estudo foi elaborado em edificações residenciais e percebeu-se que o excesso de luz pode não ser o principal motivo para o fechamento das cortinas pelos usuários, mas sim o superaquecimento provocado pela insolação. Os autores consideraram ainda que uma das maiores contribuições do estudo foi a constatação da economia de energia proporcionada pelo uso da iluminação natural.

O objetivo desta pesquisa é avaliar comparativamente o desempenho lumínico de ambientes residenciais segundo os critérios utilizados pela NBR 15575/2013 e critérios baseados em estudos científicos já realizados e outras referências normativas.

Pretende-se contribuir com o debate a respeito da norma brasileira de

desempenho lumínico, visando colaborar para o aperfeiçoamento da NBR 15575/2013.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido a partir da análise do desempenho lumínico de uma edificação residencial localizada em Maceió-AL. A edificação objeto deste estudo foi escolhida com base em dados do mercado imobiliário local, no intuito de representar uma tipologia construtiva comumente encontrada na região. Foram realizadas simulações computacionais utilizando o programa Troplux v. 7.3.1. (CABÚS, 2005).

2.1 Caracterização do objeto de estudo

A edificação residencial possui 12 pavimentos e localiza-se no bairro de Jatiúca, em Maceió-AL, cidade de clima quente e úmido. Trata-se de um bairro que viabiliza a criação de cenários futuros de alto adensamento, com características construtivas comumente encontradas na cidade. Na figura 1 pode-se observar a localização da edificação e sua orientação.

Figura 1- Localização da edificação de estudo.



Fonte: Google Maps, acessado em outubro de 2015.

Nas fachadas leste e oeste a edificação possui um elemento curvo que proporciona proteção solar nos pavimentos 1° ao 3° e do 8° ao 11° (Figura 2). Estes detalhes de fachada são as únicas diferenças entre os pavimentos tipo e os diferentes andares. A figura 3 mostra a planta baixa do pavimento tipo e a localização das unidades habitacionais (UHs) que o compõem. Observa-se que existem três configurações de planta baixa, diferenciadas pelo posicionamento dos banheiros e também por uma pequena diferença na área da sala.

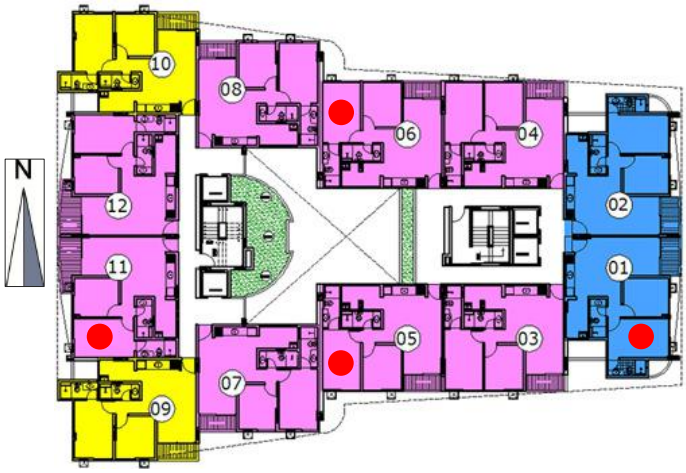
O cômodo escolhido para análise foi o quarto do casal, por ser um ambiente de longa permanência e possuir a mesma dimensão e formato nas quatro orientações. Os quartos analisados estão marcados em vermelho na figura 3.

Figura 2- Edifício estudado



Fonte: Material publicitário do empreendimento

Figura 3 - Pavimento tipo da edificação



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico

2.2 Critérios para avaliação do desempenho lumínico

Para avaliação da iluminação natural na edificação estudada, as simulações foram divididas em dois grupos. **O Grupo 1** segue as orientações da NBR 15575/2013 e o **Grupo 2** segue critérios baseados em estudos sobre desempenho lumínico encontrados na literatura.

Para o **Grupo 1**, a NBR 15575 (ABNT, 2013a) determina que a verificação do desempenho, quando feita por simulação computacional, siga determinadas condições: (i) devem ser simulados os dias 23 de abril e 23 de outubro nos períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h); (ii) deve ser considerada a latitude e a longitude do local da obra; (iii) o céu deve ter nebulosidade média (índice de nuvens 50%) e (iv) o ambiente não deve possuir iluminação artificial ou apresentar obstruções à luz nas aberturas (cortinas ou persianas, por exemplo).

Foi adotado o céu tipo 10 da CIE, parcialmente nublado, o qual apresenta condições semelhantes ao céu de Maceió (CABÚS, 2002).

A iluminância deve ser calculada no centro dos ambientes, com altura de 0,75m em relação ao piso. Os ambientes devem ser simulados para as quatro orientações (norte, sul, leste e oeste), considerando o sombreamento proporcionado pelas edificações vizinhas. Também é necessário fazer a análise em diferentes pavimentos da edificação. Os resultados parciais aqui apresentados referem-se ao 1° pavimento, visto que, devido a menor visão do céu dos andares mais baixos, a situação do 1° pavimento tende a ser a mais desfavorável.

A norma classifica com nível de desempenho mínimo (M) as edificações que atingem pelo menos 60lx de iluminância no centro do ambiente; nível

intermediário (I) para edificações que atingem o mínimo de 90lx e nível superior (S) caso obtenha 120lx ou mais.

A avaliação proposta pela norma, restrita a dois horários e dois dias do ano, produz apenas 4 horas de dados de iluminação. Entretanto, sabe-se que, ao longo do ano, vários fatores podem interferir na iluminância dos ambientes construídos. Treguenza e Loe (2004) afirmam que, dentre outros, a localização do sol na abóbada celeste e o tipo de céu têm grande influência na variação da luz ao longo do dia e do ano. Sendo assim, o resultado isolado referente a iluminâncias em horários específicos pode prejudicar a análise do desempenho da luz no ambiente interno.

Diante de tal constatação, as simulações do **Grupo 2** seguem parâmetros distintos da NBR 15575/2013. Neste grupo, as simulações foram realizadas para todos os dias do ano, entre 7h e 17h, exclusivamente com iluminação natural. Foi adotado o céu dinâmico, que considera a variação real de tipos de céu padrão CIE, a cada hora, baseando-se em uma distribuição estatística feita a partir dos dados meteorológicos de Maceió (CABÚS, 2012). Como critério de avaliação, foi adotado o intervalo de Iluminância Natural Útil ou *Useful Daylight Illuminances* (UDI) de 100lx a 3000lx (MARDALJEVIC et al., 2011), verificando-se a distribuição das iluminâncias nos ambientes através das isocurvas e o total de horas do ano nas quais a iluminância foi mantida no intervalo de luz útil da UDI.

A tabela 1 apresenta as categorias de classificação da edificação, na qual a área do ambiente e as horas simuladas do ano foram associadas a intervalos de UDI. Em caso da edificação obter uma classificação diferente em cada critério, prevalece a menor classificação alcançada.

Tabela 1 – Categorias de classificação dentro do intervalo de UDI alcançado.

Porcentagem do ambiente no intervalo de UDI (500lx a 3000lx) (%)	Porcentagem do ambiente no intervalo de UDI (100lx a 3000lx) (%)	Porcentagem de horas no intervalo de UDI (500lx a 3000lx) (%)	Porcentagem de horas no intervalo de UDI (100lx a 3000lx) (%)	Classificação
PA ≥ 80%(sem proteção solar) PA ≥ 60%(com proteção solar)	–	PH ≥ 80%	–	Superior
–	PA ≥ 80%(sem proteção solar) PA ≥ 60%(com proteção solar)	–	PH ≥ 80%	Intermediário
–	70% ≤ PA < 80%(sem proteção solar) 50% ≤ PA < 60%(com proteção solar)	–	70% ≤ PH < 80%	Mínimo
–	PA < 70%(sem proteção solar) PA < 50%(com proteção solar)	–	PH < 70%	Insuficiente

Fonte: Adaptado de Eletrobras; PROCEL (2012).

Na tabela 1, para os ambientes sem proteção solar nas aberturas, a iluminância mínima adotada deve ser alcançada em pelo menos 70% do ambiente, em 70% das horas simuladas. Já para ambientes com proteção solar nas aberturas, considera-se 50% do ambiente, em 70% das horas do ano. Tais níveis foram estabelecidos tendo como referência o RTQ-R, que especifica estas porcentagens ao tratar das bonificações para iluminação natural (ELETROBRAS; PROCEL, 2012).

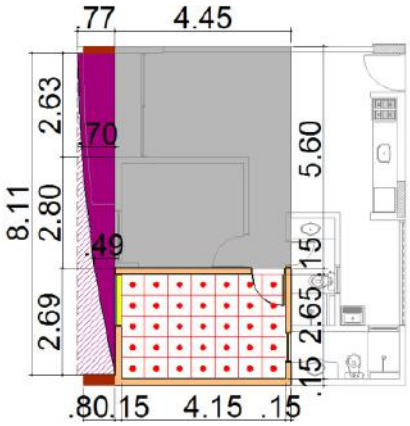
Para encontrar a Porcentagem de Área do Ambiente dentro do intervalo de UDI (PA) foi feito o cálculo das áreas internas correspondentes a cada intervalo de iluminância estudado. Para tal, foram seguidas as etapas: (i) obtenção das isocurvas da iluminância média global, (ii) sobreposição das isocurvas à planta baixa do ambiente e (iii) cálculo das áreas enquadradas em cada intervalo de UDI.

2.3 Caracterização da simulação computacional

As simulações foram realizadas com o programa Troplux v. 7.3.1. O programa foi desenvolvido para a realidade dos trópicos, e teve sua validação realizada por Cabús (2005).

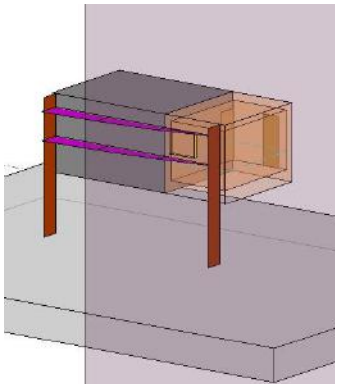
A modelagem do ambiente, quarto do casal, foi realizada para todas as orientações, considerando as dimensões e propriedades dos materiais reais da edificação objeto deste estudo. A figura 4 mostra a planta baixa da UH de terminação 11 (ver figura 3) e malha de pontos, a qual o programa usa como base para calcular a distribuição das iluminâncias. Os pontos foram distribuídos uniformemente, de acordo com a NBR 8995 (ABNT, 2013b).

Figura 4 - Planta baixa da UH



Fonte: A autora

Figura 5 - Modelo tridimensional (3D) do Troplux.



Fonte: A autora

LEGENDA

Quarto analisado | Área da UH modelada no 3D | Proteção Vertical | Proteção Horizontal no 1° pavimento | Proteção Horizontal no 12° pavimento

Para a modelagem das obstruções do entorno, considerou-se um cenário futuro de alto adensamento. De acordo com o código de obras de Maceió, (PMM, 2007), considerando a localização da edificação estudada, a altura máxima permitida é de 15 pavimentos; a taxa de ocupação máxima é de 35% do terreno; o recuo frontal mínimo é de 5m e o recuo lateral de 1,5m. Portanto, o ambiente simulado possui obstrução nas quatro fachadas, todas representando edifícios com altura de 15 pavimentos (45m).

As refletâncias dos materiais estão apresentadas na tabela 2. Para as fachadas das edificações do entorno, adotou-se uma refletância de 0,5 para todos os casos, representando uma condição intermediária. A transmitância do vidro comum da janela corresponde a 0,88.

Tabela 2–Refletâncias das superfícies

Ambiente	Elemento	Material	Refletância
Quarto (internamente)	Paredes	Tinta acrílica fosca (branco neve)	0.73
	Piso	Azulejo branco	0.7
	Teto	Tinta acrílica fosca (branco neve)	0.73
	Janela	Vidro comum	0.1
	Porta banheiro	Madeira clara	0.4
Fachadas	Parede da janela (Terminações 01 e 11)	Azulejo preto	0.033
	Parede da janela (Terminações 05 e 06)	Azulejo branco	0.7
	Demais paredes	Azulejo branco	0.7
	Teto	Tinta acrílica fosca (branco neve)	0.73
	Proteção Vertical	Azulejo vermelho escuro	0.215
	Proteção. Horizontal	Azulejo branco	0.7
	Piso do Pilotis	Azulejo cinza claro (cinza BR)	0.448

Fonte: Dornelles (2008) e Tregenza e Loe (2004)

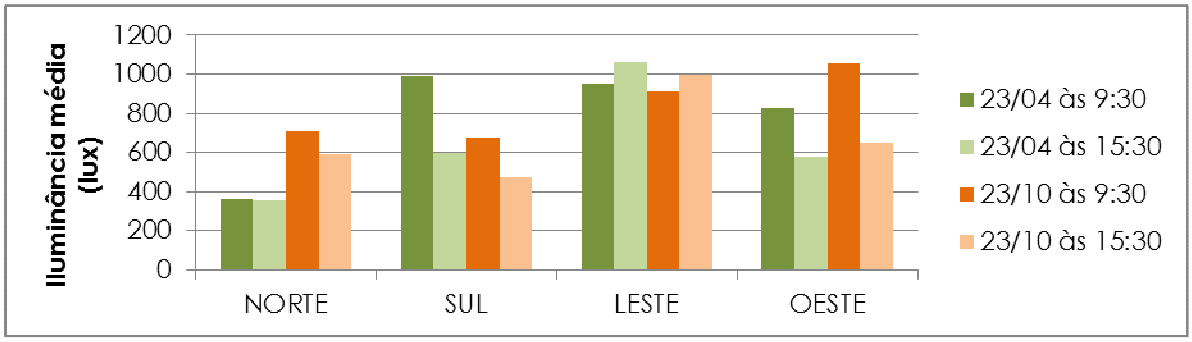
Foi adotada a margem de erro estatístico para a componente difusa de 5%, padrão do programa. Foram seguidos como parâmetros de simulação o modo de hora solar, que trabalha com o tempo solar verdadeiro (TSV), a unidade dinâmica – absoluto, para medidas dadas em lux e o método de cálculo da iluminância horizontal difusa da IES (*Illuminating Engineering Society*).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta os resultados das simulações para o **Grupo 1.** As iluminâncias referem-se ao ponto central do ambiente, conforme as recomendações da NBR 15575/2013.

Observa-se que a orientação leste apresenta as maiores iluminâncias em todos os horários simulados. Os menores níveis de iluminância ficaram com as orientações sul e norte, conforme esperado, já que as orientações leste e oeste recebem luz solar diretamente nos períodos da manhã e tarde, respectivamente. Apesar da existência de proteção solar, os ambientes voltados para as orientações leste e oeste apresentaram maiores níveis de iluminamento.

Gráfico 1 – Iluminância média Grupo 1

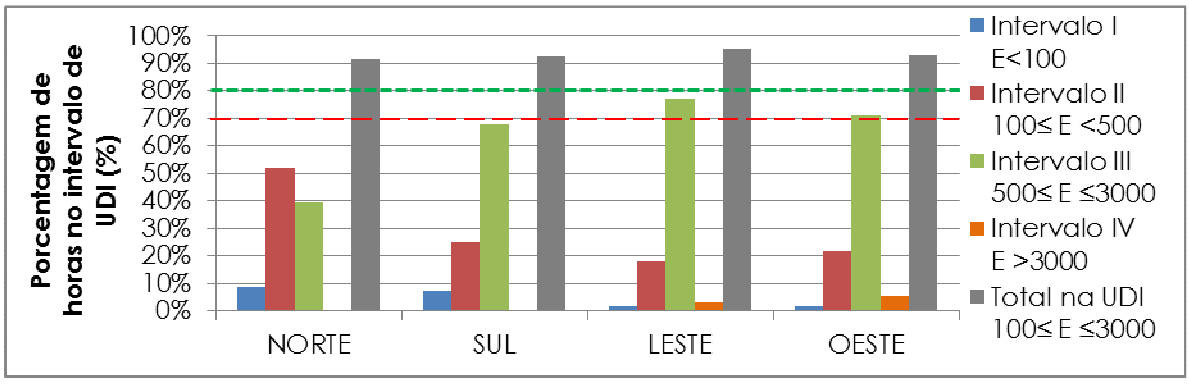


Fonte: A autora.

De acordo com estes resultados, o desempenho da edificação estaria classificado com nível superior em todas as orientações, pois as iluminâncias mantiveram-se acima de 120lux.

Para o **Grupo 2**, o gráfico 2 apresenta os resultados relativos à porcentagem de horas simuladas no ano (7h as 17h) que estão dentro dos intervalos de UDI.A linha tracejada em verde representa a porcentagem requerida para classificação superior e em vermelho a porcentagem requerida para classificação mínima (Tabela 1). O intervalo total de UDI (100lx a 3000lx) representa o somatório dos intervalos II e III, cujas iluminâncias são aceitáveis. Este intervalo total está destacado por servir de parâmetro de classificação mínima e intermediária.

Gráfico 2 – Porcentagem de horas no intervalo de UDI (PH) do Grupo 2.



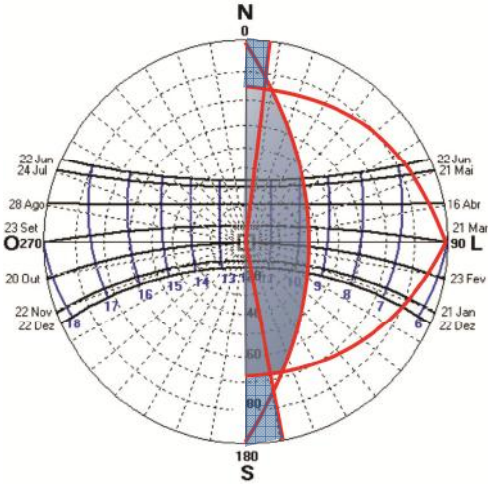
Fonte: A autora.

A classificação superior define que o ambiente deve apresentar iluminâncias enquadradas no Intervalo III da UDI (entre 500lx e 3000lx) em pelo menos 80% das horas do ano. No Gráfico2 verifica-se que em nenhuma das orientações esta condição é atendida. Observa-se também que mais de 90% das horas do ano, para as quadro orientações, foram enquadradas no intervalo total na UDI, o que garante uma classificação intermediária para a edificação estudada, dentro deste critério.

O segundo critério a ser analisado trata da Porcentagem de Área do Ambiente (PA) na qual as iluminâncias se enquadram em cada intervalo de UDI, diferenciando-se para ambientes com e sem proteção solar na fachada. Entretanto, é preciso definir o sombreamento mínimo do elemento de fachada para que o mesmo possa ser considerado na avaliação. A NBR 15575/2013 cita o sombreamento apenas quando trata de desempenho térmico, determinando que, para ser aceito, o dispositivo deve ser "capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta que entraria pela janela" (ABNT, 2013a), não havendo especificação para desempenho lumínico. Logo, para este artigo, a proteção solar só poderá ser contabilizada se sombrear a janela em no mínimo 50% das horas em que há incidência solar durante todo o ano. Para tal, foi considerada a análise da máscara de sombra do dispositivo de proteção na fachada. Sabe-se que a carta solar apresenta a trajetória solar entre 6h e 18h durante todo o ano, sendo, portanto, este o período considerado para avaliação do dispositivo de proteção solar.

As figuras 6 e 7 mostram as máscaras de sombra para as aberturas das fachadas leste e oeste, únicas que possuem proteção no primeiro pavimento (proteção horizontal de pequena dimensão). Em ambas as orientações só há sombreamento durante aproximadamente duas horas e trinta minutos. Portanto, estas proteções foram desconsideradas para classificação da PA no primeiro pavimento.

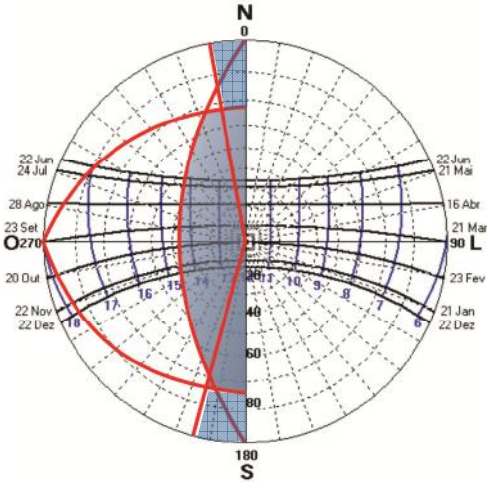
Figura 6 - Carta Solar 1º Pavimento Terminação 01 (Leste).



Ângulos: α=36° / $\gamma_{direita}$ = 67° / $\gamma_{esquerda}$ = 75°
$\beta_{direita}$= 11° / $\beta_{esquerda}$ = 7°

Fonte: A autora

Figura 7 - Carta Solar 1º Pavimento Terminação 01 (Oeste).



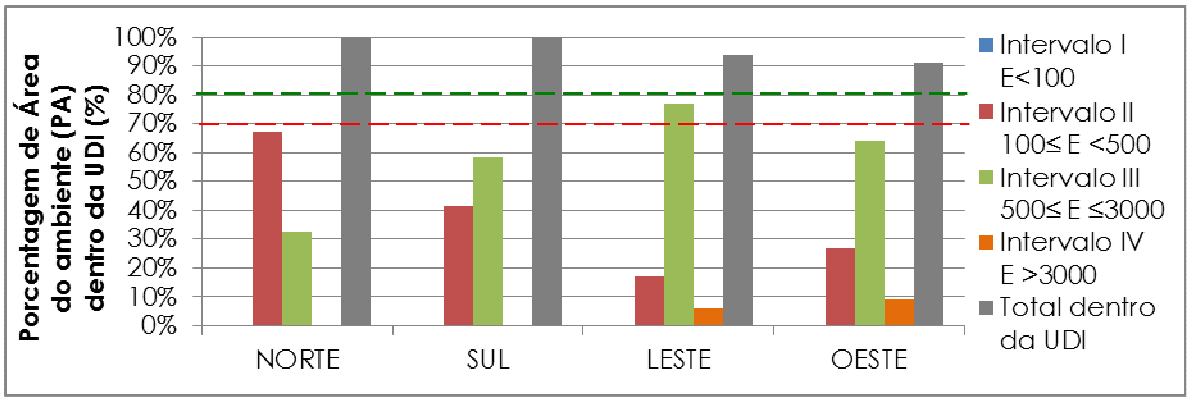
Ângulos: α=36° / $\gamma_{direita}$ = 67° / $\gamma_{esquerda}$ = 75°
$\beta_{direita}$= 10° / $\beta_{esquerda}$ = 15°

Fonte: A autora

O Gráfico 3, apresenta a porcentagem de área do ambiente (PA) cujas iluminâncias foram enquadradas nos diferentes intervalos de UDI,para cada orientação. As linhas tracejadas em verde e vermelho destacam os limites de classificação da PA, de acordo com a tabela 1.

Observa-se que em nenhuma das orientações obteve-se 80% da área do ambiente enquadrada no Intervalo III (500lx a 3000lx) da classificação Superior. Entretanto, mais de 90% das horas do ano, para as quadro orientações, foram enquadradas no intervalo total na UDI (100lx a 3000lx). Nas orientações Norte e Sul este intervalo total foi atingido em 100% do ambiente. Isso significa que a melhor distribuição da luz acontece nos ambientes orientados a norte e sul (gráfico 3), enquanto a leste e oeste registram-se os valores mais altos de iluminâncias ao longo do ano (gráfico 2).

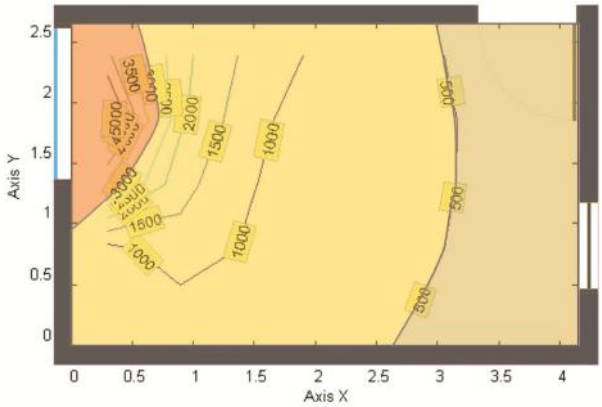
Gráfico 3 – Porcentagens de área do ambiente (PA) enquadradas nos intervalos de UDI.



Fonte: A autora.

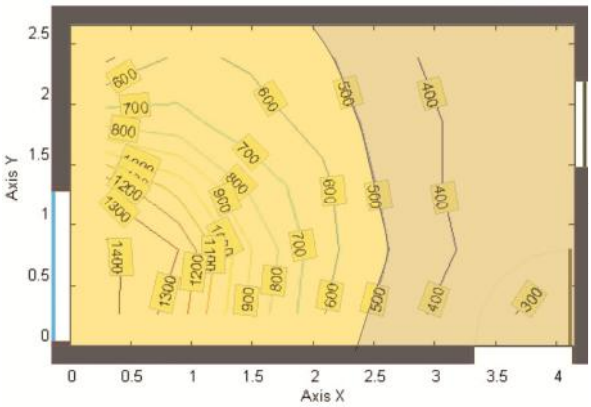
A figura 8 mostra a condição mais desfavorável quanto à distribuição da luz, verificada no quarto orientado a Oeste. Nele registrou-se a maior área do ambiente fora dos intervalos aceitáveis de UDI (intervalos II e III), bem como as maiores diferenças entre os valores de iluminância próximos à janela e ao fundo do ambiente. A figura 9 apresenta as isocurvas para o ambiente orientado a Sul, que apresentou a melhor distribuição das iluminâncias. Nesse caso, observa-se valores menores de iluminâncias, porém com distribuição mais uniforme e menor diferença entre a proximidade da janela e o fundo do ambiente. Portanto, a edificação obteve classificação com nível intermediário também neste critério.

Figura 8: Isocurvas da orientação OESTE: Terminação 11 – Pavimento 01.



Fonte: A autora.

Figura 9: Isocurvas da orientação SUL: Terminação 05 – Pavimento 01.



Fonte: A autora.

Legenda

Intervalo I (E<100lx)

Intervalo II (100lx≤E<500lx)

Intervalo III (500lx≤E≤3000lx)

Intervalo IV (E>3000lx)

4 CONCLUSÃO

Diferentes abordagens avaliativas podem ser usadas para classificar o desempenho lumínico de edificações residenciais. Ao avaliar a mesma edificação com os critérios adotados em diferentes abordagens, pode-se identificar e compreender pontos que representem fragilidades das metodologias empregadas. No caso estudado, a edificação foi avaliada segundo os critérios da NBR 15575/2013 e aos critérios adotados por esta pesquisa, baseando-se na literatura existente.

Os resultados mostraram que a edificação estudada foi enquadrada pela norma na classificação Superior (Grupo 1) enquanto pelos critérios da pesquisa obteve classificação Intermediária (Grupo 2).

Percebe-se que os critérios adotados para as simulações do Grupo 2, percentual de horas e de área interna enquadrados nos intervalos de UDI, proporcionam uma visão mais ampla e detalhada das condições de iluminação do ambiente. Os dados obtidos pelo grupo 1, correspondentes a iluminância média no ponto central do ambiente, não possibilitam identificar a quantidade de luz disponível ao longo do ano e a qualidade da distribuição dessa luz no ambiente.

Com base nos resultados do Grupo 2 verificou-se que, ao longo do ano, ocorreram períodos de insuficiência de luz (E<100lx) e também de excesso de luz (E>3000lx). A norma determina apenas o limite mínimo de iluminância, entretanto, a delimitação de um limite máximo aceitável é uma questão importante a se considerar. A ausência de limites máximos de iluminâncias, bem como a lacuna na avaliação da qualidade da distribuição da luz, pode ocasionar edificações de baixo conforto visual. Entende-se que os altos níveis de iluminância e a existência de grandes contrastes no ambiente podem contribuir com esse desconforto.

Verificou-se que o quarto estudado possui boas condições de iluminação natural, o que possibilita a diminuição do uso da iluminação artificial durante o dia. Percebeu-se também que, apesar do ambiente obter a mesma classificação utilizando duas diferentes abordagens metodológicas, os resultados contém informações diferentes que podem contribuir com a qualidade do projeto. Uma avaliação do desempenho lumínico que produza informações relativas à quantidade e à qualidade da iluminação proporciona ao projetista condições apropriadas para aperfeiçoamento do projeto de arquitetura, possibilitando a elaboração de estratégias adequadas para cada caso.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo financiamento através da bolsa de estudos do mestrado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15575-1:** Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro-RJ, 2013a.

_____.**NBR8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro-RJ: 2013b.

AMORIM et AL. **Simulação De Iluminação Natural Em Cidades Brasileiras:** A Influência Da Profundidade Dos Ambientes Residenciais. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC); VII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Anais... Búzios, 2011.

CABÚS, R. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil.**Tese (Doutorado) – SchoolofArchitecturalStudies. Inglaterra, 2002.

_____. **TROPLUX: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações.** In III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC); Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Anais... Maceió, 2005.

_____. TropLux, versão 6: Guia do Usuário, Maceió: Grilu, 2012.

CBCS - CONSELHO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Ministério do Meio Ambiente (Brasil). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas:** Subsídios para promoção da construção civil sustentável. Versão 1. CBCS: 2014.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar De Superfícies Opacas: Métodos De Determinação E Base De Dados Para Tintas Látex Acrílica e PVA.** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ELETROBRÁS; PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil:** Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso. Ano base 2005. ClasseResidencial, RelatórioBrasil. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **Manual para aplicação do RTQ-R.**v. 1, com base na Portaria n. 18/2012. LAMBERTS, R. (coord.). Florianópolis, 2012.

LEDER, S. M.; LEAL, L. Q.; LIMA, E. F. C. **Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho lumínico da edificação.** In: XIII Encontro Nacional de

Conforto no Ambiente Construído (ENCAC); IX Encontroo Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Anais... Campinas, 2015.

MARDALJEVIC et AL. **Daylighting Metrics For Residential Buildings.** In National Conference 2006: Engineering the Future. London, 2011.

PMM-Prefeitura Municipal de Maceió. **Lei Municipal Nº 5.593**,de 08 de Fevereiro de 2007. Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió.

TREGUENZA, P.; LOE, D.**The design of lighting.**[1998: 1 ed.]. Londres, ed.Digital, 2004.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ELABORAÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA PARA TEÓFILO OTONI – MG: VERIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PROPOSTAS PELA NBR 15220[1]

OLIVEIRA, Camila Cordeiro (1); SAKIYAMA, Nayara Rodrigues Marques (2); CAMPOS, Rodrigo Barbosa (3); PRATES, Ítalo Barreto (4); MIRANDA, Layane Ventura (5)

(1) UFVJM, e-mail: camilinha.tur@hotmail.com; (2) UFVJM, e-mail: nayara.sakiyama@ufvjm.edu.br; (3) UFVJM, e-mail: rodrigomtx2008@hotmail.com; (4) UFVJM, e-mail: iprates94@hotmail.com; (5) UFVJM, e-mail: layanevdm@hotmail.com

RESUMO

Compreender as variáveis climáticas de uma região é essencial para definir as características das edificações. Porém, a escassez de dados climáticos de qualidade é uma barreira enfrentada por projetistas. Nesse cenário, este trabalho elabora dois arquivos climáticos para a cidade de Teófilo Otoni (TRY e TMY). O clima da cidade é caracterizado como tropical quente semiúmido, ou tropical com estação seca. De acordo com a NBR 15220 – 3, a cidade possui como estratégia de condicionamento térmico passivo a ventilação cruzada no verão e a inércia térmica no inverno. De posse dos arquivos climáticos gerados para a cidade criou-se a carta bioclimática, a carta solar e a rosa dos ventos, a fim de verificar as diretrizes apresentadas pela Norma. O TRY mostrou ser o arquivo climático mais realista, apresentando maior número de graus-hora de resfriamento e menor número de graus-hora de aquecimento, o que é mais compatível ao clima local. Como estratégias bioclimáticas necessárias para o conforto térmico destacaram-se: ventilação (23%), alta inércia térmica com aquecimento solar (16,6%) e sombreamento (77,6%), que são condizentes com as diretrizes propostas na norma.

Palavras-chave: Arquivo Climático. Conforto Térmico. Diretrizes Construtivas.

ABSTRACT

Understanding climate variables of a region is essential to define the characteristics of the buildings. However, the shortage of quality climate data is a barrier faced by designers. In this scenario, this paper elaborates two climatic archives for the city of Teófilo Otoni (TRY and TMY). The city's climate is characterized as hot tropical semi-humid or tropical with a dry season. According to NBR 15220-3, the city has as passive thermal conditioning strategy, cross ventilation in summer and thermal inertia in winter. From the climatic files generated for the city were created the bioclimatic chart, solar chart and the wind rose, in order to check the Standard guidelines. The TRY climatic file proved more realistic, with higher number of cooling degrees-hour and fewer heating degrees-hour, which is more compatible to the local climate. The necessary bioclimatic strategies for thermal comfort are: ventilation (23%), high thermal inertia with solar heating (16.6%) and shading (77.6%), which are consistent with the guidelines proposed in the Standard.

Keywords: *Climate file. Thermal comfort. Constructive guidelines.*

[1] OLIVEIRA, Camila Cordeiro; SAKIYAMA, Nayara Rodrigues Marques; CAMPOS, Rodrigo Barbosa; PRATES, Ítalo; MIRANDA, Layane Ventura. Elaboração do ano climático de referência para Teófilo Otoni – MG: verificação das diretrizes construtivas propostas pela NBR 15220. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos é possível observar a interferência das condições climáticas nas atividades desenvolvidas pelo homem, e no seu abrigo. Nossos antepassados utilizavam as experiências deixadas pelas gerações anteriores para adequar suas residências ao clima (GOULART, 1993).

Entretanto, nas últimas décadas tornou-se comum a elaboração de projetos de edificações sem considerar o clima local. Os sistemas de iluminação e climatização artificial passaram a ser utilizados indiscriminadamente por arquitetos e projetistas, uma vez que, facilitam a atuação destes profissionais frente às dificuldades de se adequar o edifício ao clima (ARANTES, 2013).

Com a chegada da crise energética mundial na década de 70, os países industrializados passaram a reconsiderar as estratégias de crescimento econômico adotando, desde então, medidas para minimizar o consumo de energia até mesmo dos edifícios (PITTA, 2001). Para Lamberts *et al*. (2014) a alternativa mais apropriada para superar a crise é aumentar a eficiência no uso da energia, destacando ainda que, atualmente, o produto da arquitetura também deve ser um elemento que tenha eficiência energética.

Na arquitetura, a eficiência energética pode ser entendida como a capacidade da edificação em oferecer aos seus usuários: conforto térmico, visual e acústico com baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Hong *et al.* (2000 *apud* CARLO, 2002) destaca que uma técnica eficiente para estimar o consumo de energia de uma edificação é a simulação termo energética, em virtude da sua eficiência e resultado rápido derivado do cálculo de interações entre ambiente externo e as características do edifício.

Uma das variáveis que representa o ambiente externo na simulação é o arquivo climático. Porém para a aplicação dos dados climáticos na arquitetura e na construção civil é necessário que seja realizado um tratamento estatístico, utilizando metodologias específicas, que transformem uma grande quantidade de dados em ferramentas de trabalho. (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Além disso, uma das maiores dificuldades enfrentadas pelo Brasil na simulação termo energética de edifícios é a falta de dados climáticos de qualidade, e geralmente, quando disponíveis, são ignorados pelos profissionais da área, visto que a maioria dos dados climáticos existentes não é direcionada para aplicação na construção civil (MENDES et al., 2001 apud CARLO, 2002; GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Atualmente, um dos trabalhos mais importantes desta área é a base de dados climáticos elaborada por Roriz (2012) para 411 municípios brasileiros no formato EPW (*Energyplus Weather Data*), que pode ser utilizado em programas de simulação termo energética de edifícios.

Deste modo, este trabalho elabora o arquivo climático para a cidade de Teófilo Otoni nos formatos *Test Reference Year* (TRY) e *Typical Meteorological year* (TMY), com o objetivo de dar subsídio à novas pesquisas na área de

conforto térmico e eficiência energética das edificações, e identificar qual formato melhor representa o clima desse município.

Além disso, este trabalho elabora importantes ferramentas de auxílio ao desenvolvimento de projeto arquitetônico (carta bioclimática, carta solar e rosa dos ventos), as quais, serão utilizadas para propor estratégias de condicionamento passivo para as edificações da região.

1.1 Caracterização do Clima

Teófilo Otoni é um município localizado na região nordeste do estado de Minas Gerais, mais especificamente no vale do Mucuri, com latitude 17° 51' 32" Sul, longitude 41° 30' 32" Oeste a 347 metros de altitude. A cidade é considerada um centro macrorregional, sendo a 18ª cidade mais populosa do estado, com cerca de 140 mil habitantes e 3.242,270 km² (IBGE, 2014a).

O clima Teófilo-otonense é caracterizado como tropical quente semiúmido, ou tropical com estação seca (IBGE, 2014b), com temperatura média anual de 23 °C, invernos secos e verões chuvosos com temperaturas elevadas. A temperatura máxima média no verão é de 31,9°C, com maior máxima registrada até 1990 de 39,2 °C (INMET, 2014).

De acordo com a NBR 15220 – 3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, a cidade de Teófilo Otoni possui como diretrizes construtivas para adequar o edifício ao clima: aberturas para ventilação médias, sombreamento das aberturas, parede leve refletora e cobertura leve isolada. Como estratégia de condicionamento térmico passivo a Norma indica ventilação cruzada no verão e inércia térmica no inverno (ABNT, 2005).

A norma divide o território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas que são relativamente homogenias com relação ao clima, apresentando para cada uma destas zonas recomendações técnico-construtivas, objetivando a adequação das edificações ao clima (ABNT, 2005). Porém, a precisão na caracterização climática de algumas cidades da norma tem sido questionada. Roriz (2012) elaborou uma nova proposta de zoneamento, dividindo o Brasil em 16 zonas bioclimáticas, buscando apresentar a diversidade climática do país no que diz respeito ao comportamento térmico e energético das edificações, porém sem apresentar diretrizes projetais. Deste modo, percebe-se que é necessário uma análise dos dados climáticos da cidade para confirmar a coerência das estratégias sugeridas pela norma.

Além disso, trata-se de uma região de clima quente onde a adoção de diretrizes construtivas condizentes com o clima local permitiria amenizar as altas temperaturas e melhorar o conforto térmico dos usuários. Desta forma, a cidade de Teófilo Otoni configura-se um cenário ideal para o desenvolvimento de pesquisas na área de conforto térmico e eficiência energética.

2 METODOLOGIA

Os dados meteorológicos utilizados para a pesquisa foram obtidos na estação automática de Teófilo Otoni do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, correspondente ao período de 2007 a 2014. As variáveis registradas no arquivo da estação climática são: temperatura do ar, umidade, radiação solar, pressão, temperatura de ponto de orvalho, velocidade, direção do vento e precipitação.

Os dados fornecidos pelo INMET apresentavam várias lacunas em determinados períodos da série, devido a prováveis falhas humanas ou nos equipamentos. Para preencher as lacunas foram utilizadas planilhas eletrônicas fornecidas pelo LATECAE[2]. Essas planilhas preencheram automaticamente os dados faltantes, usando métodos estatísticos. Os meses com mais de 24 horas de lacunas seguidas foram descartados.

O cálculo da radiação extraterrestre para Teófilo Otoni, foi realizado utilizando a planilha eletrônica desenvolvida por Pitta (2001). A planilha gerou um ano de dados, os quais foram tratados e organizados em meses.

2.1 Elaboração do TRY

O TRY, *Test Reference Year* é um arquivo climático composto por 8760 horas de dados. Segundo Goulart (1993) a metodologia para a determinação do TRY consiste em eliminar os anos que possuem temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até que sobre apenas um ano de dados médios, este ano será o ano climático de referência.

O ideal é que a metodologia seja aplicada a uma série de 10 anos completos. Porém, em Teófilo Otoni a estação meteorológica automática foi criada ao final de 2006, estando disponíveis apenas os anos de 2007 a 2014. Além disso, os anos 2007, 2009 e 2011 foram descartados devido a quantidade de dados faltantes, restando apenas 5 anos para a realização da análise.

Na Tabela 1 é apresentada a ordem de eliminação dos anos analisados:

Tabela 1 – Sequência de Eliminação dos Anos

Ordem de Importância	Classificação	TBS (°C)	MÊS E ANO
1	Mais quente	26.09	Feb-10
2	Mais frio	19.51	Jul-08
3	Mais quente	25.08	Jan-13
4	Mais frio	19.98	Aug-12
5	Mais quente	24.43	Mar-14

Fonte: Os autores

[2] LATECAE – UFV, Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de graduação e pós-graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Viçosa. http://www.latecae.ufv.br/pt-BR

Assim o último ano a ser eliminado, 2014, que possui características mais brandas, foi estabelecido como TRY de Teófilo Otoni.

2.2 Elaboração do TMY

O TMY, *Typical Meteorological year* é um arquivo climático formado pela combinação de meses sem extremos de temperatura de diferentes anos, formando um ano climático que nunca existiu (NERL, 1995 *apud* CARLO; LAMBERTS, 2005). Os meses escolhidos como representativos do clima local são aqueles que possuem características mais brandas, dentre os meses disponíveis para análise.

Primeiramente são listadas as médias mensais de TBS (temperatura de bulbo seco) para todos os janeiros disponíveis, em seguida, elimina-se o Janeiro mais quente e o janeiro mais frio. Posteriormente, elimina-se o segundo janeiro mais quente e o segundo Janeiro mais frio. O processo continua até restar apenas um mês. Este mês, será o janeiro do arquivo climático TMY. Repete-se o processo para todos os meses até completar um ano.

Na Tabela 2, são apresentados os meses escolhidos para compor o TMY:

Tabela 2 – Meses Selecionados

Mês	Ano
Janeiro	2014
Fevereiro	2014
Março	2007
Abril	2007
Maio	2013
Junho	2008
Julho	2014
Agosto	2014
Setembro	2010
Outubro	2008
Novembro	2008
Dezembro	2014

Fonte: Os autores

3 Análise Graus-Hora

Segundo Sorgato (2009), graus-hora é um parâmetro climático que pode ser definido através da somatória das diferenças de temperatura horária. Para graus-hora de aquecimento, realiza-se o somatório das diferenças de temperatura que estão abaixo da temperatura base (Tb), para graus-hora de resfriamento é feito o somatório das diferenças de temperatura que se encontram acima da temperatura base (Tb).

Para Givoni (*apud* OLIVEIRA *et al*., 2010) a temperatura de base inferior para países de clima quente em desenvolvimento é 18º C e a superior de 29ºC. As equações abaixo foram utilizadas para calcular a quantidade de graus-hora

de resfriamento (1) e aquecimento (2).

$$GH_{Resf} = \sum TBS_h - T_{b,inf} \quad (1)$$

$$GH_{Aquec} = \sum T_{b,sup} - TBS_h \quad (2)$$

Onde:

- GH_{RESF} = Graus Hora de Resfriamento;
- GH_{AQUEC} = Graus Hora de Aquecimento;
- TBS_h = Temperatura de Bulbo Seco Horária;
- $T_{b,sup}$ = Temperatura de Base superior.
- $T_{b,inf}$ = Temperatura de Base inferior;

Segue na Tabela 3 o somatório de graus-hora de resfriamento e aquecimento para os arquivos climáticos TRY e TMY, considerando, além das temperaturas de base propostas por Givoni, mais dois valores adjacentes, para uma melhor análise dos dados.

Tabela 3 – Graus-hora de resfriamento e aquecimento para o TRY e TMY

Graus de Resfriamento		
$T_{b,sup}$ (°C)	TRY	TMY
29	909.80	896.90
28	1735.50	1670.70
27	2969.03	2830.70
Graus de Aquecimento		
$T_{b,inf}$ (°C)	TRY	TMY
18	849.60	873.70
17	397.00	405.00
16	176.90	174.40

Fonte: Os autores

Observa-se que os resultados obtidos são similares, porém, o TRY mostrou ser mais realista, apresentado maior número de graus-hora de resfriamento e menor número de graus hora de aquecimento, sendo mais condizente ao clima local.

4 FERRAMENTAS PARA O PROJETO BIOCLIMÁTICO

4.1 Carta Bioclimática

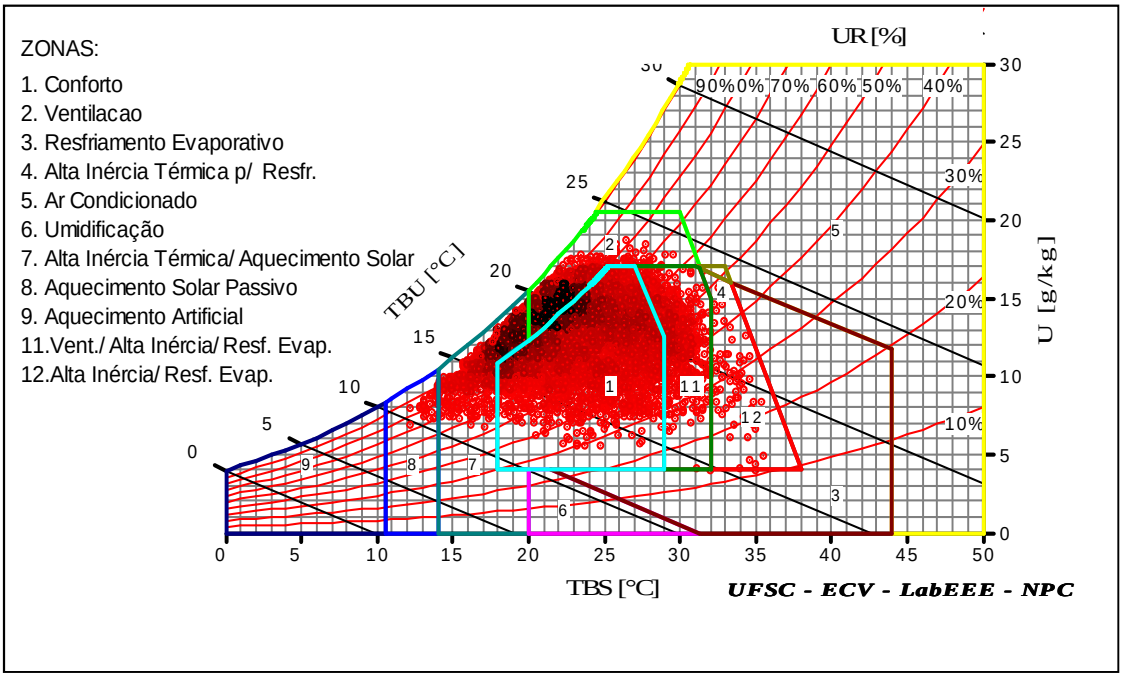
Projeto Bioclimático é aquele que tem a finalidade de atender as condições de conforto dos usuários utilizando os elementos da própria edificação, buscando sempre aproveitar as condições favoráveis do clima (BAGNATI, 2013). Segundo Givoni (1992 *apud* MACIEL, 2002) um meio para a elaboração das diretrizes construtivas de um projeto bioclimático é a análise dos dados climáticos anuais que mais afetam o conforto dos usuários e o

desempenho da edificação. Nesse sentido, a carta bioclimática é ferramenta muito útil, uma vez que, propõe estratégias bioclimáticas para a adequação da arquitetura ao clima de acordo com o local em estudo.

A carta bioclimática foi proposta inicialmente por Olgyay em 1963, porém, deveria ser aplicada somente para as regiões de zona temperada (ANDREASI, 2001). Em 1992, Givoni adaptou e aprimorou a carta bioclimática para países de clima quente em desenvolvimento, a qual foi considerada a mais adequada para realidade brasileira (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Na Figura 1, encontra-se a carta bioclimática gerada para Teófilo Otoni utilizando o programa Analysis Bio (LABEEE, 2010). Foram inseridos no programa os dados de temperatura e umidade relativa do ar das 8760 horas do TRY, obtendo-se as estratégias bioclimáticas mais apropriadas para as edificações ao longo do ano, como mostra o Quadro 1.

Figura 1 – Carta Bioclimática de Teófilo Otoni



Fonte: Programa Analysis-BIO 2.2 (2015)

Quadro 1 – Percentuais de estratégias bioclimáticas para Teófilo Otoni

CONFORTO					51.1
DESCONFORTO	**FRIO**	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	16.6	16.9	48.9
		Aquecimento Artificial	0.0		
		Aquecimento Solar Passivo	0.3		
	CALOR	Ventilação	23.0	32.1	
		Ventilação/Alta Inércia	0.0		
		Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	8.3		
		Alta Inércia Térmica p/ Resfriamento	0.0		
		Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	0.8		
		Ar Condicionado	0.0		
		Resfriamento Evaporativo	0.0228		
		Umidificação	0.0		
SOMBREAMENTO					77.6

Fonte: Os autores

Analisando os valores do Quadro 1, percebe-se que a porcentagem de horas de conforto do TRY é de 51,1% e o desconforto anual é de 48,9%. Do total de horas de desconforto, 32,1 % é causado pelo calor e 16,9% devem-se ao frio.

Dentre as estratégias bioclimáticas indicadas para correção do desconforto causado pelo calor a principal é a ventilação (23%), e para o desconforto causado pelo frio a estratégia que mais se destaca é alta inércia térmica com aquecimento solar (16,6%). Entretanto, a natureza dos dois problemas apresentados é paradoxal, e vale a pena questionar se a adoção de uma estratégia não anularia a outra, devendo-se buscar sistemas construtivos mais flexíveis, que atendam as duas necessidades.

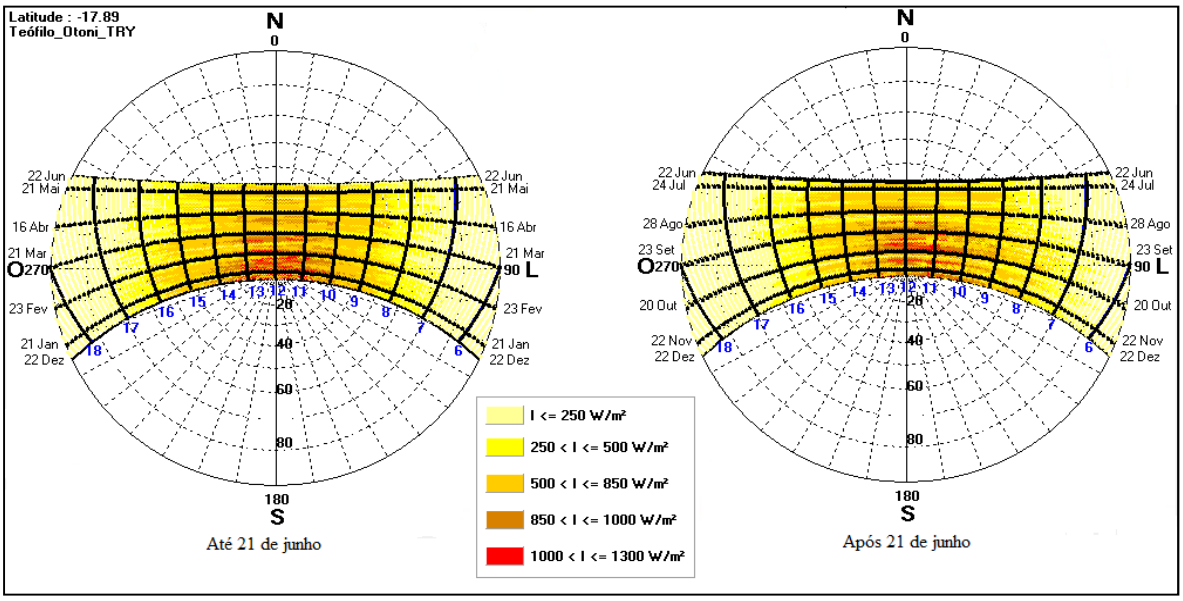
4.2 Carta Solar

A carta solar é uma ferramenta de auxilio no projeto de proteções solares, que fornece dois ângulos: o azimute solar e a altura solar, os quais são utilizados para encontrar a orientação do raio solar em determinado horário do dia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Como visto anteriormente o sombreamento é a estratégia bioclimática mais importante para o Teófilo Otoni. De acordo com a carta bioclimática, cerca de 76% das horas do ano requerem sombreamento das aberturas. Portanto, é fundamental que o arquiteto utilize a carta solar da região para determinar quando o sol entrará por uma abertura e se nessa orientação é necessário ou não a utilização de sombreamento através de proteções solares.

Na Figura 2 é apresentada a Carta Solar de Teófilo Otoni, plotada com o auxílio do programa Analysis SOL-AR, utilizando os dados horários de Radiação Global Horizontal do TRY.

Figura 2 – Carta Solar de Teófilo Otoni (Radiação Global Horizontal)



Fonte: Programa Analysis SOL-AR 6.2 (2015)

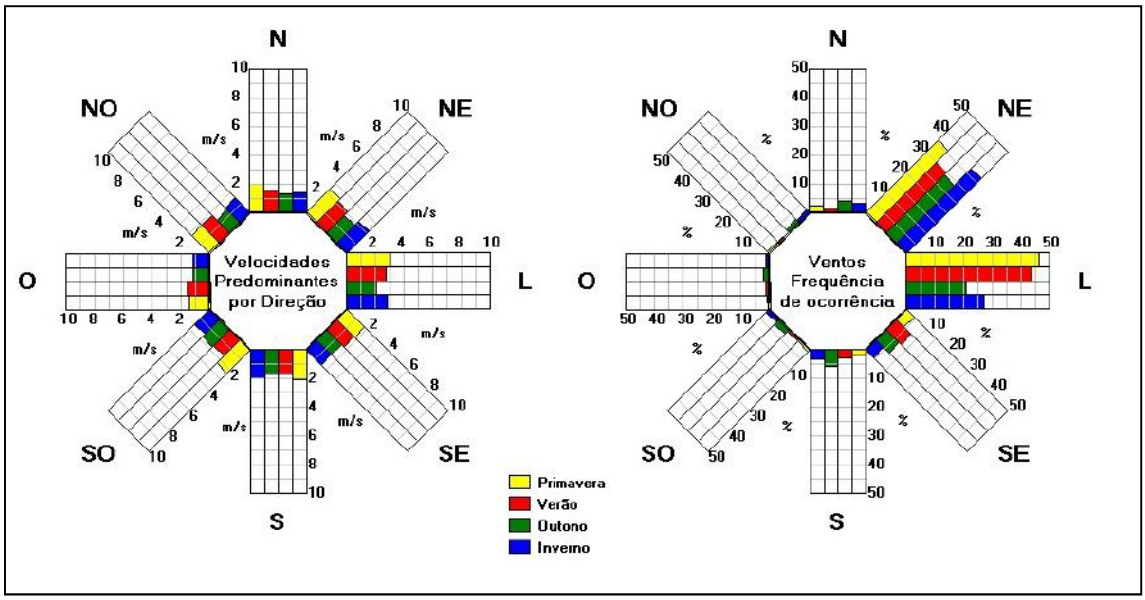
4.3 Rosa dos Ventos

A rosa dos ventos é um gráfico que apresenta a direção principal e a velocidade predominante dos ventos de uma determinada região ao longo do ano. Segundo Leão (2007) a rosa dos ventos pode ser utilizada em conjunto com a carta bioclimática, auxiliando na tomada de decisões durante o projeto. Assim, o arquiteto pode decidir quando deve aproveitar ou evitar o vento de acordo com a temperatura e a umidade relativa do ar.

A rosa dos ventos de Teófilo Otoni foi obtida com o auxílio do programa Analysis SOL-AR. O mesmo oferece a possibilidade de plotar a rosa dos ventos para frequência de ocorrência dos ventos e velocidades médias predominantes para cada estação do ano, além de apresentar a porcentagem de ventos ausentes de acordo com o período do dia.

A Figura 3 apresenta a rosa dos ventos gerada para Teófilo Otoni, utilizando os dados horários do TRY:

Figura 3 – Rosa dos ventos de Teófilo Otoni - SOL-AR



Fonte: Programa Analysis SOL-AR 6.2 (2015)

Segue na Tabela 5 a frequência de ocorrência dos ventos para cada estação do ano e a porcentagem de ventos ausentes de acordo com o período do dia.

Tabela 4 – Frequência de Ocorrência e Ventos Ausentes

Frequência de Ocorrência				
	P	V	O	I
N	2.37	1.31	4.13	3.11
NE	35.76	29.91	28.57	36.92
L	45.87	43.43	20.71	26.91
SE	3.85	7.46	6.60	4.00
S	1.99	2.77	5.62	3.16
SO	0.88	0.94	2.16	1.51
O	0.65	1.13	1.84	0.98
NO	0.97	0.85	1.75	1.33
Ventos Ausentes (%)				
Madrugada	19.26	29.21	49.73	41.56
Manhã	4.63	8.70	26.39	20.04
Tarde	1.12	1.31	5.20	1.95
Noite	5.56	9.55	33.33	24.73

Fonte: Os autores

De acordo com a Tabela 5, a maior frequência de ocorrência dos ventos para o verão e primavera é na direção Leste, e para o outono e inverno a maior frequência de ocorrência é na direção Nordeste. A velocidade predominante variou entre 2,0 e 3,0 m/s. O Período do dia com maior porcentagem de ventos ausentes é a madrugada, para todas as estações do ano.

5 ANÁLISE DAS DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PROPOSTAS PELA NORMA

De acordo com a Norma 15220 – 3: Desempenho térmico das edificações – parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social – a cidade de Teófilo Otoni localiza-se na Zona 5 e possui como diretrizes construtivas para adequar o edifício ao clima: aberturas para ventilação médias sombreadas, com áreas que variam de 15% a 25% da área do piso. A transmitância térmica das paredes deve ser menor que ou igual a 3,60 W/ m².K, com atraso térmico inferior ou igual a 4,3 horas, para tanto podem ser utilizados tijolos furados com espessura variando entre 14 e 20 centímetros. Para a cobertura, é necessário utilizar uma laje de concreto para garantir uma transmitância térmica menor que ou igual a 2,00 W/m².K, e atraso térmico inferior ou igual 3,3 horas. Como estratégias de condicionamento térmico passivo a norma indica ventilação cruzada no verão e inércia térmica no inverno (ABNT, 2005).

Analisando os resultados obtidos, a Ventilação Natural é a estratégia mais adequada para a correção do desconforto por calor. Neste caso, deve-se adotar aberturas amplas e sombreadas durante o período quente, garantindo a ventilação cruzada no interior das edificações, devendo ainda ter o cuidado de orientar as janelas na direção principal dos ventos (Nordeste - Leste) e projetar corretamente as proteções solares impedindo a entrada de luz solar indesejável.

A estratégia bioclimática que apresentou-se mais efetiva para alcançar o conforto durante os períodos frios foi a Alta Inércia Térmica com Aquecimento Solar Passivo. Para este caso pode-se adotar aberturas de forma a aproveitar o sol nos períodos frios e envoltórias que evitem a perda de calor para o ambiente externo durante a noite.

Portanto, no que diz respeito a estratégias de condicionamento passivo, os resultados obtidos com a carta bioclimática são condizentes com as diretrizes propostas na norma.

6 CONCLUSÕES

O arquivo climático da cidade de Teófilo foi elaborado em dois formatos (TRY e TMY), sendo o TRY considerado o mais realista, apresentando maior número de graus-hora de resfriamento e menor número de graus-hora de aquecimento, o que é mais compatível ao clima local.

Esta pesquisa contribui para a melhoria da eficiência energética das edificações da cidade, visto que, foram criadas importantes ferramentas de projeto (carta bioclimática, carta solar e rosa dos ventos). Dessa forma, os profissionais da área podem optar por soluções construtivas condizentes com o clima local, ajudando a amenizar temperaturas e proporcionando conforto aos usuários. Além disso, poderá utilizar o arquivo climático gerado em programas de simulação termo-energética de edifícios.

É importante lembrar que a carta bioclimática determina as estratégias mais adequadas para alcançar o conforto térmico na região em estudo, porém,

de acordo MACIEL (2006) é preciso realizar estudos mais específicos para verificar se tal estratégia é realmente aplicável naquela região. A ventilação natural, por exemplo, foi a principal estratégia para a correção do desconforto por calor, neste caso, é necessário analisar cuidadosamente se o regime dos ventos da cidade Teófilo Otoni é capaz de suprir tal necessidade sem a utilização de ventilação mecânica.

Para a elaboração do arquivo climático foram utilizados os dados climáticos horários disponibilizados pela estação meteorológica do INMET, que está localizada próximo ao aeroporto de Teófilo Otoni, situado em uma região não urbanizada e com grande volume de vegetação. Tais características são diferentes do meio urbano, podendo causar diferenças climáticas. Consequentemente, os resultados poderiam ser diferentes, se os dados climáticos fossem coletados em áreas urbanas mais adensadas.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo financiamento desta Pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ANDREASI, W.A. **Avaliação do Impacto de Estratégias Bioclimáticas na Temperatura Interna de Edificações no Passo do Lontra, Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul.** 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2001.

ARANTES, B. **Conforto Térmico em Habitações de Interesse Social - Um Estudo De Caso**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru – SP, 2013.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento Bioclimático e Arquitetura Brasileira: Qualidade do Ambiente Construído**. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2013.

CARLO, J. C. **Diferenças na Simulação do Consumo de Energia Elétrica em Edificações Decorrentes do Uso de Arquivos Climáticos de Sítios e Anos Distintos**. 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2002.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **AET N° 02/04 Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes**: Processamento De Arquivos Climáticos Para Simulação de Desempenho de Edificações – Florianópolis: Fundação de Ensino e Engenharia em Santa Catarina/UFSC, 2005.

GOULART, S. V. **Dados climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis.** 1993. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 1993.

GOULART, S. V.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras** – Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados gerais.** Disponível em:<http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?lang=_ES&codmun=316860&search=minas-gerais|teofilo-otoni|infograficos:-dados-gerais-do-municipio.> Acesso em: 17 mai. 2014a.

_____. **Biblioteca IBGE. Brasil - Climas.** Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20-%20RJ/BrasilClimas.jpg.> Acesso em: 05 nov. 2014b.

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Temperatura Máxima Teófilo Otoni-MG (1961-1990)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/planilhas/Temperatura-Maxima_NCB_1961-1990.xls>. Acesso em: 5 nov. 2014.

LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES. **Programa Analysis-BIO (versão 2.2)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2010. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>. Acesso em: 5 set. 2015.

_____. **Programa Analysis SOL-AR (versão 6.2)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: 5 set. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LEÃO, E. F. T. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá - Mato Grosso.** 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Curso de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2007.

MACIEL, A. A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios.** 2002. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2002.

MACIEL, A. A. **Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico**. 2006. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2006.

OLIVEIRA, L. *et al*. **Análise das Condições de Conforto Térmico em Habitações de Interesse Social na Região Sul do RS**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC. p.1-10, 2010.

PITTA, T. O. **Estudo de Métodos Diretos e Indiretos de Estimativa de Irradiação Solar Global Diária Horizontal a Partir de Observações Superficiais de Cobertura Total De Nuvens em Florianópolis, SC.** 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2001.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. São Carlos, SP. 2012.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente.** 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2009.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DA RESPOSTA TÉRMICA DO ENVOLTÓRIO NO AMBIENTE SALA DE AULA DO EDIFÍCIO VILA PENTEADO[1]

OMENA, Thiago Henrique (1); BUNDER, Jeferson (2); DUARTE, Silvia (3); GUIDO, Lucienne (4); TRAVAGLIA, Andreia (5)

(1) USP/UFT, e-mail: omena@usp.br; (2) USP, e-mail: jefersonbunder@gmail.com; (3) USP, e-mail: silviaduarte@bol.com.br (4) USP, e-mail: lucienneguido@terra.com.br; (5) USP, e-mail: agtravaglia@gmail.com

RESUMO

O objetivo do trabalho é analisar a resposta térmica dos componentes do envoltório de um ambiente sala de aula do Edifício Vila Penteado, localizado na cidade de São Paulo – SP. Foram avaliadas temperatura de superfície interna e externa das fachadas da sala, da laje e da cobertura do envoltório; além da temperatura externa, interna e umidade relativa externa e interna. Em posse dos dados empíricos coletados por dois hobos, uma câmera termovisora, uma estação meteorológica e um termo higrômetro, foi possível produzir um gráfico de resposta térmica do envoltório, bem como sua fórmula de dispersão de resultados. Após essa análise, foi realizado uma simulação teórica por meio de metodologia padronizada pelo CSTB para avaliar os ganhos de calor de cada componente do envoltório e assim, entender o desempenho térmico desta edificação durante o período analisado. Observou-se que no horário de maior temperatura externa (14:30 horas do dia 19 setembro de 2015) registrou-se 34,65ºC com um atraso de onda térmica do envoltório de 3 horas na qual aferiu-se um amortecimento térmico de 5,33ºC com uma temperatura ambiente interna de 29,32ºC.

Palavras-chave: Envoltório. Resposta térmica. Simulação teórica. CSTB.

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the thermal response of the components of envelopment of the environmental classroom Vila Penteado building, located in São Paulo - SP. Besides the slab surface temperature and the coverage of the envelope. In addition, were evaluated the internal, external temperature, external and internal relative humidity. In possession of the empirical data collected by two hobos, one thermal camera, a weather station and a hygrometer term, it was possible to produce a thermal response graph of the envelope, as well as its own dispersion formula. After this analysis was performed a theoretical simulation using standardized methodology by CSTB to evaluate the heat gains of each envelope component and thus understand the thermal performance of this building during the analysis period. It was observed that the most external temperature period (14:30 of 19 September 2015) it was registered 34,65ºC with an envelope thermal wave delay of 3 hours in which it was measured a thermal damping 5,33ºC with an internal temperature of 29,32ºC.

***Keywords**: Envelopment. Thermal response. theoretical simulation. CSTB*

[1] OMENA, Thiago Henrique; BUNDER, Jeferson; DUARTE, Silvia; GUIDO, Lucienne; TRAVAGLIA, Andreia. Análise da resposta térmica do envoltório no ambiente sala de aula do edifício Vila Penteado. in: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

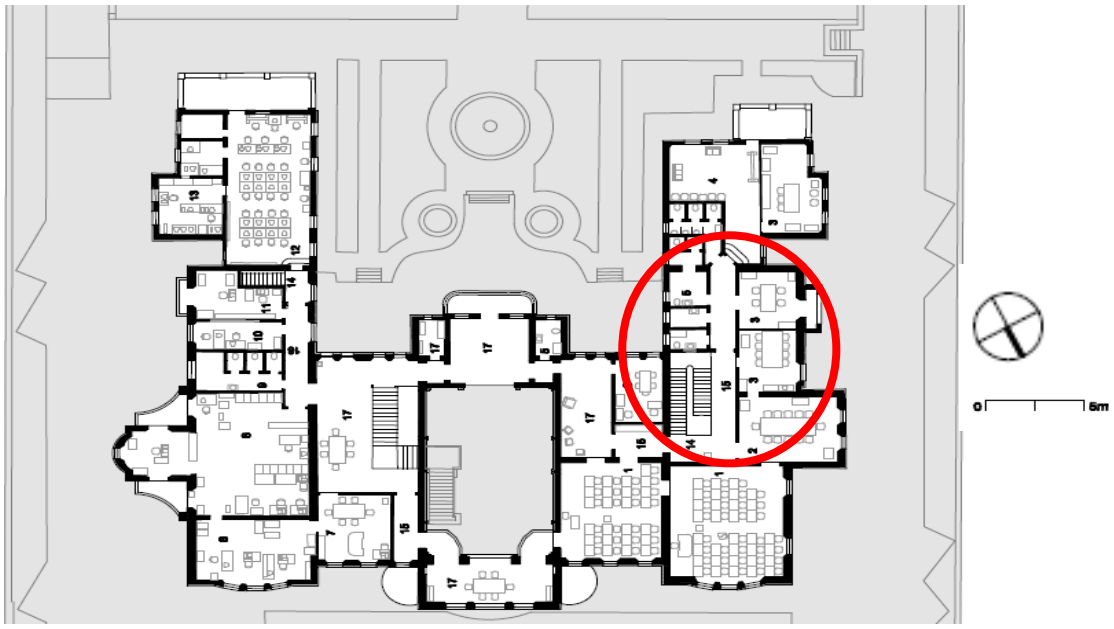
A busca pelo bem-estar físico, fisiológico e psicológico do ser humano já era considerada, segundo Auliciems e Szokolay (1997), desde Sócrates, no século IV a.C., o qual já tinha algumas ideias a respeito da adequabilidade climática de residências e de como construir para assegurar conforto térmico. Vitruvius, no século I d.C., escreveu sobre a necessidade de se considerar o clima nos projetos, por razões de saúde e conforto. No século XX, por sua vez, com a crescente industrialização, tornou-se importante a visão de melhores condições ambientais para o desenvolvimento do trabalho relacionado à capacidade produtiva do homem. Após a Segunda Guerra Mundial, nos anos 60, os estudos de conforto térmico ganharam um caráter multidisciplinar envolvendo profissionais nas áreas de arquitetura, engenharia, fisiologia e psicologia.

Uma das vertentes abordadas neste ramo do conhecimento, é a resposta térmica que determinado envoltório pode oferecer segundo as composições de projeto, tais como, tipologia construtiva, onda térmica, conforto adaptativo etc.

2 OBJETIVO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo desta pesquisa é compreender o comportamento térmico do envoltório do edifício da Rua Maranhão da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, mais especificamente a sala de aula 58 (2º pavimento), quanto ao conforto e adequação ao seu uso atual, a atividade de ensino e pesquisa. É importante ressaltar que a sala de aula em questão foi escolhida como objeto de estudo, por estar localizada na orientação mais crítica, nordeste e noroeste, da sua região climática (figura 1).

Figura 1 - Vila Penteado – pavimento superior



Fonte: Adaptado do Plano Diretor Participativo da FAUUSP, 2012.

A pesquisa apresenta um caráter de cunho exploratório, experimental descritivo e de aplicação, na qual para a coleta dos dados foram adotados procedimentos sistematizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a descrição e especificação dos estudos e realização dos ensaios. Os dados de temperatura de globo e umidade foram adquiridos por meio de dois *hobos* de coleta como demonstra a figura 2. A estação meteorológica composta pelos dois *hobos* foi colocada no centro da sala de aula no edifício da FAU Maranhão no 1º andar (figura 2B).

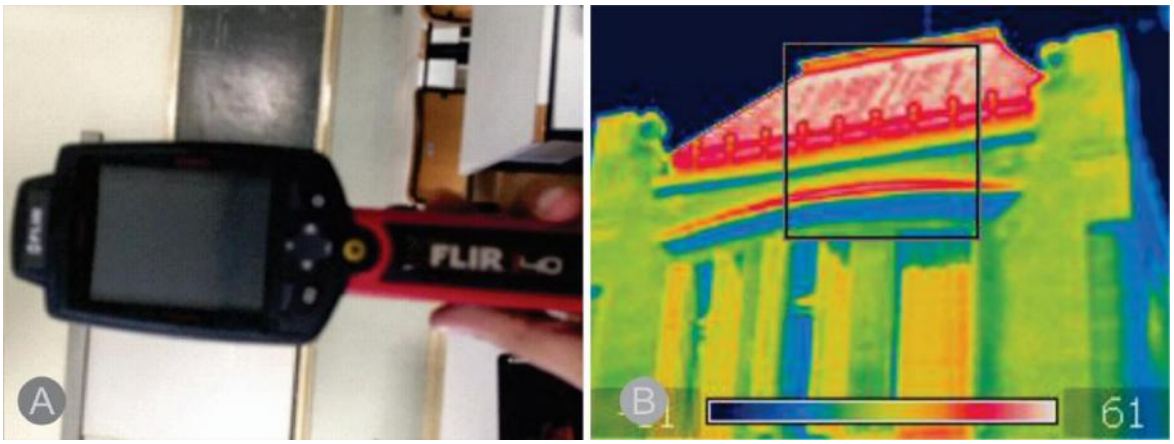
Figura 2 - *Hobos* de coleta de dados empíricos (Sala 58)



Fonte: Autores, 2015

Para a coleta dos dados de temperatura de superfície para analisar a resposta térmica do envoltório da edificação, foi utilizado uma câmera termovisora da marca *Flir* i40 (figura 3A). O aparelho consegue medir temperaturas superficiais até uma distância de 50 metros (figura 3B). Para isto, faz-se necessário delimitar a emissividade do material, e após orientação técnica, foi utilizado o valor de 0,95.

Figura 3 - Câmera termovisora



Fonte: Autores, 2015

Após a análise de dados, foi feito uma simulação teórica do ambiente utilizando o método CSTB e os dados bioclimáticos da cidade de São Paulo, fornecidos pelo INMET, com o intuito de entender melhor o edifício e discutir a resposta térmica do ambiente analisado.

Para esta simulação, fez-se necessário a compressão dos componentes do envoltório para poder calcular o coeficiente global de transmissão térmica (K) de cada componente. Neste sentido, a cobertura do edifício Vila Penteado, possuí duas inclinações de 55 e 40 graus, ambas aferidas visualmente, (figura 4B) e é composta de telha de ardósia (figura 4A), com estrutura de madeira (ripa) de peroba rosa 1,5 x 5 cm e placa de

compensado de madeira aumentar a estanqueidade do sistema.

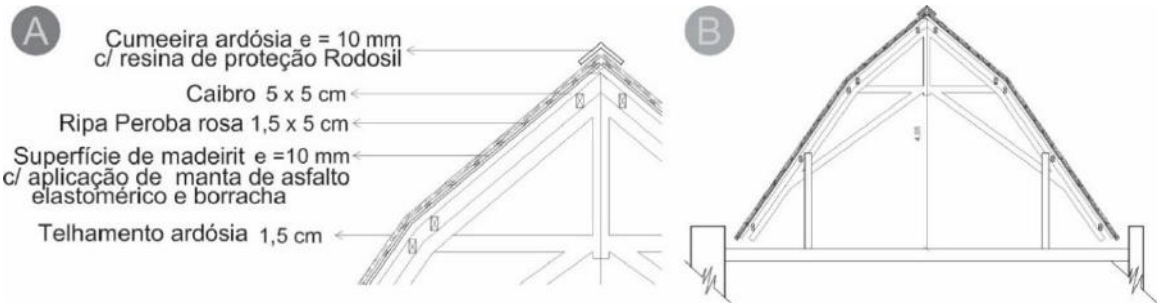
Figura 4 - Cobertura Vila Penteado



Fonte: Autores, 2015.

Os contratos de restauração da edificação demonstram que foram substituídas partes das placas de madeira que ficam entre os caibros e as terças, nesta substituição, nas novas placas, que possuem coloração mais clara, foi aplicada uma substância negra viscosa com o intuito de aumentar o desempenho térmico e estanqueidade do sistema. A altura interna da cobertura, da laje do ático à cumeeira é de aproximadamente 4 metros (figura 5B).

Figura 5 - Cobertura Vila Penteado



Fonte: Autores, 2015.

Para a recomposição do forro, que originalmente era feito de estuque, foram realizados experimentos quanto à impregnação por materiais à base de cimento, cal, areia e baucril (selante). A diferença entre o piso e o forro da sala investigada (figura 6), é que esta não possuí as camadas superiores do compósito, de 10 mm de Madeirit, Cinasita (antiacústica), e assoalho.

Figura 6 - Forro - Vila Penteado



Fonte: Adaptado de Martins (Org.), 2012.

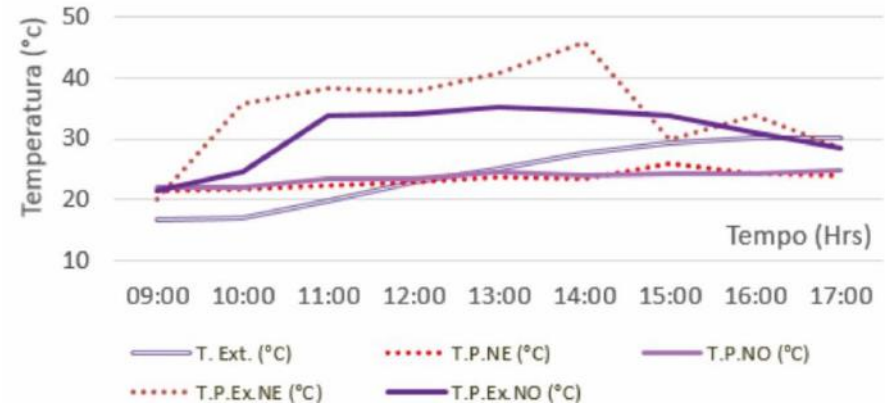
Durante as pesquisas bibliográficas, não se encontrou dados para classificar os 60 cm de parede externa, e entender suas camadas, assim, optou-se por seguir o exposto por Moliterno (2010), onde descreve que os tijolos maciços de barro na década de 20 possuíam dimensões de 27 x 13,5 x 6,5 cm. Desta maneira, este trabalho optou por definir as paredes externas em 54 cm de tijolos e 6 cm de argamassa. Portanto, para esta pesquisa, considera-se a parede externa (60 cm) como sendo: 2,5 cm (argamassa) + 27 cm (tijolo) + 1 cm (argamassa) + 27 cm de tijolo + 2,5 cm de argamassa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 7 apresenta as temperaturas de superfície das paredes da sala de aula que possuem relação direta com o meio externo, neste caso, a sala apresenta paredes com duas configurações distintas, uma voltada geograficamente para NE e outra para NO.

Os dados apresentados a seguir possuem como variável de controle a temperatura do ar externo do período analisado que compreende das 09:00 às 17:00 do dia 07/10/2015, para compreensão da legenda apresenta-se a temperatura superficial da parede como sendo o prefixo T.P. e sua consequente orientação NO ou NE, quando fizer referência à face externa adiciona-se o sufixo Ex.

Figura 7 - Comparação das temperaturas de superfície das paredes



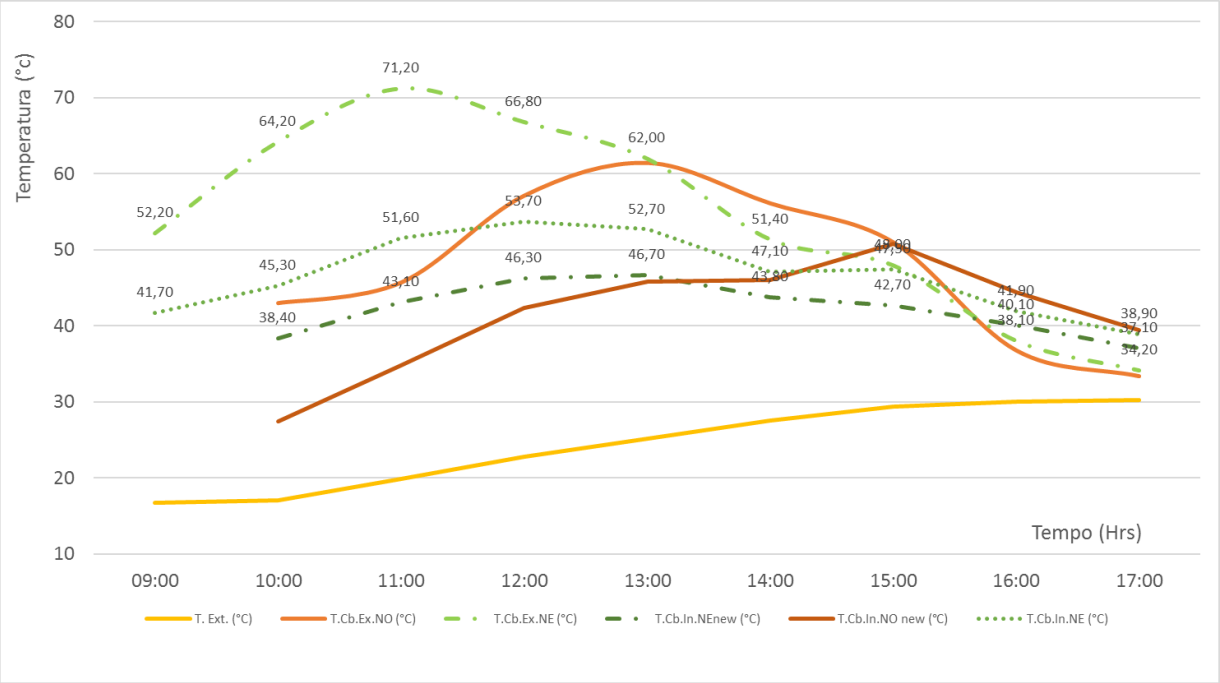
Fonte: Autores (2015)

É possível observar que a menor temperatura externa do ar foi 16,70°C e a

máxima 30,30°C às 17:00 horas. A parede com orientação NE, em sua face externa tem no início da análise 20,20˚C e chega à temperatura superficial limite de 45,80˚C às 14:00 horas e depois começa a diminuir sua temperatura.

Outro componente do envoltório, responsável também pela resposta térmica da edificação é a cobertura, na qual existem dois tipos de superfícies, uma com madeiramento novo (após restauração) e outra com antigo. Para efeito de comparação de desempenho, estas faces foram também computadas na análise, onde a variável utilizada para balizar os dados é a temperatura externa (T. Ext.) as demais temperaturas são chamadas de temperatura da cobertura interna (T. Cb. In) ou externa (T. Cb. Ex.) com sufixo da orientação geográficas das mesmas. Ainda é precisa ressaltar que quando a temperatura for da parte nova e reformada do madeiramento, utiliza-se o sufixo (New) junto às siglas.

Figura 8 - Comparação das temperaturas superficiais coberturas

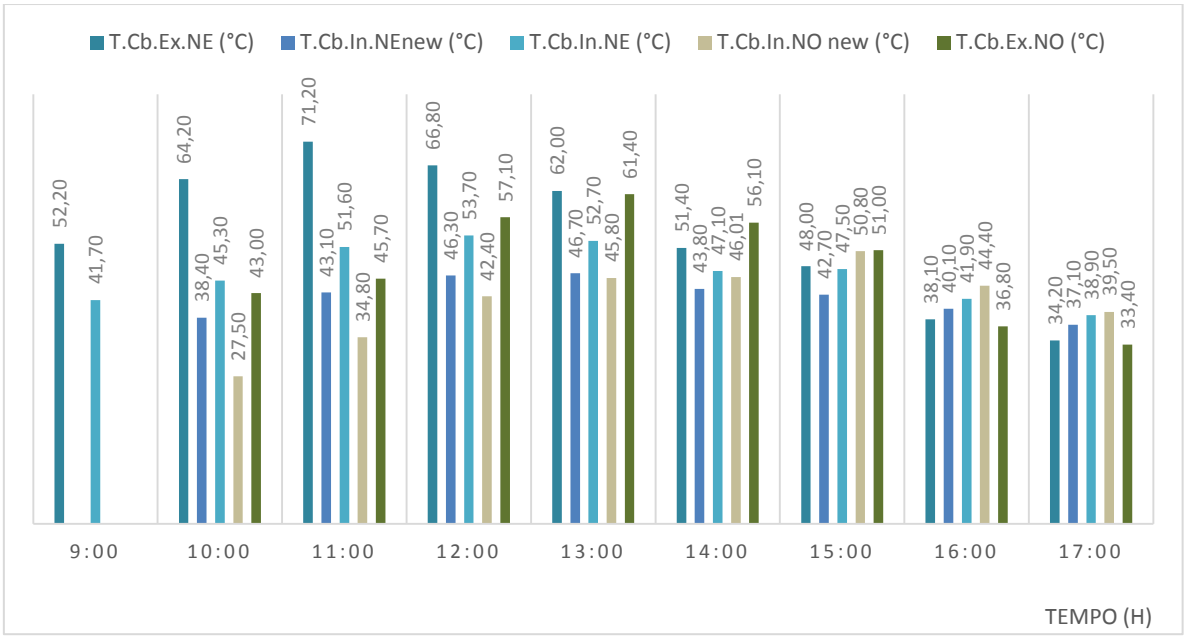


Fonte: Autores (2015)

É possível observar ao analisar o gráfico da cobertura (figura 8) que o pico de temperatura superficial observada para a orientação NE foi às 11:00 horas da manhã onde a face externa da cobertura apresentou temperatura de 71,20˚C enquanto sua face interna apresentou temperatura de 43,10˚C. Já o pico de temperatura para a orientação NO não aconteceu às 11:00 horas, mas sim às 13:00 horas (provavelmente por conta do ângulo zenital).

A figura 9 apresenta uma comparação entre as temperaturas superficiais observadas em todos os elementos do envoltório da sala de aula do 1º andar da edificação Vila Penteado, para melhor compreender quais apresentaram os resultados mais expressivos em relação ao horário de coleta de dados.

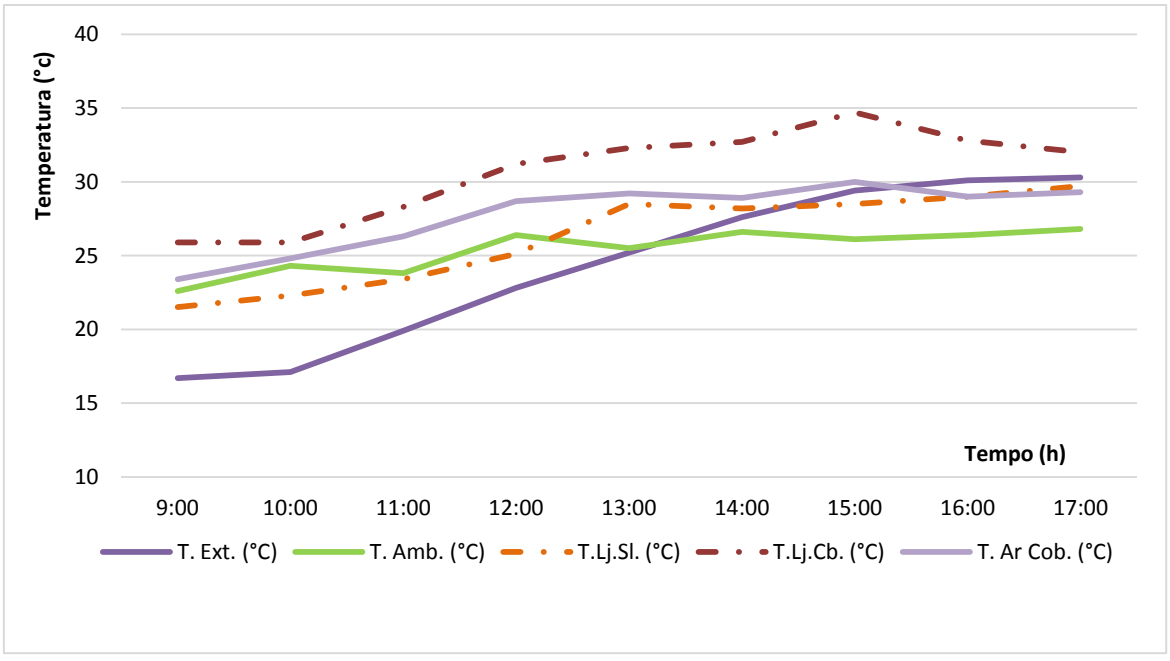
Figura 9 – Comparação entre temperatura superficial e temperatura da cobertura



Fonte: Autores (2015)

A figura 10 apresenta a comparação da temperatura superficial da laje da sala de aula e sua face oposta, ou seja, a da cobertura, e para melhor compreensão destas variáveis, são apresentadas ainda as temperaturas de ar externo, do ambiente sala de aula e do ambiente da cobertura.

Figura 10 - Comparação entre T. Ext., T. Amb., T. Ar Cob., T. Lj.Cob. e T. lj. Sl.

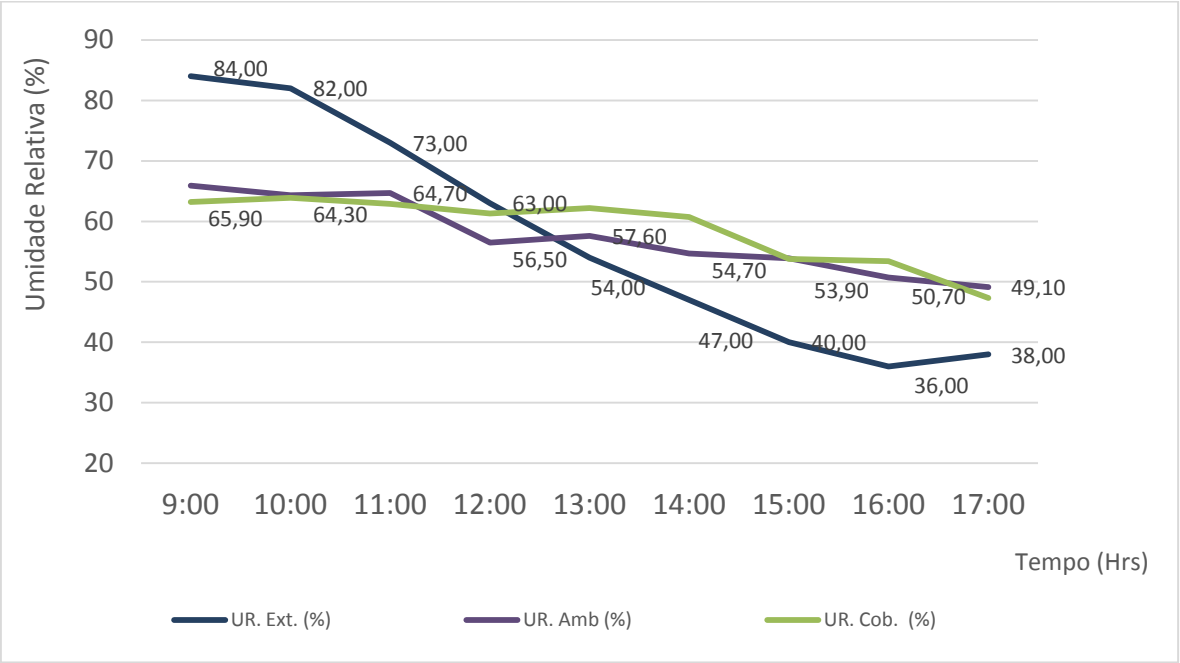


Fonte: Autores (2015)

Nota-se que as temperaturas superficiais da laje, apresentam comportamento de tendência similar, enquanto, a temperatura ambiente da cobertura teve maior aumento de temperatura com menor oscilação, já a temperatura ambiente da sala teve maior oscilação com menor ganho de temperatura.

No comportamento das umidades relativas (figura 11), observam-se tendências similares ao comportamento das temperaturas ambientes, o que era de se esperar visto que são variáveis relacionadas, para um mesmo ambiente, e uma dada temperatura, quando a temperatura sobe, a umidade tende a cair. Portanto, nota-se que a umidade relativa da cobertura teve uma queda similar à do ambiente da sala de aula, entretanto com menor variação e nota-se também que houve uma queda acentuada na umidade externa, entretanto internamente isso não foi observado, o que pode demonstrar parte da eficácia do envoltório.

Figura 11 - Comparação de Umidades Relativas

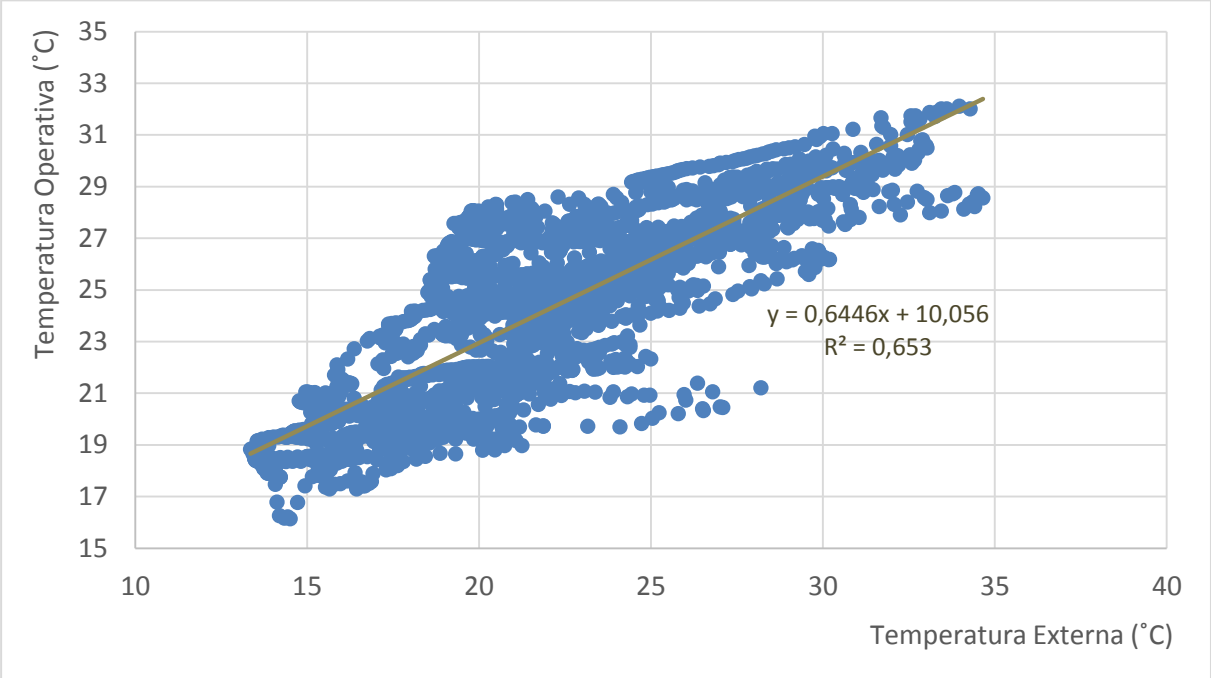


Fonte: Autores (2015)

Após realizadas as análises do envoltório, foi possível fazer um gráfico de resposta térmica do edifício relacionando cada temperatura externa com sua correspondente temperatura operativa, calculada com base na temperatura radiante média (Trm) e a velocidade do vento correspondente durante o período do estudo deste trabalho (figura 12).

Observa-se uma variação de temperatura externa de 13 a 34 ˚C (amplitude térmica de 21 graus) frente à uma variação interna de 18 a 33 ˚C (amplitude térmica de 15 graus), o que contabiliza uma diferença de amplitude térmica entre externo e interno na ordem de 40%.

Figura 12 – Resposta térmica do edifício comparando T. Ext. e T. Op.



Fonte: Autores (2015)

4 SIMULAÇÃO TEÓRICA – MÉTODO CSTB

Após reconhecer o envoltório do edifício Vila Penteado realizou-se a simulação teórica segundo a método CSTB, com o propósito de avaliar os componentes do envoltório e verificar, quais participam para ganhos e perdas de calor.

A tabela 1 demonstra os coeficientes globais de transmissão térmicas (K) das paredes que tem contato com o meio exterior e o interior da sala de aula analisada (paredes NE e NO). Neste sentido, ambas apresentam o mesmo coeficiente de 1,01 W/m²˚C.

Observa-se também que o menor K é o da laje de piso da sala de aula, por conta da ser o componente do envoltório que possuí maior quantidade de camadas constituintes, dificultando assim as trocas térmicas. Seguindo este raciocínio, o maior K encontrado foi o da laje de cobertura (que separa a ambiente sala de aula, do da cobertura), por ter menor variabilidade de materiais constituintes e ter menor espessura efetiva, desta maneira, a troca de calor entre o ambiente sala de aula e a cobertura é alta de 140Δt entra a sala e a cobertura.

Tabela 1 – Reconhecimento do envoltório e cálculo de coeficiente global de transmissão térmica e ganhos de calor solar

Entrada de dados - Edificação Vila Penteado																			
	Ts =	32,12	°C		Td =	25,41	°C		Ur =	60,53	%								
	ts =	16,20	°C		td =	23,77	°C	Nºv. =	6	= Ventilação =	13,37	trocas de ar por hora						
	Pé dir. =	5	m		Comp. =	8,45	m		Larg. =	7,15	m								
Áreas opacas e Translúcidas																			
	Parede (NE)				Parede (NO)				Telhado (3 águas)										
	Dimensões				Dimensões				Dimensões				1,19	2,81					
	7,15	5			8,45	5			3,43	8,45			Área 1 =	1,69	m²	Cobertura			
	Transparente				Transparente				1,86	8,45			Área 2 =	13,50	m²	Parede			
	1,00	2,78			1,18	2,53			2,84	6,77			Área 3 =	15,72	m²	Cobertura			
Area Op =	27,41	m²			36,28	m²			104,59	m²			Área 4 =	28,98	m²	Parede			
Entrada de dados - Envoltória (camadas, coeficiênte de condutibilidade térmica e espessura)																			
	Parede (NE)				Parede (NO)				Telhado (3 águas)				Laje (Cob.)				Laje (Piso)		Parede Interna
	Argamassa				Argamassa				Ardósia				Argamassa				Argamassa		Argamassa
Camada 1	γ(w/m*C)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)	γ(w/m*C)	e (m)
	0,85	0,06			0,85	0,06			2,10	0,015			0,85	0,04			0,85	0,04	0,85	0,03
	α (abs.)	he			α (abs.)	he			α (abs.)	he			α (abs.)	he						
	0,4	20			0,4	20			0,8	20			0,25	20,00						
Camada 2	Tijolo Maciço				Tijolo Maciço				Ar confinado				Madeira Juçara				Madeira		Tijolo Maciço	
	γ(w/m*C)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)			Rar(m²*C/w)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)			γ(w/m*C)	e (m)	γ(w/m*C)	e (m)
	0,72	0,54			0,72	0,54			0,15	0,03			0,20	0,02			0,20	0,03	0,72	0,22
Camada 3									Madeirit								Ar confinado			
									γ(w/m*C)	e (m)				Interior Cob.			Rar(m²*C/w)	e (m)		
									0,06	0,01				6			0,17	0,10		
Camada 4																	Escória antiacústica			
									Obs.: Com camadas Laje (Cob.)								γ(w/m*C)	e (m)		
																	0,19	0,05		
	1/he+1/hi =	0,17			1/he+1/hi =	0,17			1/he+1/hi =	0,22			1/he+1/hi =	0,34			1/he+1/hi =	0,34	1/he+1/hi =	0,24
Cálculo de coeficiênte global de transmissão térmica K - (W/m²°C) - 1/K = 1/he + 1/hi + ei/γi + ... + en/γn																			
	Parede (NE)				Parede (NO)				Cobertura				Laje (Cob.)				Laje (Piso)		Parede Interna	
	K=	1,01			K=	1,01			K=	1,41			K=	2,05			K=	0,72	K=	1,72

Fonte: Autores (2015)

O K da parede interna foi de 1,72 W/m²°C, o que representa um aumento de 70,54% no coeficiente global de transmissão térmica da parede interna quando comparada com a parede que divide o ambiente com o meio externo. Esta mesma análise quando comparada com a cobertura que possuí um K de 1,41 W/m²°C, apresenta um aumento no coeficiente na ordem de 40% quando comparado ao K das paredes externas. Vale ressaltar, que a cobertura não foi calculada como um componente do envoltório da sala de aula (por conta do pé direito), mas sim calculada como um ambiente à mais e depois verificado qual era a troca térmica entre estes ambientes através da laje que separa os mesmos, neste trabalho, esta ação configura-se em uma adaptação metodológica para resolver o problema de ganho de calor entre os ambientes.

A tabela 2 apresenta os cálculos de ganho de calor solar, pelos elementos do envoltório que estão em contato com os raios solares. O que se observa nesta tabela, é que o envoltório que estava exposta à maior insolação era a parede NO (durante à tarde), seguida (em números efetivos) pela parede NE (durante a manhã) e por último o plano horizontal cobertura, apresentando valores mais constantes que os outros analisados.

Adotou-se uma ocupação de 21 pessoas, para simular uma ocupação real, e este número faz referência à quantidade de usuários presente na sala em um dos dias de análise; com isto, foi aferido um total de ganho de calor de 3.879 W.

Tabela 2 – Cálculo de ganhos de calor solar

Cálculo de Ganhos de Calor Solar - Q - (W Ig) - Superfícies opacas - Qop= Aop x(α x K/ he) x Ig (W)												
	Empena (NE)		Empena (NO)		Cobertura	-	empena cobertura				Troca de calor laje	
	Q1 =		Q2 =		Q3 =		Q3"=				Q6 =	20,67
	0,553 Ig		0,732 Ig		1,873 Ig		4,04 Ig					
Cálculo de Ganhos de calor solar - Q - (W Ig) - Superfícies transparentes - Qtr= Atr x Str x Ig (W)												
	Vidro+Caix. (NE)		Vidro+Caix. (NO)			Str =	0,09	(Persiana de madeira projetada à italiana cor média)				
	Q4 =		Q5 =									
	0,751 Ig		0,537 Ig									
Planilha de Ganhos de Calor Solar												
hora	Fachada NE			Fachada NO			Cobertura	-	Empena		Totais W sala	Totais W Cobertura
	Ig (W/m²)	Empena 0,558 Ig	Envidraçado 0,751 Ig	Ig (W/m²)	Empena 0,739 Ig	Envidraçado 0,537 Ig	Ig (W/m²)	X Ig	Ig (W/m²) SE	X Ig		
07 h	166	92	125	40	29	21	100	187	141	570	267	757
08 h	264	146	198	82	60	44	227	425	195	788	448	1213
09 h	306	169	230	116	85	62	340	637	196	792	546	1429
10 h	314	174	236	144	105	77	427	800	174	703	592	1503
11 h	294	163	221	189	138	102	483	904	162	655	623	1559
12 h	250	138	188	251	184	135	501	938	168	679	**645**	**1617**
13 h	187	103	140	295	216	159	483	904	162	655	618	1559
14 h	144	80	108	314	230	169	427	800	144	582	587	1381
15 h	116	64	87	306	224	164	340	637	116	469	540	1105
16 h	82	45	62	264	193	142	227	425	82	331	442	756
17 h	40	22	30	167	122	90	100	187	40	162	264	349
Ganhos de Calor devidos à ocupação												
		Qe =	2581,87 W		Gerados à partir de 21 usuários pelo fórmula de Xavier (2000)							
		Qequ. =	210 W		Datashow		Total de ganhos de Calor Cobertura			Total de ganhos de Calor Sala		
		Qequ. =	210 W		PC Desktop		Q =	1.617 W		Q =	3.879 W	

Fonte: Autores (2015)

Uma observação que precisa ser ressaltada sobre a tabela 2 é que com o auxílio do coeficiente global de transmissão térmica é possível chegar ao ganho de calor solar em função da irradiação (Ig), desta maneira, a parede NE apresentou um ganho de calor solar de 0,55 Ig enquanto a parede NO obteve o resultado de 0,73 Ig, o que representa uma diferença de 32,35%. Já a cobertura, obteve um resultado de ganho de calor solar da ordem de 1,87Ig. Comparando o ganho de calor solar da cobertura com a parede NE, temos uma diferença de 238,38%.

Tabela 3 – Perdas devidas à diferença de temperatura interna e externa, ventilação e avaliação da inércia

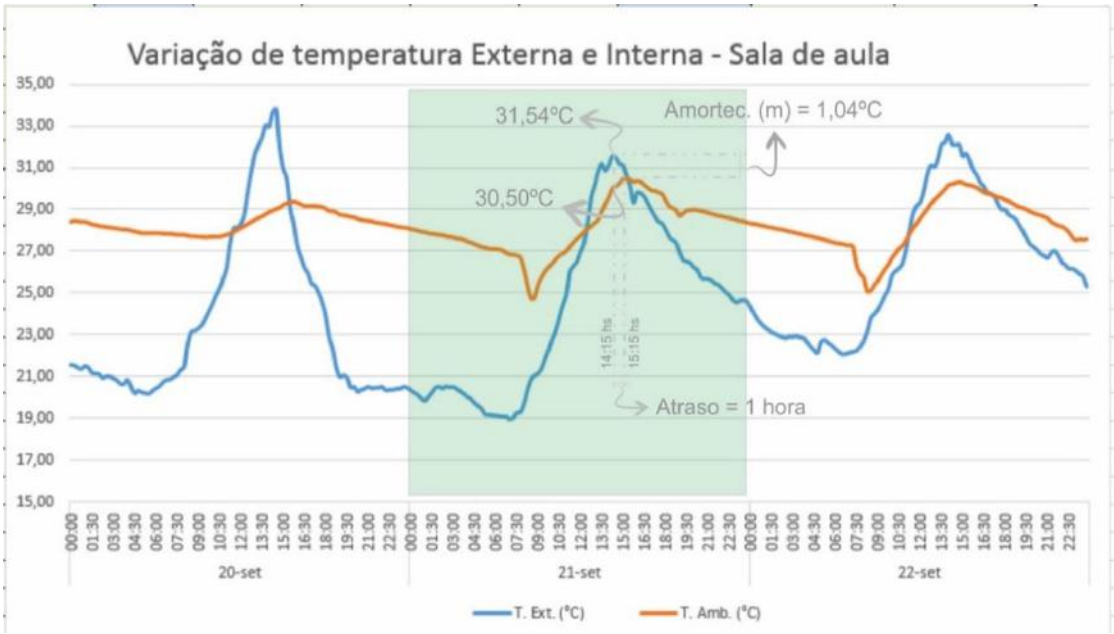
Perdas de Calor devidas à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)															
Superfícies opacas - Q'op= Aop x K x Δt (W)															
	Empena (NE)		Empena (NO)		Cobertura										
	Q'1 =		Q'2 =		Q'3 =						Laje Estuque Cobertura (troca)				
	27,67 Δt		36,62 Δt		46,82 Δt						Q' =	124,05 Δt	(Entre sala e cobertura)		
Superfícies transparentes - Qtr = Atr x K x Δt (W)															
	Vidro+Caix. (NE)		Vidro+Caix. (NO)									Empena cobertura			
	Q'4 =		Q'5 =				K = 5,13					Q'3' =			Troca calor (W)
	42,8 Δt		30,6 Δt		Δt entre Sala e Cobertura às 14 horas (crista onda térmica)=						2,3	101,01 Δt			232,33
Perdas devidas à ventilação - Q'vent. = 0,35 x N x V x Δt															
	Q'vent Sl. =	1413,6 Δt		Total de Perdas Cob.		417,41 Δt (W)		Total de Perdas Sala			Q' =	1551,30 Δt (W)			
	Q'vent Cb. =	269,6 Δt													
Balanço Térmico - Ganhos = Perdas															
Sala	Q = Q'	3.879	=	1551,30 Δt							Δt =	2,50 °C		Sala	
Cobert.	Q = Q'	1.617	=	417,41 Δt		Trocas de ar na cobertura (6)					Δt =	3,87 °C		Cobertura	
Avaliação da Inércia - e/2 x d															
	Parede (NE)		Parede (NO)		Telhado (3 águas)		Laje (Cob.)		Laje (Piso)		Parede Interna				
Peso parede =	432 Kg/m²		432 Kg/m²		20,25 Kg/m²		9 Kg/m²		10 Kg/m²		176 Kg/m²				
Área =	27,41 m²		36,28 m²		104,59 m²		60,42 m²		60,42 m²		30,35 m² (1)				
Coef. Croiset =	0,09	1	0,09	1	0,007	0	0,05	0	0,05	0	39,28 m² (2)				
			Área	Coeficiênte							0,02	2/3			
	Parede (NE)		27,41	1 (e/γ = 0,03/0,085 < 0,15)			Superfície equivalente pesada				sala	cob.			
	Parede (NO)		36,28	1 (e/γ = 0,03/0,085 < 0,15)			110,11 m² (sala)		104,59 m² (cob.)		1,82	1,73			
	Parede Interna 1		30,35	2/3 (e/γ = 0,015/0,085 < 0,15)			Edificação com inércia =				Forte				
	Parede Interna 2		39,28	2/3 (e/γ = 0,015/0,085 < 0,15)					Amortecimento		sala m =	1,0			
	Cobertura		104,59	0 (e/γ = 0,015/2,10 < 0,15)					Amortecimento		cob. m =	0,4			

Fonte: Autores (2015)

A tabela 3 demonstra os cálculos de perdas de calor devido à diferença de temperaturas internas e internas. Observa-se que a parede NO (com a maior área opaca) apresenta, portanto, uma maior perda de calor (36,62 Δt) enquanto a parede NE (com menor área opaca) apresentou uma perda de calor de 27,67 Δt, o que representa uma diferença de 24,47% quando comparada à perda de calor da parede NO.

Outro dado importante desta tabela, é o amortecimento e a definição da inércia térmica do envoltório, pois, sobre o exposto descobriu-se que a cobertura possuí uma inércia muito fraca, com um amortecimento m = 0,4, enquanto que a sala de aula, por conta das paredes pesadas, possuí uma inércia muito forte, com um abatimento m = 1,0. Neste ponto, encontra-se a crítica ao método CSTB, visto que para tais inércias, as discussões futuras, tornam-se inviabilizadas, visto que todas as variáveis futuras à serem calculadas, são multiplicadas, pela soma de 1 – m, e possuindo um m = 1 as variáveis estudadas resultarão em zero. Ou seja, para envoltórios com inércias muito fortes, como o caso do edifício Vila Penteado, não é possível fazer a verificação de ventilação.

Figura 13 – Amortecimento e atraso térmico do objeto de estudo durante o dia do questionário



Fonte: Autores (2015)

Com a compreensão dos dados supracitados, é possível traçar um paralelo entre o amortecimento teórico encontrado e o aferido empiricamente durante a aplicação dos questionários de análise subjetiva dos usuários. Ressalta-se que os amortecimentos aferidos durante o mês analisado foram variáveis, como demonstra-se na figura 13, entretanto, para o dia do questionário, o amortecimento encontrado foi de 1,04 ˚C, e o atraso da onda térmica foi de 1 hora. Apresentando pico de temperatura externa às 14:15 e interno às 15:15 horas.

Tabela 4 – Perdas devidas à diferença de temperatura interna e externa, ventilação e avaliação da inércia térmica

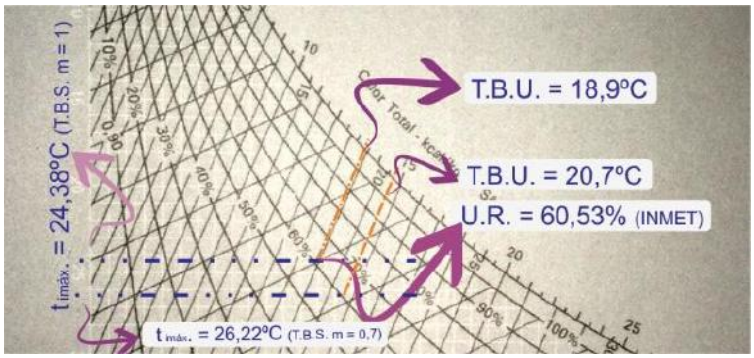
Cálculo da temperatura externa média - te e elongação - E													
			Temax =	28,77	°C sala			te =	24,38	°C			
			Temin =	19,99	°C sala			A =	8,78	°C	E =	4,39	°C
						0,34	0,34	0,69	0,69	0,69			
Cálculo da temperatura interna máxima resultante - timax = te + (1 - m) E + (1 - m) at													
			1,0		m´s =	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6			
	Sala	Timax =	24,38	°C	(T.B.S.)	24,72	25,06	25,75	26,44	27,13			
									escolha				
								T.B.U. =	20,7	°C	(Tabela)		
	Cobertura	Timax =	29,33	°C	(T.B.S.)	m = 0,4							
Temperatura Efetiva - TE (m = 0,7)													
	P/ V0 =	0,1	m/s	TE =	23,7	°C	Zona Conf.						
	P/ V0 =	0,5	m/s	TE =	23	°C	Zona Conf.		m = 0,7				
	P/ V0 =	0,8	m/s	TE =	22,5	°C	Zona Conf.						
	P/ V0 =	1,0	m/s	TE =	22,3	°C	Zona Conf.						
		Zona de conforto nomograma (22 à 27 °C)					Com V0 até 1,5 m/s						
Verificação da Ventilação - Efeito Chaminé - Ø c = 0,14 x AvH x AT1 (m³/s)													
m = 0,95	Øc=	0,544	m³/s		1958,90	m³/h		N =	6,48	/h			
m = 0,9	Øc=	0,770	m³/s	ou	2770,31	m³/h		N =	9,17	/h			
m = 0,8	Øc=	1,088	m³/s		3917,81	m³/h		N =	12,97	/h			
m = 0,7	Øc=	1,333	m³/s		4798,32	m³/h		N =	15,88	/h			
	Com abatimento m = 1 temos Ø =				0 °C			N =	0 (Limitação do método CSTB)				

Fonte: Autores (2015)

Por conta da inércia muito forte (m = 1), o que impossibilita o prosseguimento pelo método, fez-se uma análise variando o abatimento de 1 até 0,6, e observou-se que ao variar 1 unidade no amortecimento, acontece um aumento de 0,69 ˚C na timáx. do ambiente. Para prosseguir na simulação, este trabalho entendendo a impossibilidade de uma edificação ser considerada um estanque com m = 1, adotou-se um amortecimento de 0,7, por considerar a timáx. encontrada (26,44 ˚C) próxima da aferida no período analisado, e dado o envoltório estudado, e também porque a diferença de temperatura externa/interna aferida pelo método (1,77 ˚C) aproxima-se da observada pelo amortecimento aferido no dia do questionário de m = 1,04 ˚C.

Em posse do dado de temperatura interna máxima (T.B.S.) é possível encontrar com auxílio da umidade relativa a temperatura de bulbo úmido (T.B.U) conforme demonstra-se na figura 14.

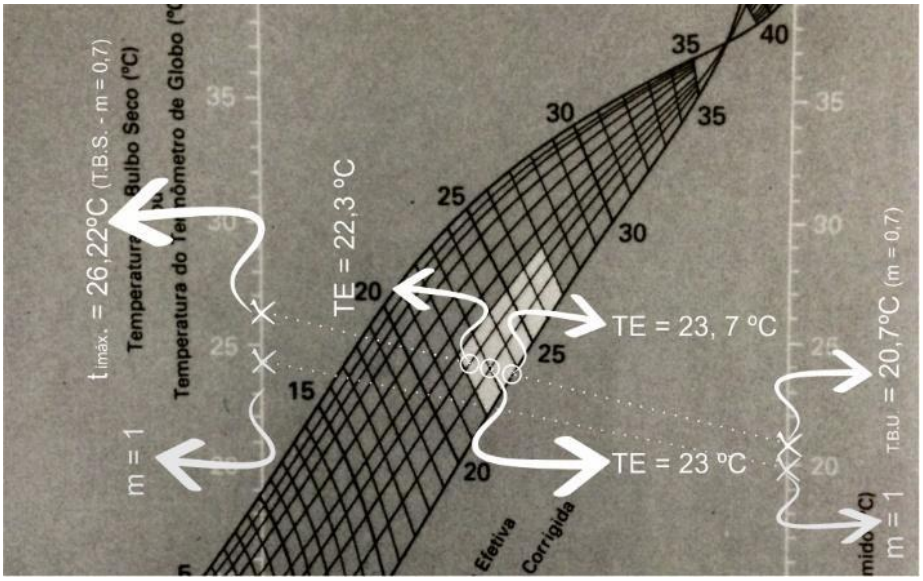
Figura 14 – Determinação de Temperatura de Bulbo Úmido (T.B.U.)



Fonte: Adaptado de Koenigsberger (1977)

O último passo da análise do CSTB permite avaliar, se a temperatura interna máxima avaliada encontra-se dentro da zona de conforto do nomograma proposto por Koenigsberger (1977).

Figura 15 – Aferição da temperatura interna relativa à zona de conforto



Fonte: Adaptado de Koenigsberger (1977)

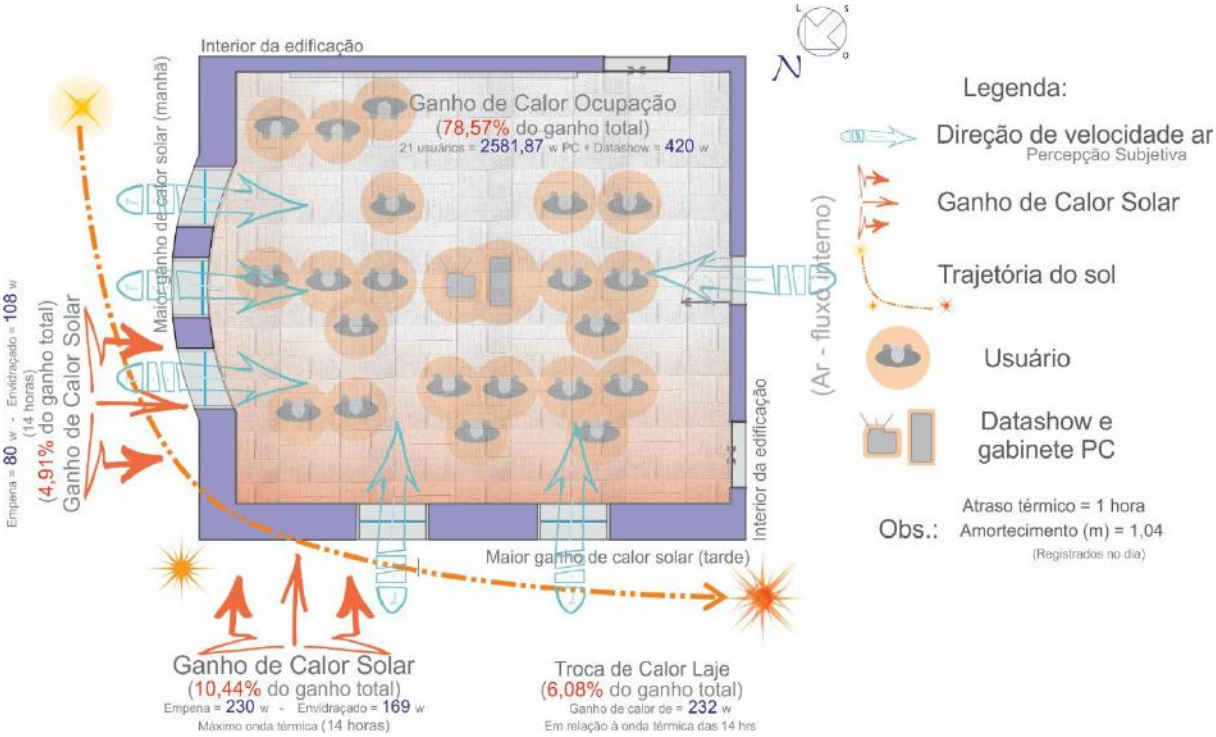
Observa-se que devido as variáveis encontradas, para as velocidades de 0,1 e 0,5 m/s as temperaturas efetivas encontram-se dentro da zona de conforto, e que ao aumentar a velocidade do ar para 1,5 m/s a temperatura interna sai da zona de conforto.

Por último, efetuou-se uma figura na qual apresentam-se os dados estudados nesta pesquisa, sintetizando-os para melhor compreender o comportamento da edificação.

Observa-se a fachada NO (com maior ganho solar durante o período do questionário) representou, no período das 14 horas, 10,44% dos ganhos de calor da sala, enquanto a fachada NE, no mesmo período representou 4,91% dos ganhos, a laje por sua vez, foi responsável por 6,08% dos ganhos, e a maior representante dos ganhos de calor da sala de aula foi a ocupação, com 78,57% do total.

Ressalta-se que a crista da onda térmica no dia 21/09/2015 aconteceu às 14:15 horas apresentando uma temperatura externa de 31,54˚C. Como o atraso térmico medido no dia foi de exatamente 1 hora, a crista de onda térmica de temperatura interna acontece as 15:15 horas com o resultado obtido de 30,50˚C. O amortecimento simulado teoricamente pelo método CSTB (m = 1), confirma o resultado aferido in loco m = 1,04 ˚C.

Figura 16 – Mapa de localização dos usuários, variáveis físicas e climáticas.



Fonte: Autores (2015)

5 CONCLUSÕES

Sobre o coeficiente global de transmissão térmica, nota-se que quanto mais variada e maior forem as camadas constituintes de um envoltório, menor será o seu coeficiente, e portanto contribuirá menos com as trocas térmicas, de maneira similar, variações de espaço de ar confinado entre 2 e 10 cm para um fluxo ascendente de um envoltório, indicam que quanto maior for o espaço de ar confinado, menor será o coeficiente global de transmissão térmica deste, e portanto a participação deste envoltório com as trocas térmicas do ambiente será menor.

Uma análise projetual que pode ser realizada é que quanto maior a área exposta ao sol, maior é o ganho de calor solar do componente exposto a ele. Sendo assim, quanto maior é o pé direito de um ático, maior será o ganho de calor solar do mesmo (visto que este fator interfere diretamente na área exposta da cobertura). De maneira similar, quanto maior a área envidraçada, maior será o ganho de calor solar e por tanto maior será a interferência da temperatura externa no ambiente.

Conclui-se que existe uma limitação do método CSTB, e esta ocorre em edificações com envoltórios com Inércia muito forte (m = 1), visto que, com tal amortecimento, existem interferências diretas no cálculo da $t_{imáx.}$ e principalmente no efeito chaminé, uma vez que, diversas variáveis resultarão em zero.

Embora a edificação tenha sido projetada para ser uma residência, no objeto de estudo desta pesquisa (sala de aula do 1° andar) as decisões

projetuais encontradas demonstram indícios da qualidade ambiental do edifício para o uso atual.

REFERÊNCIAS

AULICIEMS, A., SZOKOLAY, S. V. **Thermal Confort**. University of Queensland, Department of Architecture: Kenmore: 1997.

KOENIGSBERGER, O. et alii. **Vivienda y edifícios en zonas cálidas tropicalis**. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977.

MARTINS, M. L. R. R. (Org.). **Vila Penteado 1902 – 2012: pós-graduação 40 anos**. São Paulo: FAUUSP, 2012.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples**. São Paulo: Editora Edgar Blucher S. A., 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

O EFEITO DOS PARÂMETROS URBANÍSTICOS NA VARIAÇÃO MICROCLIMÁTICA DE UM CÂNION URBANO[1]

MUNIZ, Lígia Parreira (1); PEZZUTO, Claudia Cotrim (2)

(1) PUC Campinas, e-mail: ligiapmuniz@gmail.com; (2) PUC Campinas, e-mail: claudiapaz@yahoo.com.br;

RESUMO

Neste estudo, avaliou-se a influência da legislação de uso e ocupação do solo no microclima de um cânion urbano do bairro Cambuí, localizado na cidade de Campinas, São Paulo, e investigou-se o efeito da rotação do cânion no seu microclima. Para tanto fez-se a caracterização urbana e climática do cânion escolhido e utilizou-se o programa ENVI-met para simular novas configurações de altura, largura e orientação do cânion, respeitando os parâmetros urbanísticos do zoneamento da cidade. Os resultados mostraram que o microclima deste cânion não foi afetado significativamente pela mudança de orientação nem pelo aumento da altura das edificações.

Palavras-chave: ENVI-met. Cânion urbano. Geometria urbana. Legislação.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of the land use and occupation legislation in the microclimate of an urban street canyon of a Cambui neighborhood, located in Campinas, São Paulo, and investigated the canyon rotation effect on its microclimate. However an urban and climatic characterization of the chosen canyon chosen was carried out and the ENVI-met program was used to simulate new height, width and orientation of the canyon, within the urban parameters of the zoning of the city. The results showed that the microclimate of this canyon was not significantly affected by the change of direction or increasing the height of the buildings.

Keywords: *ENVI-met. Urban street canyon. Urban geometry. Legislation.*

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do clima local e de sua interação com o ambiente construído é fundamental para a melhoria da qualidade ambiental dos espaços urbanos e do desempenho térmico e energético dos edifícios (MARTINS; ADOLPHE; KRAUSE, 2013). É necessário que os planejadores tenham conhecimento adequado do clima, para que possam oferecer estratégias adaptativas e personalizadas para proporcionar conforto ao usuário e melhorar a gestão de energia dos edifícios (GOLANY, 1996).

[1] MUNIZ, Lígia Parreira; PEZZUTO, Claudia Cotrim. O efeito dos parâmetros urbanísticos na variação microclimática de um cânion urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

A avaliação dos cânions urbanos torna-se essencial para a melhoria do conforto ambiental nas cidades uma vez que acarretam a diminuição da visão do céu, devido a obstrução de parte da abóbada celeste pelas edificações e contribuem para a formação de ilhas de calor (NASCIMENTO; JÚNIOR; BARBOSA, 2015).

A geometria dos cânions pode proporcionar economia de até 30% da energia usada em edifícios comerciais e 19% em edifícios residenciais (STROMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011) e é pela sua grande importância que muitos estudos têm se voltado para este objeto de pesquisa.

Diversos estudos têm feito uso de simulação computacional no intuito de prever a influência de tomadas de decisão no microclima de uma região específica. Um dos programas utilizados atualmente para esta finalidade é o ENVI-met (BRUSE; FLEER, 1998). Achour-Younsia e Kharratb (2016), por exemplo, estudaram o conforto térmico proporcionado por diferentes configurações de cânion urbano, variando sua orientação e relação altura e largura do cânion (H/W), chegando à conclusão de que, para o clima de Tunes, capital da Tunísia, classificado como subtropical mediterrâneo, com verão quente e seco e inverno frio e chuvoso, os cânions mais profundos proporcionavam maior conforto aos pedestres. Lobaccaro e Acero (2015), por sua vez, investigaram a influência da vegetação na melhoria do conforto térmico de cânions urbanos de diferentes proporções geométricas e confirmaram o efeito positivo desta na sensação térmica de pedestres.

No Brasil também tem sido desenvolvidas muitas pesquisas relacionadas ao conforto térmico e o microclima, como os trabalhos de Carfan, Galvani e Nery (2012), que verificaram a influência de edifícios altos no ambiente climático local por meio do estudo do índice de conforto térmico e do fluxo de vento na cidade de São Paulo; Minella, Honjo e Krüger (2012), que observaram uma redução de 1,8°C na temperatura do ar no cânion de estudo localizado na cidade de São Paulo, pela introdução de vegetação; Pezzuto, Alchapar, Labaki e Correa (2015), que verificaram impacto mais significativo da vegetação na redução da temperatura do ar máxima quando aplicada em cenários de baixa densidade construída, tanto para a cidade de Campinas, Brasil, de clima tropical de altitude, quanto para Mendonza, Argentina, de clima árido desértico quente e seco; e Abreu-Harbich, Labaki e Matzarakis (2013) que constataram, para a cidade de Campinas, melhoramento no stress térmico bioclimático quando da inserção de vegetação em cânions de relação altura largura menor que 0,5.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento do microclima urbano face aos processos de urbanização previstos na legislação de uso e ocupação do solo da cidade de Campinas. Como estudo de caso, foi escolhida a configuração de um cânion urbano típico do bairro Cambuí. Foram avaliados cenários de estudo para os parâmetros de habitações multifamiliares verticais com diferentes rotacionamentos, utilizando o programa ENVI-Met.

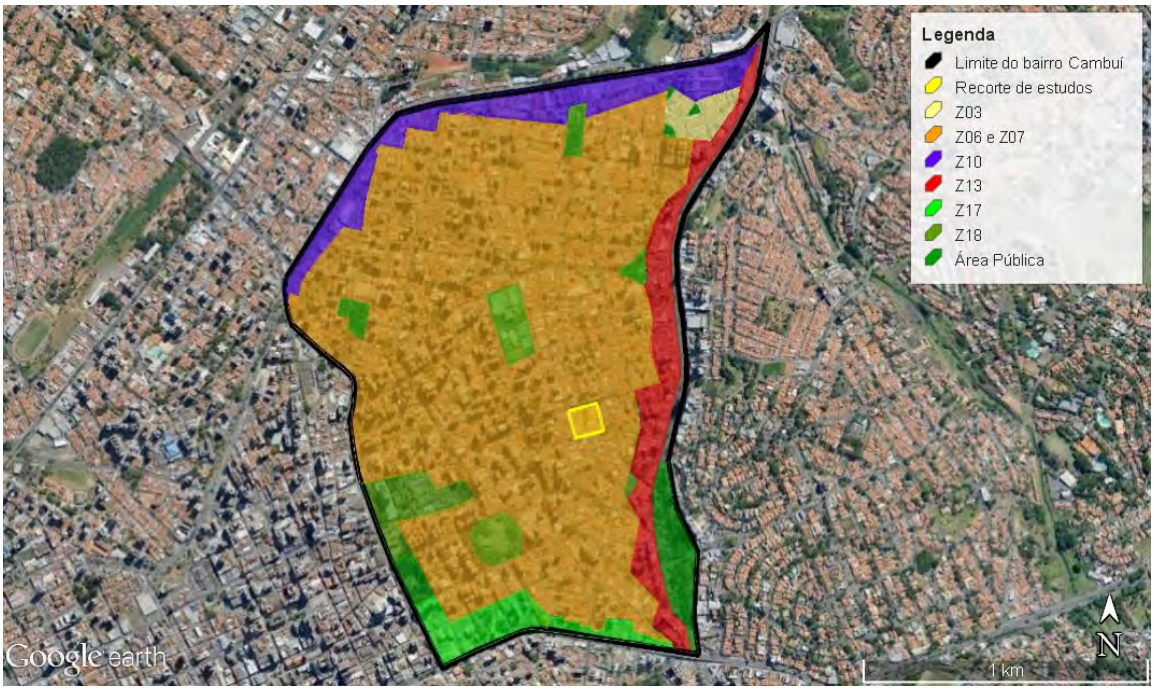
2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um recorte urbano na cidade de Campinas, clima tropical de altitude, com inverno ameno e seco e verão quente e úmido. A cidade encontra-se a uma altitude média de 680 metros acima do nível do mar, coordenadas S22°53'20" e O47°04'40" e ventos predominantes na direção sudeste. De acordo com o CEPAGRI (2016) os meses de junho e julho são os mais frios e os meses mais quentes de dezembro a março, com temperatura média anual variando entre 18,50°C a 24,90°C, precipitação média anual de 1424,50 mm e umidade relativa do ar média entre 73% (9h) e 47% (15h).

A área estudada localiza-se no Bairro Cambuí, região central da cidade, na qual nota-se predominância de uso misto e intenso processo de verticalização. De acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Campinas - Lei nº 6031 de 29 de dezembro de 1988 (CAMPINAS, 1988), o bairro Cambuí está dividido em 7 zonas (Figura 1), sendo elas: Z03, de uso predominantemente residencial e com permissão de serviços de baixa incomodidade; Z06 e Z07, também de uso predominantemente residencial e com permissão para comércios e serviços locais; Z10, destinada a comércios e serviços de pequeno e médio porte; Z13, destinada a comércios e serviços de qualquer porte; Z17, destinada a comércios e serviços locais; e Z18, que requer estudos específicos para implantação de empreendimentos, onde hoje se localiza o Centro de Convivência Cultural de Campinas Carlos Gomes. As zonas 6 e 7 são as áreas que predominam no bairro, conforme verifica-se na Figura 1.

Figura 1 - Imagem do recorte de estudos no bairro Cambuí, Campinas/SP.



Fonte: Adaptado Google Earth, 2016.

A fim de estudar as possibilidades previstas na legislação de uso e ocupação vigentes no bairro Cambuí e seu impacto no microclima local, este trabalho focou nas zonas 6 e 7, regiões predominantes no bairro.

2.2 Coleta de dados ambientais

Com o objetivo de calibração dos dados simulados foi feito o monitoramento de dados climáticos reais em um cânion na área de estudo do Bairro Cambui (Figura 2). Foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar através de um datalogger (TESTO 174 –H) fixado no recuo frontal de um dos estabelecimentos comercias do cânion, a uma altura aproximada de 3 metros, protegido de intempéries (Figura 3). Para a simulação computacional foram utilizados os dados do dia 21/08/2015, período de inverno, dia estável e sem precipitação.

Figura 2 - Imagem do cânion urbano monitorado



Fonte: Os autores.

Figura 3 - Instrumentação instalada no cânion urbano



Fonte: Os autores.

2.3 Simulação Computacional no programa ENVI-Met 4.0

Para as simulações dos cenários propostos foi utilizado o programa ENVI-Met 4.0. O programa ENVI-met é uma ferramenta desenvolvida para estudo e previsão do microclima urbano que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera (BRUSE; FLEER, 1998). O programa executa simulações de microescala com resolução espacial típica de 0,5 a 10 metros, considerando um balanço completo de radiação (radiação solar direta, refletida, difusa e radiação de onda longa) (ACERO; HERRANZ-PASCUAL, 2015; GIRGIS; ELARIANE; RAZIK, 2015).

A nova versão 4.0 do ENVI-met inclui modificações significativas em relação às anteriores, como a ferramenta chamada "*full forcing*" que permite aos usuários empregar dados meteorológicos medidos para forçar o modelo durante a simulação. Nesta nova versão também foi implementado o módulo de vegetação 3D, o qual descreve a variação da forma das plantas e distribuição espacial das folhas, e também considera a inércia térmica da parede e do telhado. (YANG *et al*., 2013; ACERO; HERRANZ-PASCUAL, 2015).

A partir do ponto de monitoramento foi delineado um recorte de estudo de

104x104 metros (x, y). A área em questão foi digitalizada no programa ENVI-met v 4.0 com resolução de 52x52x30 (X. Y. Z) grids, e 2x2x2 m (x, y, z) grids de resolução, conforme Figura 4.

Figura 4 - Área real digitalizada no Programa ENVI-Met V 4.0 (P1 – receptor)



Fonte: Os autores.

No arquivo de configuração dos dados meteorológicos as variáveis velocidade e direção do vento na altura de 10 metros foram coletadas da estação meteorológica urbana de referência, localizada no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), distante aproximadamente 1,6 km à noroeste da área de estudo. Os dados de umidade específica do ar foram obtidos da coleta de radiossondagem do aeroporto do Campo de Marte (Estação n° 83779 Aeroporto Campo de Marte), da Universidade de Wyoming. O coeficiente de ajuste solar, que varia de 0,5 a 1,5, tem por finalidade corrigir tendências do modelo de subestimar ou superestimar a radiação solar. O coeficiente utilizado (0,70) foi obtido por meio de tentativas, comparando os dados simulados com os coletados na estação meteorológica de referência (IAC).

Para a especificação da vegetação foi utilizado o banco de dados *default* do ENVI-met a partir do reconhecimento e caracterização local. Para as propriedades térmicas dos edifícios em Campinas foram adotados os valores médios da normatização local (ABNT, 2005). A Tabela 1 descreve os parâmetros de entrada no programa ENVI-Met.

Tabela 1 - Parâmetros de entrada no programa ENVI-met 4.0.

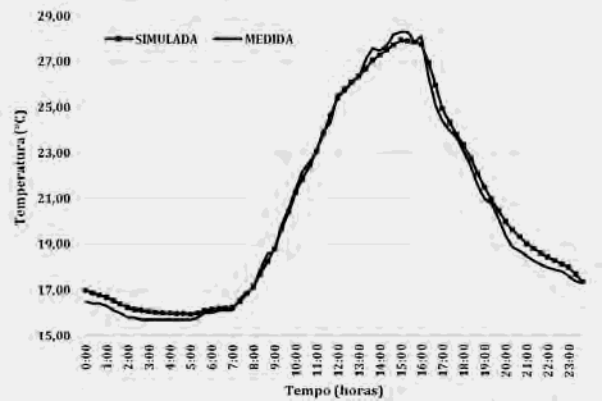
Parâmetro		**Valor**
Velocidade do vento a 10 metros (m/s)		4,2
Direção do vento (°)		135
Umidade específica (a 2500 m – g/Kg))		5,69
Coeficiente de ajuste solar		0,70
Umidade do solo (%):	0-20 cm	15
	20-50 cm	25
	50-200 cm	82
	Abaixo de 200 cm	60
Temperatura do solo (K)		293

Fonte: Os autores.

2.3.1 Calibração no ENVI-Met

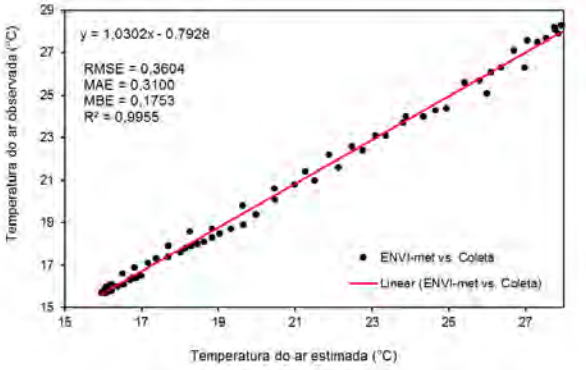
Conforme Figuras 5 e 6, os dados de temperatura do ar apresentaram coeficiente de determinação 0,9955, entre o ponto monitorado no cânion e simulado no programa. A análise estatística mostrou que a magnitude dos erros médios foi pequena (RMSE=0,3604) e os índices MAE (0,3100) e MBE (0,1753) que os dados simulados dos dados medidos estão próximos e que há bom desempenho do modelo, apesar de haver leve tendência de superestimar as medidas.

Figura 5 - Comparação da temperatura simulada e medida no cânion.



Fonte: Os autores.

Figura 6 – Regressão linear para a validação da temperatura do ar.



Fonte: Os autores.

Constatado o bom ajuste do modelo foi possível digitalizar os cenários de estudo.

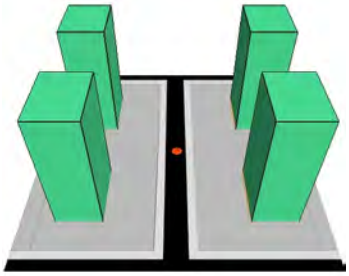
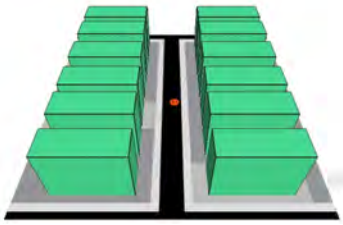
2.3.2 Cenários de estudo no programa ENVI-Met V 4.0

Após a calibração do modelo foi possível propor os cenários de estudos. Para tanto, foi adotada a mesma dimensão da quadra anteriormente calibrada, 90x45, largura da via 8 metros e calçadas 3 metros de largura, sendo proposta a divisão da quadra em lotes de 15x39 metros.

Tendo como parâmetro a legislação vigente (CAMPINAS, 1988) foram adotados dois conjuntos de cenários, conforme ilustra o Quadro 1. Para o primeiro conjunto (Cenário A e A90) o critério adotado foi a possibilidade de verticalização máxima, respeitando os recuos previstos na legislação, taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento. Para tanto, definiu-se como área de base o total de 300 m^2, considerando aproximadamente 4 (quatro) unidades habitacionais por andar. Dentro deste pressuposto, foi necessária a junção de 3 lotes (15x39) para atendimento de taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento. Assim, a altura máxima adotada em um lote de 45x39 foi 50 metros, com taxa de ocupação 0,17 e coeficiente de aproveitamento 16. O segundo conjunto de cenários (B e B90) adotou como pressuposto a utilização dos recuos mínimos previstos na legislação, respeitando a taxa de ocupação máxima. Nestes cenários, os lotes padrões (15x39) foram mantidos.

Neste sentido, a altura máxima da edificação foi 22 metros, com coeficiente de aproveitamento 7 e taxa de ocupação 0,42.

Quadro 1 - Características dos cenários (os pontos em laranja nas imagens representam a posição dos receptores no cânion).

Ilustração	Parâmetro	Lei 6031/1988	Adotado
Cenários A e A90			
Vista cenários A. 	Coeficiente de aproveitamento	19	16
	Taxa de ocupação	0,50	0,17
	Recuo frontal – R (m)	6 (mínimo)	18,0
	Recuo lateral (m)	3 (mínimo)	12,5
	Recuo de fundos (m)	6 (mínimo)	6,0
	Altura total da edificação- H (m)	H=L+2R (L=14m)	50
	Área lote (m²)	450 (mínimo)	1755
	Área construída (m²)	-------	300
	Testada (m)	15	45
	Largura da via – V (m)	8	8
	Largura da calçada – C (m)	-------	3
	Largura do cânion (W=R+2C+V) (m)	-------	50
	Relação altura largura do cânion (H/W)	-------	1,00
Cenários B e B90			
Vista cenários B 	Coeficiente de aproveitamento	7	7
	Taxa de ocupação	0,50	0,42
	Recuo frontal – R (m)	6 (mínimo)	6
	Recuo lateral (m)	3 (mínimo)	3
	Recuo de fundos (m)	6 (mínimo)	6
	Altura total da edificação- H (m)	H=L+2R (L=14m)	22
	Área lote (m²)	450 (mínimo)	585
	Área construída (m²)	--------	243
	Testada (m)	15	15
	Largura da via – V (m)	8	8
	Largura da calçada - C (m)	-------	3
	Largura do cânion (W=R+2C+V) (m)	-------	26
	Relação altura largura do cânion (H/W)	-------	0,85

Fonte: Os autores.

Os cenários foram digitalizados contemplando a mesma área (104x104 m) e uma única resolução (dimensão de 52x52x30 (X. Y. Z) grids e resolução de 2x2x2 m (x, y, z) grids). Os parâmetros adotados no ENVI-Met foram os mesmos descritos no item 2.3, porém com configurações diferentes de uso e ocupação do solo. Ressalta-se que para avaliação dos cenários não foi contemplada a vegetação, visto que o objetivo das análises foram os padrões de uso e ocupação.

Os cenários A90 e B90 foram originados da rotação em 90° dos cenários A e B, respectivamente, em relação ao norte verdadeiro, uma vez que nestes últimos o cânion está orientado a norte-sul.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, na Tabela 2, são apresentados os dados simulados nos diferentes cenários, referentes à temperatura do ar e à velocidade do vento.

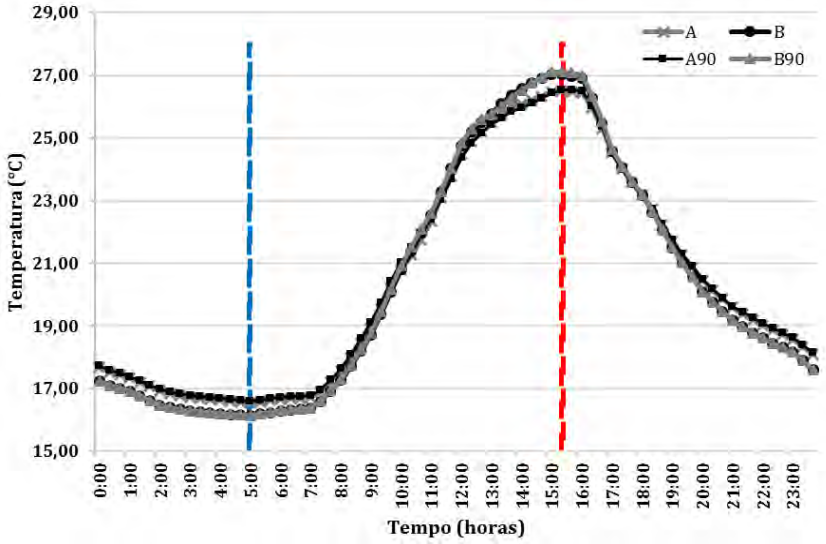
Tabela 2: Comparação das variáveis térmicas simuladas para os quatro cenários.

Variável climática	Cenário A	Cenário B	Cenário A90	Cenário B90
Temperatura do ar máxima (°C)	26,50	27,03	26,53	27,11
Temperatura do ar média (°C)	20,46	20,36	20,54	20,39
Temperatura do ar mínima (°C)	16,55	16,15	16,61	16,15
Velocidade do vento máxima (m/s)	3,11	2,33	2,94	2,36
Velocidade do vento média (m/s)	3,08	2,19	2,74	2,19
Velocidade do vento mínima (m/s)	2,89	2,10	2,53	1,93

Fonte: Os autores.

Verifica-se que o rotacionamento do cânion e o aumento da altura das edificações não provocou alterações significativas na temperatura do ar média, que foram da ordem de 0,03°C a 0,18°C. Para todos os cenários a temperatura mínima ocorreu às 5h00 e a máxima às 15h20 (Figura 7).

Figura 7 - Comparação da curva de temperatura do dia 21/08/16.



Fonte: Os autores

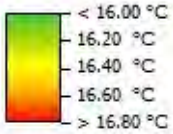
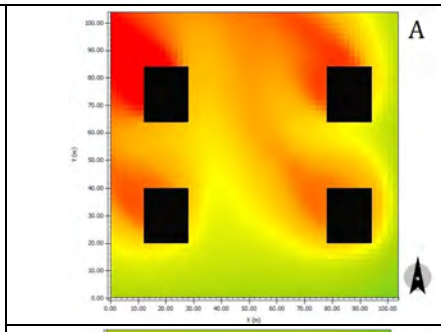
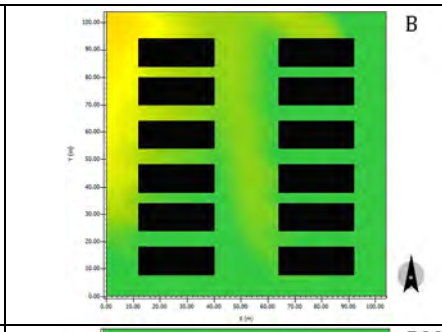
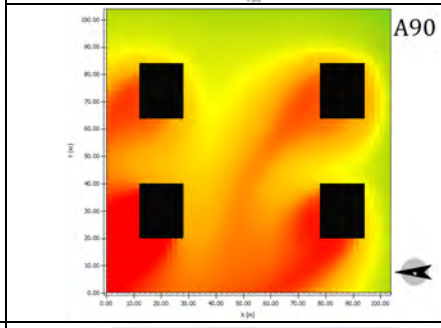
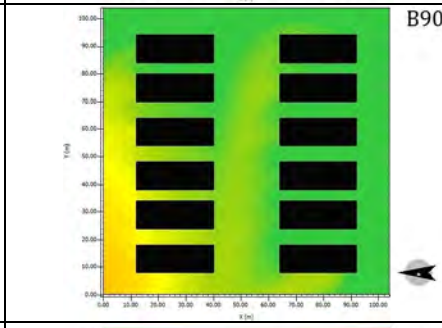
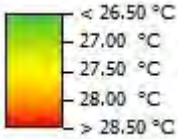
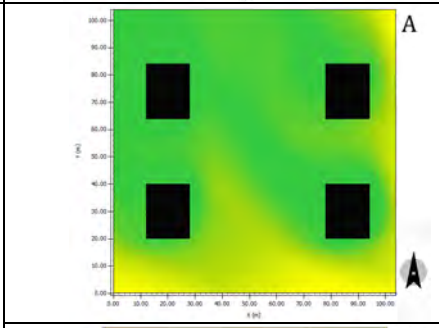
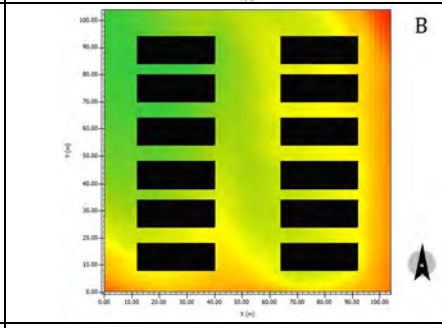
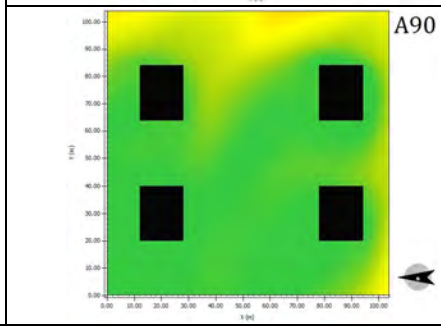
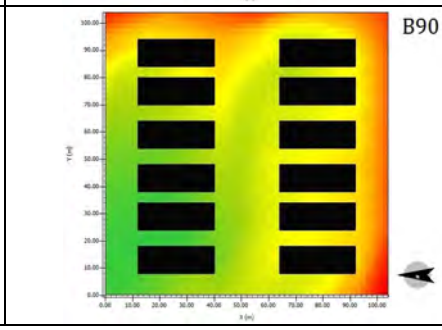
O rotacionamento do cânion não provocou aumento significativo nas temperaturas máxima e mínima para ambas as configurações urbanas, porém, a diminuição da altura e o aumento da densidade das edificações, proporcionaram redução na temperatura do ar mínima da ordem de 0,40°C entre os cenários A e B, com orientação do cânion a 0°, e de 0,46°C entre os cenários A90 e B90, com orientação do cânion a 90°.

Em relação à média da velocidade do vento, percebe-se uma diferença quando da diminuição da altura, principalmente para a orientação do cânion a 0°, sendo esta de 0,89 m/s (cenários A e B). Para os cenários A90 e B90, com orientação do cânion de 90°, esta diferença cai para 0,55 m/s.

3.1 Mapas de distribuição térmica

O Quadro 2 apresenta as imagens térmicas para os quatro cenários em dois horários, 5h00, hora da mínima e 15h00, hora da máxima temperatura.

Quadro 2 – Comparação da temperatura às 5h e às 15h.

Temperatura às 5h00 		
		
Temperatura às 15h00 		
		

Apesar de não terem apresentado diferenças expressivas de temperatura entre si, percebe-se que os cenários A e A90, com edifícios de 50 metros de altura, apresentaram temperatura do ar no cânion maior que os cenários B e B90, com edifícios de 22 metros de altura, no horário da mínima, às 5h00.

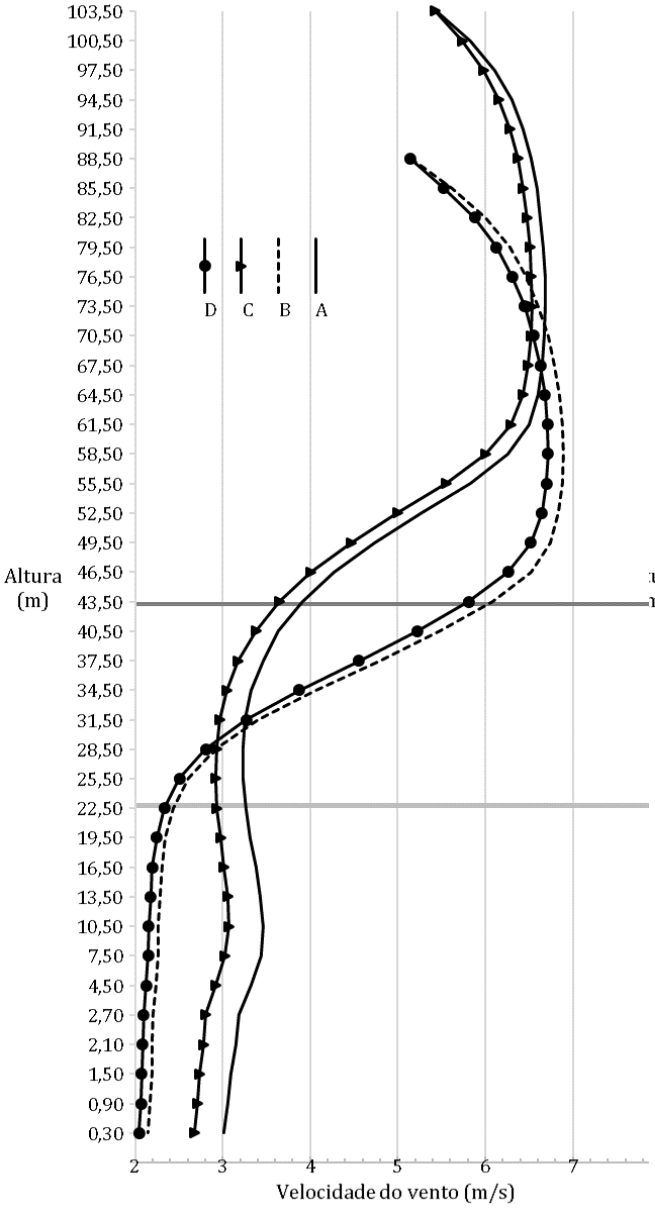
Já no horário da máxima, às 15h00, nota-se que ocorre o contrário: os cenários com edifícios de 22 metros e cânion mais estreito, B e B90, apresentam temperatura superior.

O fator de visão do céu (FVC) obtido pelas simulações foram de 0,722 para os cenários A e A90 e 0,426 para os cenários B e B90. Sendo assim, os cânions A e A90 possuem maior acesso solar, o que faz com que recebam maior intensidade de raios solares, mas também que liberem a energia absorvida com maior facilidade, ao contrário do que acontece com os cenários B e B90, que possuem maior de dificuldade de dissipar o calor absorvido.

3.2 Análise da velocidade do vento

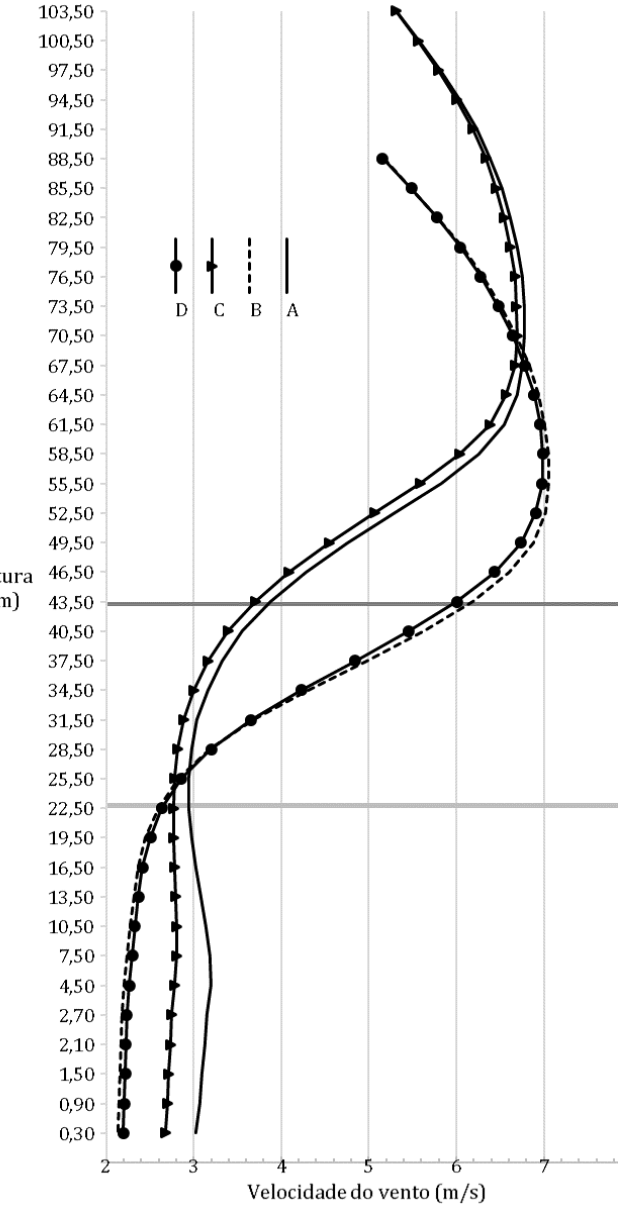
As Figuras 8 e 9 apresentam as curvas de velocidade do vento em relação à altura do modelo para cada cenário nos horários de 5 e 15h.

Figura 8 - Curva de velocidade do vento para as 5h.



Fonte: Os autores.

Figura 9 - Curva de velocidade do vento para as 15h.



Fonte: Os autores.

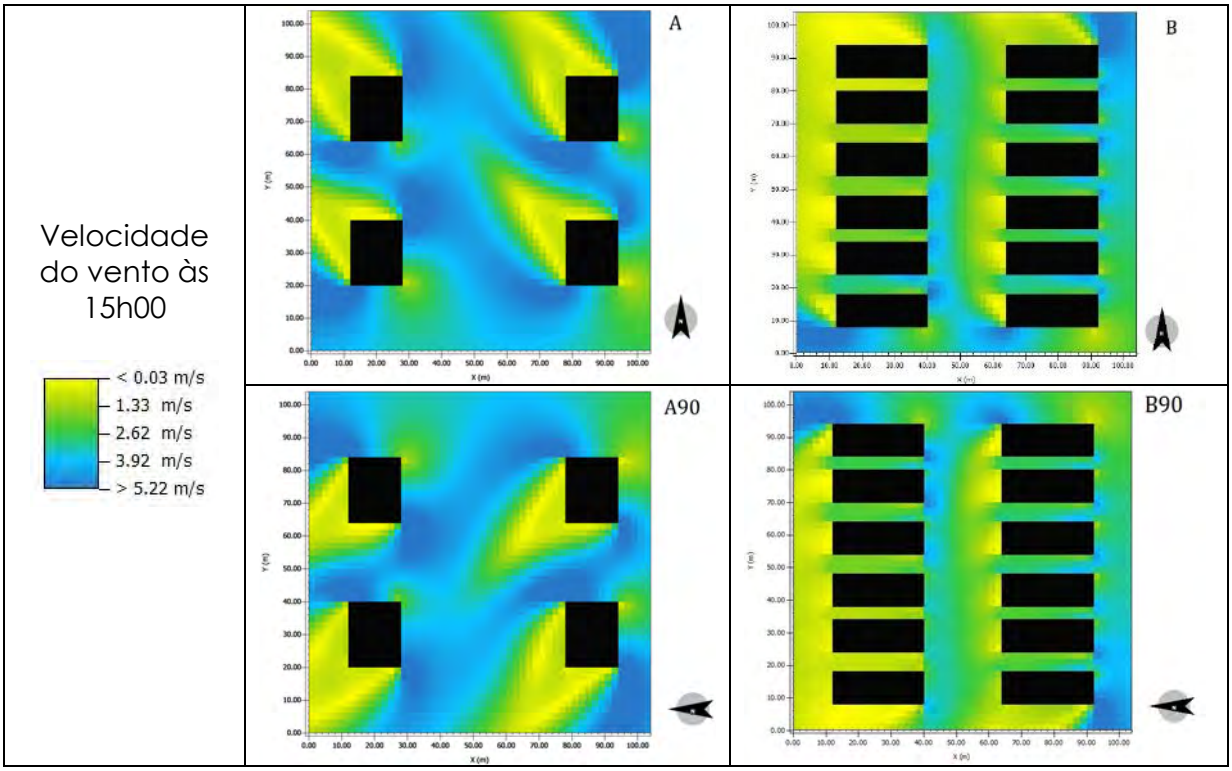
Verifica-se que houve alteração perante o rotacionamento do cânion para os cenários com edificações de 50 metros de altura (A e A90). O rotacionamento do cânion de 0° para 90° ocasionou um aumento da velocidade do vento da ordem de 0,4 m/s.

A velocidade do vento começa a se intensificar no limite da camada de edificações tendo seu perfil modificado. No caso dos cenários A e A90, atinge velocidade máxima a 70,5 metros e a 58,5 metros no caso dos cenários B e B90.

Comparando os horários de 5 e 15 horas, correspondentes à mínima e máxima da temperatura, verifica-se ainda que as curvas de velocidade do vento de cânions com a mesma orientação tendem a se distanciar no amanhecer, tornando-se mais próximas ao entardecer.

Observando o Quadro 3 a seguir é possível identificar uma melhor ventilação dos cânions A e A90, que são mais largos e que podem, desta maneira, amenizar a sensação térmica do pedestre no horário da máxima, às 15h.

Quadro 3 – Comparação da velocidade do vento às 15h.



Fonte: Os autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que o aumento da altura das edificações e o rotacionamento do cânion em 90° não influenciaram significativamente na temperatura do ar, sendo observada alteração mais expressiva na velocidade do vento, que tende a aumentar quando do estreitamento do cânion.

Ali-Toudert (2006) verificou que a temperatura do ar tende a ser mais sensível à variável altura e largura do cânion (H/W) que à orientação do mesmo. No caso deste trabalho, como a relação H/W é próxima (cenário A = 1,00, cenário B = 0,85) justificam-se as alterações pouco significativas observadas entre os cenários.

Os cenários B, de menor FVC (0,426), apresentaram maior temperatura do ar máxima (cenário B = 27,03°C e cenário B90 = 27,11°C) e temperatura do ar mínima mais baixa (16,15°C para os cenários B e B90) que os cenários A, de maior FVC (0,722), demostrando coerência com as observações feitas por Givoni (1998) de que baixos valores de FVC estão relacionados com o fenômeno da ilha de calor por permitirem menor entrada de radiação solar no cânion durante o dia, afetando o ar e temperatura radiante média, que, por sua vez, determina o nível de conforto em áreas ao ar livre.

Pondera-se, entretanto, que este estudo se trata de uma simplificação da situação real, haja vista a dimensão do recorte se limitar a 104x104 metros, sendo este ainda destacado de seu entorno e contextos urbano e climático reais, resultando em respostas pontuais, que dificultam sua extrapolação. Sendo assim, faz-se necessárias avaliações mais amplas para que se possa inferir diagnósticos mais abrangentes da influência dos parâmetros da legislação no clima.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 115, p. 333-340, 2013.

ACERO, J. A.; HERRANZ-PASCUAL, K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. **Building and Environment**, v. 93, p. 245–257, nov. 2015.

ACHOUR-YOUNSI, S.; KHARRAT, F. Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate – Case Study Tunis, Tunisia. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 216, p. 689-700, 2016.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, p. 94-108, 2006.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling &**

Software, v. 13, n. 3-4, p. 373–384, out. 1998.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). Lei n° 6.031 de 29 de dezembro de 1988. **Dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo do município de Campinas, 1988**. Disponível em: http://www.campinas.sp.gov.br/arquivos/seplama/lei_6031.pdf. Acesso em 01 fev. 2016.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. Study of thermal comfort in the City of São Paulo using ENVI-met model. **Investigaciones Geográficas**, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, n. 78, p. 34-47, 2012.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - UNICAMP. **O clima de Campinas**. Disponível em: < http://www.cepagri.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>. Acesso em: 22/04/2016.

GIRGIS, N.; ELARIANE, S.; RAZIK, M. Evaluation of Heat Exhausts Impacts on Pedestrian Thermal Comfort. **Sustainable Cities and Society**, jul. 2015.

GIVONI, B. Climate considerations in building and urban design. Hoboken: John Wiley & Sons; 1998.

GOLANY, G. S. Urban design morphology and thermal performance. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3, p. 455-465, 1996.
LOBACCARO, G.; ACERO, J. A. Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. **Urban Climate**, v. 14, p. 251-267, 2015.

MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BARROSO-KRAUSE, C. M. L. Análise de sensibilidade sobre o impacto da geometria urbana no conforto térmico exterior em clima tropical. **In:** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído., 2013, Brasília. Conforto e Projeto, 2013. v. 1. p. 1-10.

NASCIMENTO, T. C.C.; JÚNIOR, J. S. G.; BARBOSA, R. V. R. Estudo comparativo entre cânions urbanos formados em ruas com diferentes configurações: influência da verticalização para o clima urbano. **In.:** XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. Campinas, 2015.

STROMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 2011-2020, 2011.

YANG, X.; ZHAO, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building and Environment**, v. 60, p. 93–104, fev. 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE ESCOLA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO INFANTIL EM PELOTAS/RS – ZB2[1]

PEGLOW, Jaqueline (1); RITTER, Viviane (2); RONCA, Amanda (3); PEREIRA, Renata (4); CUNHA, Eduardo (5); RHEINGANTZ, Paulo (6)

(1) UFPEL, e-mail: jaquelinepeglow@gmail.com; (2) IFSUL, e-mail: vivianeritter@yahoo.com.br; (3) UFPEL, e-mail: ronca.arq@hotmail.com; (4) UFPEL, e-mail: pereiracrenata@gmail.com; (5) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br; (6) UFPEL, e-mail: parheingantz@gmail.com

RESUMO

Este artigo relata um estudo de caso envolvendo o processo de avaliação do nível de conforto térmico de uma Escola Municipal para a educação Infantil (EMEI) em Pelotas/RS, vinculado ao Programa Proinfância, com projeto-padrão tipo C desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), na periferia da cidade de Pelotas-RS, zona bioclimática 2. O projeto, inicialmente concebido para se utilizar sistema construtivo convencional, posteriormente foi ajustado para o sistema construtivo *Wall System* desenvolvido pela empresa MVC Componentes Plásticos Ltda. A simulação avalia e compara o nível de conforto térmico da EMEI com os dois sistemas construtivos com base em simulação termodinâmica, através do *software Design Builder (*versão 4.2.0.054). A análise dos resultados da simulação da EMEI foi baseada no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55/2010. Posteriormente, foram testadas três medidas de otimização do nível de conforto térmico da edificação. Os resultados preliminares, relativos ao nível de conforto dos ambientes de permanência prolongada, indicam um baixo nível de conforto térmico e que o maior desconforto decorre do calor. Com base nas medidas de otimização do desempenho da edificação, os resultados evidenciaram a importância do projeto padrão estar adaptado ao contexto climático local.

Palavras-chave: Conforto térmico. Desempenho térmico. Simulação termodinâmica. EMEI

ABSTRACT

This article reports a case study involving the evaluation process of the level of thermal comfort of a Municipal School for Early Childhood Education under construction on the outskirts of the city of Pelotas/RS, bioclimatic zone 2, linked to Proinfância Program, with design standard type C developed by the National Development Fund Education, The project, initially designed to use conventional built system, was later set to the Wall System building developed by the MVC Plastic Components Company. The simulation evaluates and compares the level of thermal comfort of the building with two construction systems. The study reports the analysis of the thermal comfort of a Type C unit, based on thermodynamic simulation, through software Design Builder (version 4.2.0.054). The analysis of the building simulation results was based on the adaptive model ASHRAE comfort 55/2010. Later, were tested three optimization measures of the thermal comfort level of the building based on thermal insulation and absorptance coverage, in addition to sun protection system design for the window frames. Preliminary results for the level of comfort of long permanence

[1] PEGLOW, Jaqueline *et al*. Avaliação do conforto térmico de escola municipal de educação infantil em Pelotas/RS – ZB2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

environments indicate a low level of thermal comfort, the 50% MVC system and around 60% in the conventional system, and yet, that the greater discomfort comes from the heat. Based in performance optimization measures of building the MVC system reached 66.4% of thermal comfort compared to 62% in the conventional system. The results show the importance of the standard design to be adapted to the local climatic context.

***Keywords**: Thermal Comfort. Thermal performance. Thermodinamic Simulation. EMEI*

1 INTRODUÇÃO

Até 1988 a Educação Infantil no Brasil priorizou a guarda das crianças e a maior parte das creches destinava-se ao atendimento de crianças pobres. Os serviços prestados tinham pouca preocupação com os direitos dos pequenos e as creches, em sua maioria, eram adaptadas em edifícios existentes, com infraestrutura e habitabilidade precárias. Eram verdadeiros "depósitos de crianças". Com a promulgação da Constituição, a educação infantil deixa de ser uma caridade e passa a ser um dever do Estado e um direito da criança. Além disso, o acesso à educação de todas as crianças com idade entre zero e seis anos passa a ser responsabilidade dos Municípios.

Passados mais de vinte e cinco anos a infraestrutura necessária para cumprir o preceito constitucional, as diretrizes da educação infantil e a qualidade da infraestrutura das instituições públicas para a educação infantil, ainda apresenta sérios problemas (PNE 2001-2010; PNE 2011-2020). No Município de Pelotas a precariedade da rede de Escolas Municipais de Educação Infantil (EMEIs) – nova designação adotada para as creches, que ficaram estigmatizadas como instituições de caridade – motivou a Promotoria da Justiça da Infância e da Juventude a abrir um processo com vistas a sanar os problemas de infraestrutura existentes. Em resposta à Prefeitura Municipal e à Secretaria Municipal de Educação de Desportos (SMED) abriram-se duas frentes de ação: aderiram ao Programa Proinfância (MEC) para a construção de catorze novas EMEIs com projeto-padrão desenvolvido pelo Fundo Nacional da educação (FNDE) e contrataram projetos de reforma e recuperação das vinte e sete unidades existentes.

Criado em 2007 com o objetivo de prestar assistência financeira aos municípios para a construção de creches e pré-escolas públicas, o Programa Proinfância desenvolveu: projetos-padrão de arquitetura, financiamento de obras, aquisição de mobiliário e equipamentos, assessoramento técnico-pedagógico e custeio de novas matrículas (COELHO, in FLORES; ALBUQUERQUE, 2015: 7).

Apesar dos problemas envolvendo projetos-padrão em um país de dimensões continentais e com a diversidade climática e sociocultural como o Brasil, tais projetos, desenvolvidos pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), possibilitaram: (1) rever e renovar as especificações técnicas das EMEIs; (2) redefinir o espaço e o ambiente educacional para a infância; (3) regular e monitorar a concepção, a construção e o uso das EMEIs em escala nacional; e (4) direcionar as expectativas de oferta de edifícios para a Educação Infantil.

Neste contexto este trabalho se vincula a uma pesquisa que explora possibilidades e alternativas para a melhoria da qualidade e do desempenho ambiental das EMEIs com o projeto-padrão FNDE no Município de Pelotas. Como princípio, busca contribuir para a superação:

- das limitações e inadequações de uma concepção de educação que utiliza os espaços e o clima "de forma pouco criativa" (KOWALTOWSKI, 2010:161);
- de uma arquitetura escolar naturalizada e sacralizada pela falta de questionamento sobre as necessidades de relacionar a concepção e a organização dos seus ambientes. Atrelado ao fato de que as práticas pedagógicas, as atuais demandas sociais (KOWALTOWSKI, 2010) tornam as escolas brasileiras quase idênticas ao longo do tempo e do espaço (GOULART, 2011).

Como o desconforto térmico pode comprometer a saúde e a disposição das crianças nas suas atividades diárias, a melhoria das condições térmicas do ambiente construído passa a ser determinante para a qualidade ambiental dos projetos de arquitetura escolar para a educação infantil.

Considerando que o Programa Proinfância e a opção pelos projetos-padrão foram decisões de Governo, existe interesse manifesto dos técnicos do FNDE para estruturar uma rede nacional com grupos de pesquisa vinculados às universidades públicas, com vistas a simular o desempenho termo-energético dos projetos-padrão das EMEIs, considerando as diferenças entre as regiões climáticas e os contextos socio-econômico-culturais.

Nessa perspectiva, o artigo relata o processo de avaliação do nível de conforto térmico da *EMEI Colônia Z3*, com projeto-padrão FNDE tipo "C", inserido na cidade de Pelotas-RS, Zona Bioclimática 2 (Figura 1). A EMEI utiliza o sistema construtivo Wall System desenvolvido pela empresa MVC Componentes Plásticos Ltda., composto por perfis metálicos e fechamento com painéis com núcleo de poliestireno expandido (EPS) e gesso acartonado com acabamento em plástico reforçado e cobertura com telha cimentícia. Como o projeto-padrão tipo "C" foi originalmente concebido com sistema construtivo convencional – estrutura de concreto armado, paredes com tijolo cerâmico de 8 furos, rebocada nas duas faces, cobertura com telha cerâmica e forro de gesso acartonado – a avaliação também considerou este sistema construtivo, para comparar os seus desempenhos.

O envoltório das edificações participa ativamente nas trocas térmicas com o meio externo e sua concepção é fundamental para o desempenho termoenergético do edifício.

Figura 1 – Localização no terreno da EMEI Colônia Z3.



Fonte: GoogleEarth 2016

No estudo de caso, o nível de conforto térmico da EMEI Colônia Z3 foi avaliado por meio de simulação computacional utilizando o software DesignBuilder, considerando o edifício ventilado naturalmente. Como indicador do nível de conforto térmico dos ambientes internos foi utilizado o Conforto Adaptativo da ASHRAE 55 (2010). Além da avaliação do nível de conforto térmico dos ambientes internos, foram analisadas medidas de otimização da envoltória com vistas à melhoria das condições internas de conforto. No caso deste artigo foram testadas as seguintes estratégias: isolamento térmico e baixa absortância da cobertura (cor branca), utilizadas isoladamente e em conjunto. Também se testou a inserção de sistema de proteção solar misto. As estratégias isoladas e em conjunto foram simuladas para a EMEI Colônia Z3.

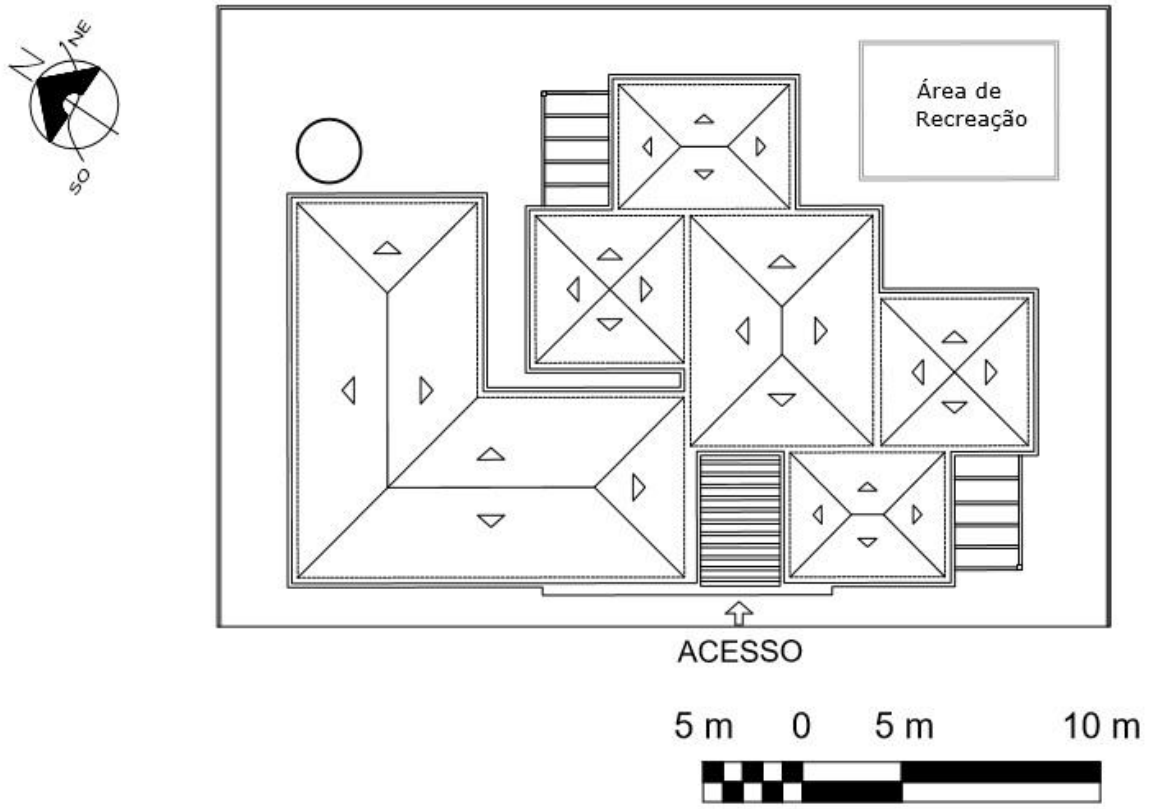
2 MÉTODO

Com relação à avaliação do conforto térmico a simulação termodinâmica da EMEI foi dividida em três etapas: modelagem, simulação e análise de resultados. Nessa ótica são apresentadas as análises da EMEI com os dois sistemas construtivos: o sistema MVC com paredes formadas por placas de PRFV (Lâminas de plástico reforçadas com lã de vidro), gesso acartonado e poliestireno expandido, e o sistema convencional, em alvenaria com tijolos cerâmicos de 8 furos revestidos, telhas cerâmicas e o mesmo forro do sistema MVC. Medidas de otimização do desempenho termoenergético envolvendo o fechamento opaco (na cobertura) e os fechamentos transparentes foram testadas nos dois sistemas construtivos.

2.1 Definição do objeto de estudo

Para este estudo foi escolhida, dentre as catorze EMEIs que Pelotas/RS conseguiu aprovar no Programa Proinfância, a EMEI Colônia Z3, Colônia de Pescadores de Pelotas-RS (Figura 2), localizada em terreno da Municipalidade e em fase inicial de construção.

Figura 2 – Localização no terreno da EMEI Colônia Z3.



Fonte: Os Autores - edição sobre base fornecida pelo Departamento de Engenharia da SMED 2015

O processo de licitação foi realizado pelo FNDE seguindo o modelo de pregão eletrônico para registro de preços nacional – RPN e a empresa vencedora foi a MVC Componentes Plásticos Ltda, detentora dos direitos do sistema construtivo Wall System, por ela desenvolvido e ajustado para seguir o projeto-padrão desenvolvido pelo FNDE. A escolha dos locais de implantação coube à Secretaria Municipal de Educação e Desportos (SMED). A unidade analisada é uma EMEI tipo "C", com capacidade para acolher até 120 crianças, em dois turnos (matutino e vespertino) ou 60 crianças em período integral.

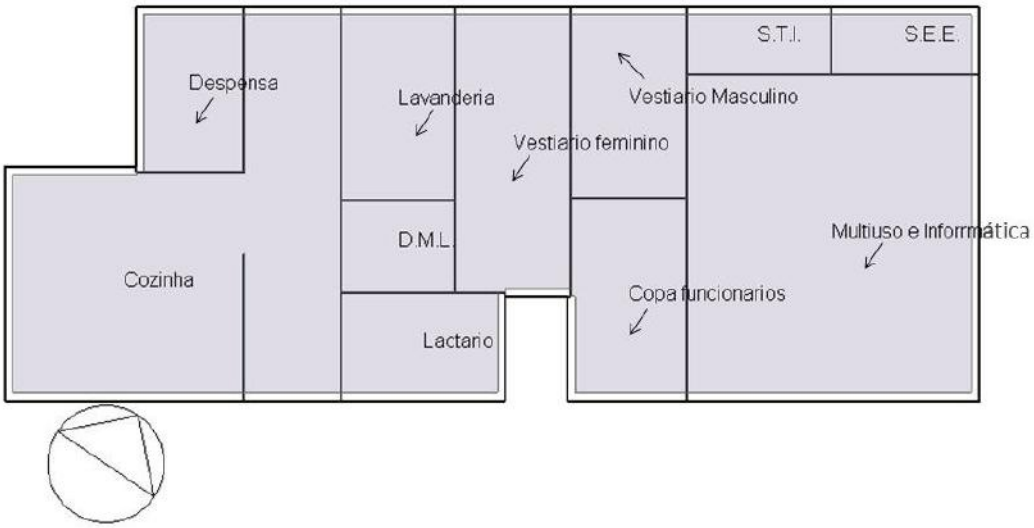
2.2 Modelagem e configuração

A cidade de Pelotas está situada na Zona Bioclimática 2 (NBR 15.220 – 3). Como ainda não possui arquivo climático foi utilizado o arquivo disponível para a mesma zona, o TMY de Santa Maria - RS (BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.epw) (LABEEE, 2015). O arquivo climático contém valores para as 8.760 horas do ano, com variações horárias de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar.

Na modelagem da EMEI Colônia Z3 foram observadas as seguintes diretrizes básicas:

(1) Definição do conceito de Zona Térmica como um ou mais ambientes com a mesma orientação e mesmas condições de uso, ocupação de densidade de carga interna, considerando a iluminação artificial e os equipamentos e a possibilidade de uma mesma zona térmica abrigar mais de um ambiente. No caso da EMEI, considerando o regulamento de eficiência energética para edificações residenciais, foi definido que cada ambiente caracterizaria uma zona térmica. (Figura 3).

Figura 3 – Zonas Térmicas da EMEI Colônia Z3 modelada com tecnologia MVC e Convencional



Fonte: Programa *DesignBuilder* (2015)

(2) Após a modelagem da EMEI foram configurados os fechamentos opacos (horizontal e vertical) e transparentes para os dois sistemas construtivos (MVC X convencional) (Quadro 1).

Quadro 1 - Sistemas construtivos das duas configurações

EMEIs	**Tecnologia MVC**	**U (W/m^2K)**	**Tecnologia Convencional**	**U (W/m^2K)**
Paredes	Lâmina de plástico reforçada com fibra de vidro, gesso cartonado, poliestireno expandido, gesso cartonado e lâmina de plástico reforçado com fibra de vidro	**0,55**	Parede com tijolo de 8 furos com 19 x 19 x 9 cm, rebocada nas duas faces (14 cm)	**2,59**
Cobertura	Telha cimentícia, câmara de ar, gesso cartonado, poliestireno expandido e gesso cartonado	**1,32**	Telhado com telha colonial, câmara de ar e laje pré-moldada	**2,48**

Fonte: Os autores

(3) As condições de uso e de ocupação foram configuradas (a) a partir da previsão do número de pessoas (adultos e crianças) que utilizam cada ambiente, e (b) das diferentes atividades por elas desempenhadas, caracterizando as densidades de cada ambiente. O horário de funcionamento da creche foi definido de 7h30min às 17h30min.

(4) A EMEI foi configurada com ventilação natural. Com base no trabalho de Martins et al (2009), foi utilizado um *setpoint* definido de ventilação de 25°C. Se, durante os horários de ocupação, a temperatura interna chegar a 25°C e a externa for inferior a 25°C, as esquadrias devem ser abertas para aproveitar a ventilação natural.

(5) A *agenda* de operação de janelas possibilita a ventilação natural dos ambientes durante os dias e horários de funcionamento (de segunda a sexta-feira de 7:30 às 17:30 horas). A temperatura interna e o *setpoint* de resfriamento indicam a necessidade ou não de sua abertura.

(6) O sistema de iluminação foi configurado em separado para cada zona térmica, considerando a densidade de potência de iluminação instalada em cada ambiente. Estes valores foram obtidos a partir dos dados do projeto elétrico e do resultado da soma da potência instalada de cada luminária dividido pela área do ambiente.

2.3 Simulação

A simulação analisou o nível de conforto térmico dos ambientes. O índice de conforto térmico utilizado foi o conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2010), o qual considera que o usuário em um ambiente ventilado naturalmente tem uma capacidade de adaptação ao contexto microclimático local operando a abertura e fechamento de janelas e portas. A temperatura operativa de conforto é calculada com base na temperatura externa (Equação 1).

$$t_{oc} = 18,9 + 0,255\ t_{ext} \qquad (01)$$

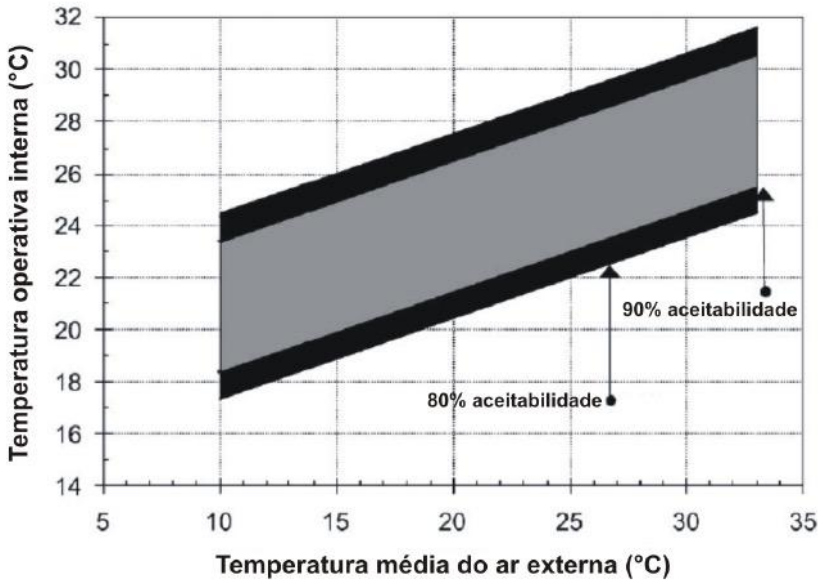
Onde:

t_{oc} = temperatura operativa de conforto

t_{ext} = temperatura externa

Para a definição da zona de conforto térmico, que atenda a, pelo menos, 80% dos usuários do ambiente, observado um intervalo da temperatura operativa mais 3,5 °C e menos 3,2 °C. Para que 90% dos usuários estejam em conforto este limite é ajustado para mais 2,5 °C e menos 2,2 °C. O intervalo de conforto térmico a partir das condições exteriores também foi caracterizado (Figura 4).

Figura 4 - Gráfico da Zona de Conforto observando a ASHRAE 55.



Fonte: Adaptado da ASHRAE (2009)

2.3 Proposição de melhorias

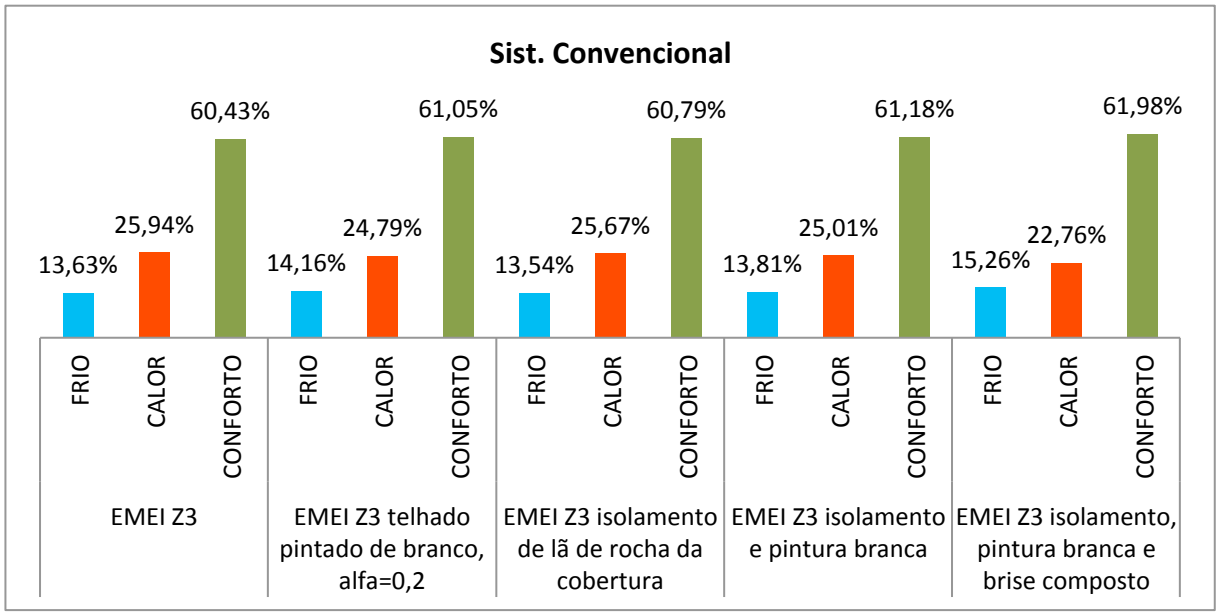
Nesta etapa foram propostas e testadas medidas para os planos vertical e horizontal, com vistas a tornar a edificação mais confortável para seus usuários. Como a cobertura é o elemento da envolvente da edificação que recebe maior incidência de radiação solar ao longo do ano e por sua importância na definição de cargas térmicas, foram testadas três propostas para melhorar seu desempenho: alteração da transmitância térmica das coberturas com a utilização de isolamento com lã de rocha (espessura de 0,05m, densidade de 20 kg/m³, condutibilidade térmica de 0,045 W/(m.K) e calor específico de 0,75 kJ/(kg.K)) abaixo da telha; alteração da absortância, mudando a cor da cobertura para branco (α = 0,20); e das duas propostas em conjunto: com isolamento térmico de manta de lã de rocha somada à pintura da cobertura em cor branca, ambas com

características acima citadas. No plano vertical, foram testados protetores solares horizontais e mistos (horizontal e vertical).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados iniciais, anteriores à otimização, indicaram (a) que o sistema construtivo convencional tem melhor desempenho térmico que o sistema construtivo MVC, apesar do nível de conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada ter sido baixo em ambos os sistemas, e (b) a necessidade de se melhorar o projeto de arquitetura. Os gráficos a seguir apresentados (Figuras 5 e 6) mostram os níveis de conforto dos sistemas Convencional e MVC, respectivamente.

Figura 5 – Gráfico com os Níveis de Conforto Térmico do Sistema Convencional.

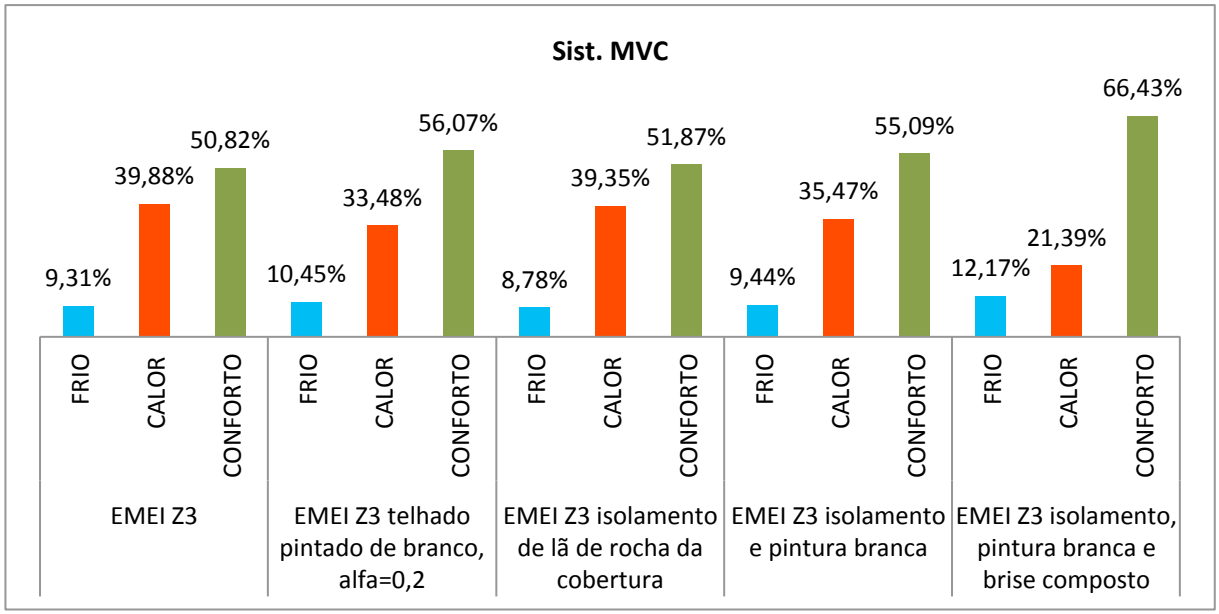


Fonte: Os autores

Enquanto o fechamento vertical da EMEI com sistema construtivo convencional apresentou um nível de conforto térmico médio nos ambientes de permanência prolongada em torno de 60,43%, o fechamento vertical com sistema construtivo MVC apresentou um valor de 50,82%. Considerando apenas as horas ocupadas (de 7h00min às 17h30min) a diferença correspondeu a mais 300 horas ou cerca de 30 dias por ano de desconforto do que a melhor configuração. Enquanto o desconforto térmico por calor obtido foi de quase 40% das horas do ano na EMEI com tecnologia MVC, este valor caiu para quase 25% das horas do ano com calor no sistema convencional, com alvenaria cerâmica revestida. No período de inverno os ambientes internos com vedações verticais de tilolo cerâmico revestido são

aproximadamente 6% mais frios do que os com vedações com placas de plástico da MVC. Linearizando os resultados é possível considerar que no sistema MVC houve um mês a mais de calor em comparação ao sistema tradicional.

Figura 6 – Gráfico com os Níveis de Conforto Térmico do Sistema MVC.



Fonte: Os autores

Estes resultados iniciais indicam a necessidade de medidas de otimização do desempenho térmico das edificações com o intuito de melhorar o nível de conforto térmico dos ambientes internos de permanência prolongada.

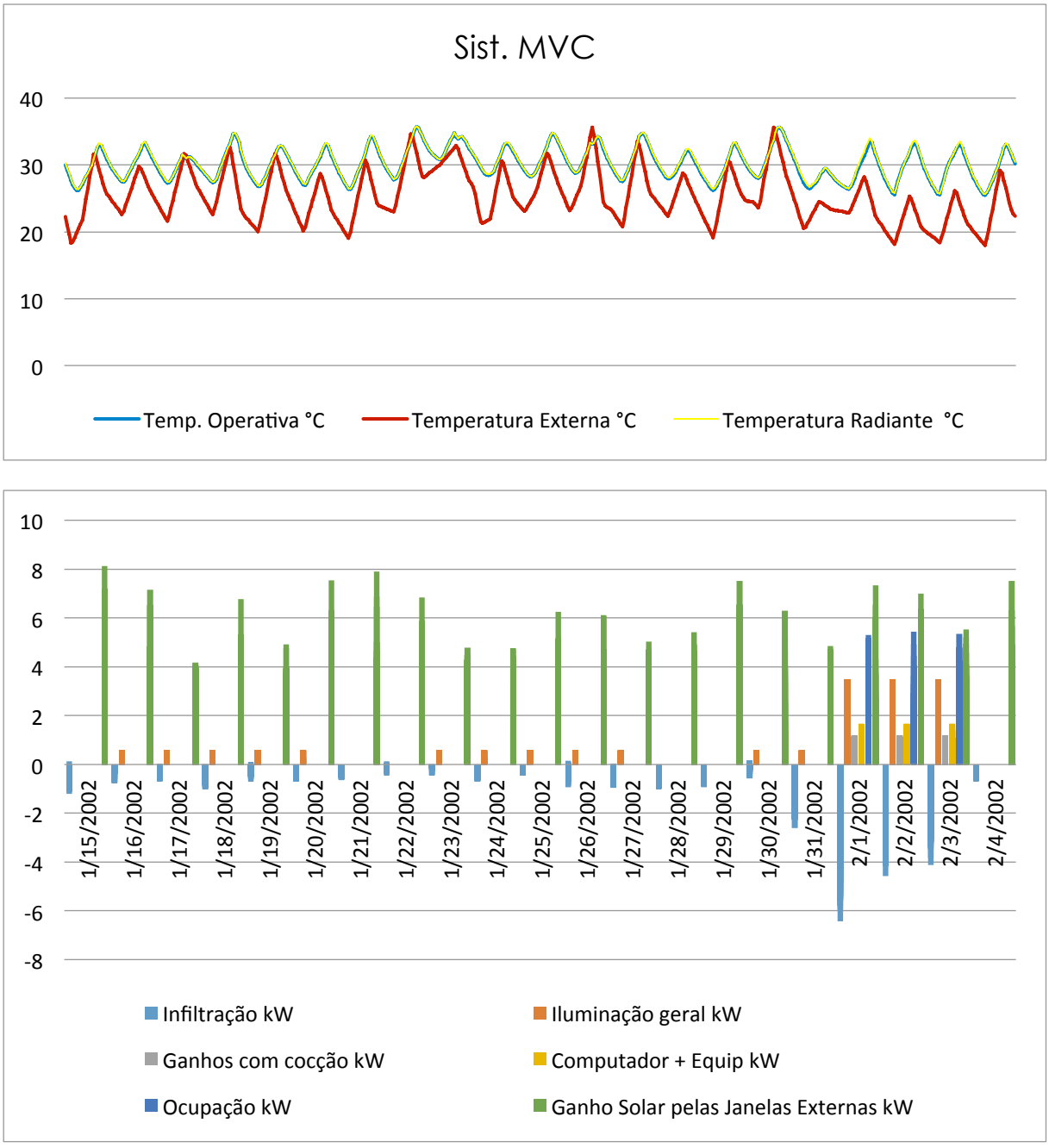
Embora o envelope do sistema MVC possua maior isolamento térmico, os ganhos de calor pelos fechamentos vertical e horizontal somados com a ausência de massa térmica interna, resultaram em maior desconforto por calor.

Tomando como base a semana típica de verão do arquivo climático de Santa Maria, com período de 15 de janeiro a 4 de fevereiro, foram analisadas as temperaturas interna, externa e radiante média das paredes e laje de forro. Os resultados apresentados nos gráficos se devem ao fato da semana típica coincidir com o período de férias coletivas da EMEI, durante o mês de janeiro.

Nos gráficos apresentados a seguir (Figuras 7 e 8) é possível observar que tanto a TR (Temperatura Radiante) média dos ambientes como a TAr (Temperatura do ar interna) são superiores no sistema construtivo MVC. Quando minimizados os ganhos térmicos nos planos horizontal (absortância 0.2) e no Plano Vertical (brise soleil) na condição de verão, somado ao maior

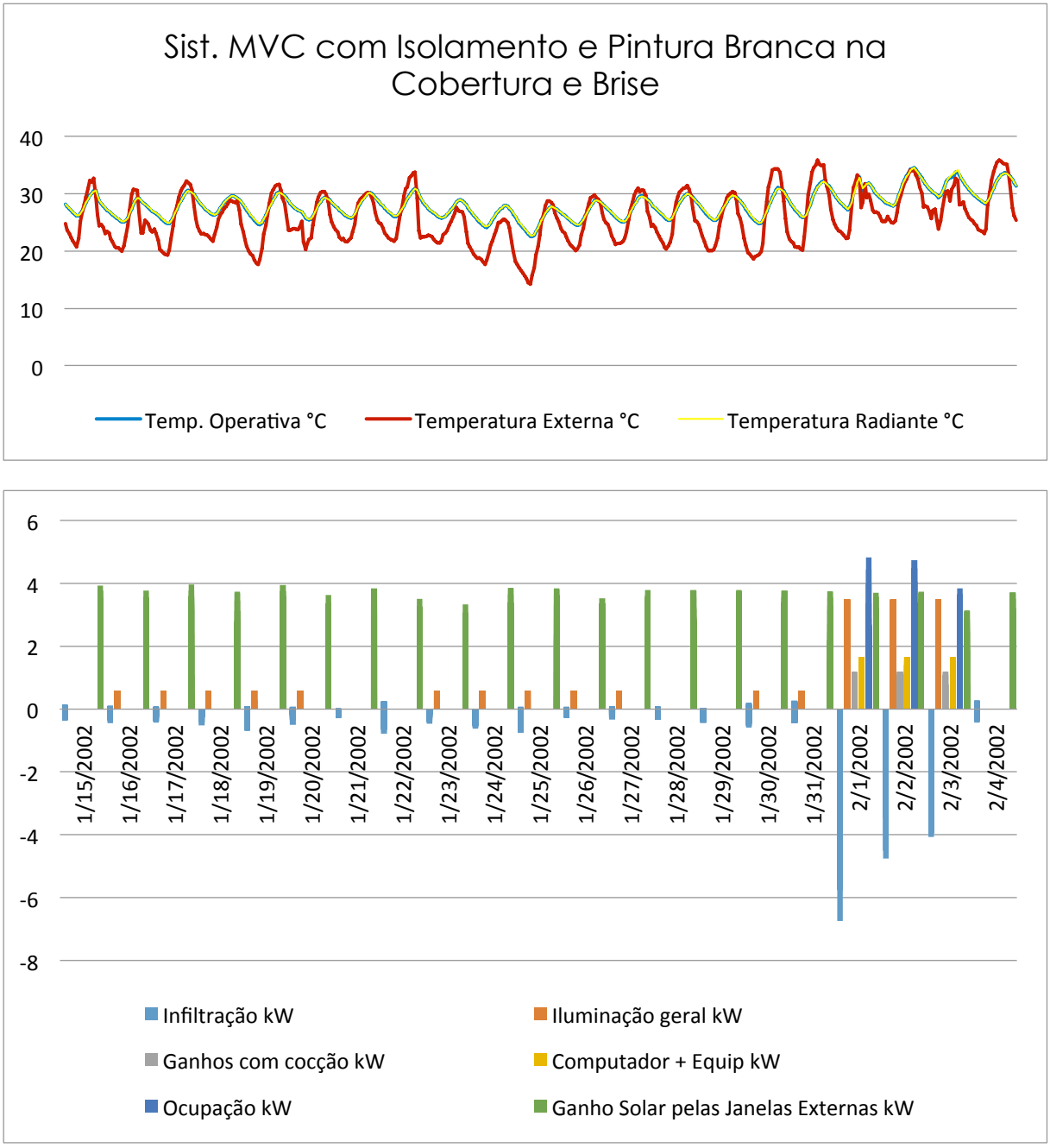
isolamento térmico do envelope, temos os maiores níveis de conforto térmico no sistema MVC.

Figura 7 – Gráfico de Fluxo de Calor em uma Semana Típica de Verão para o Sist. MVC



Fonte: Os autores

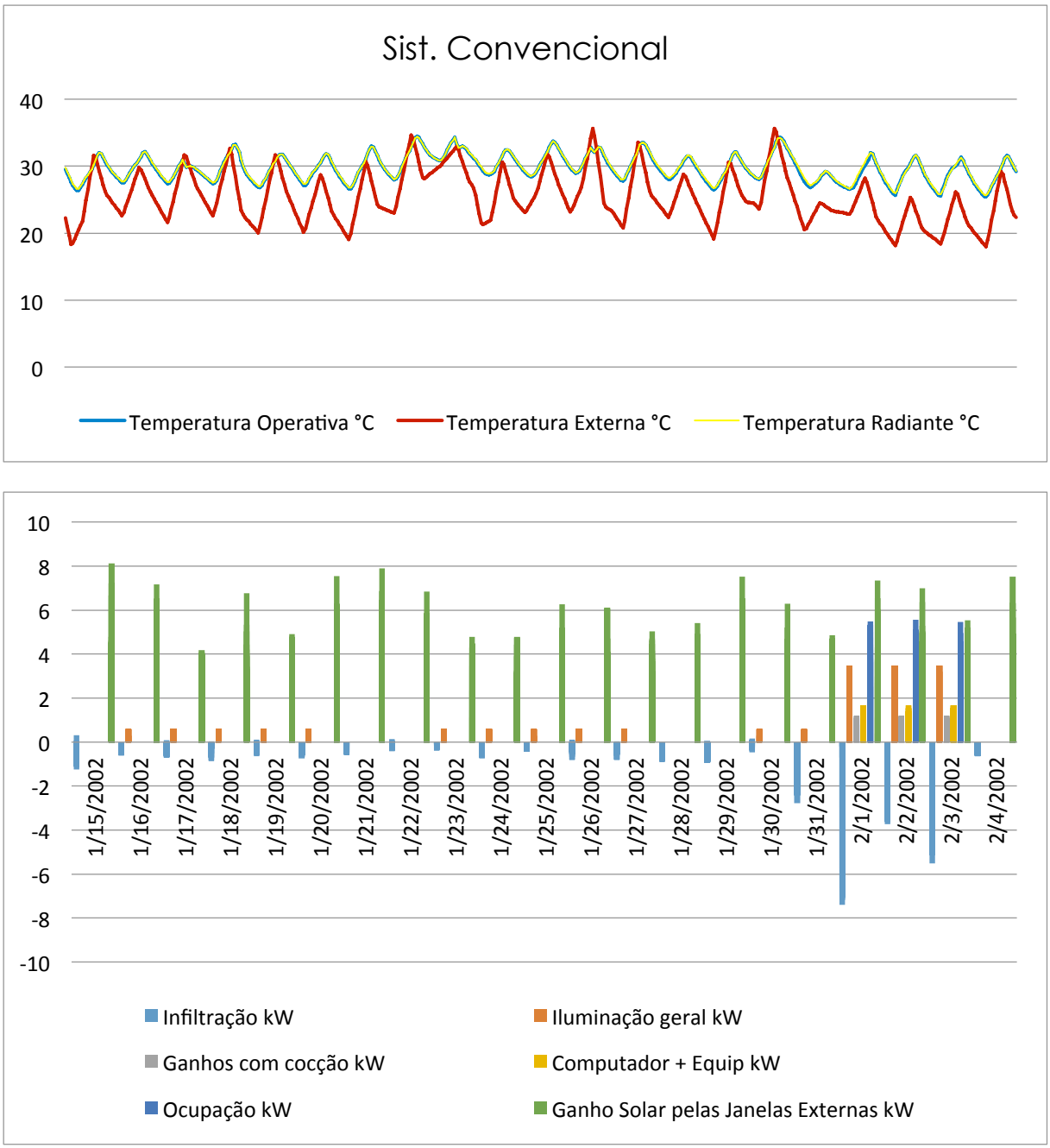
Figura 8 – Gráfico de Fluxo de Calor em uma Semana Típica de Verão para o Sist. MVC com Isolamento e Pintura Branca na Cobertura e Brise



Fonte: Os autores

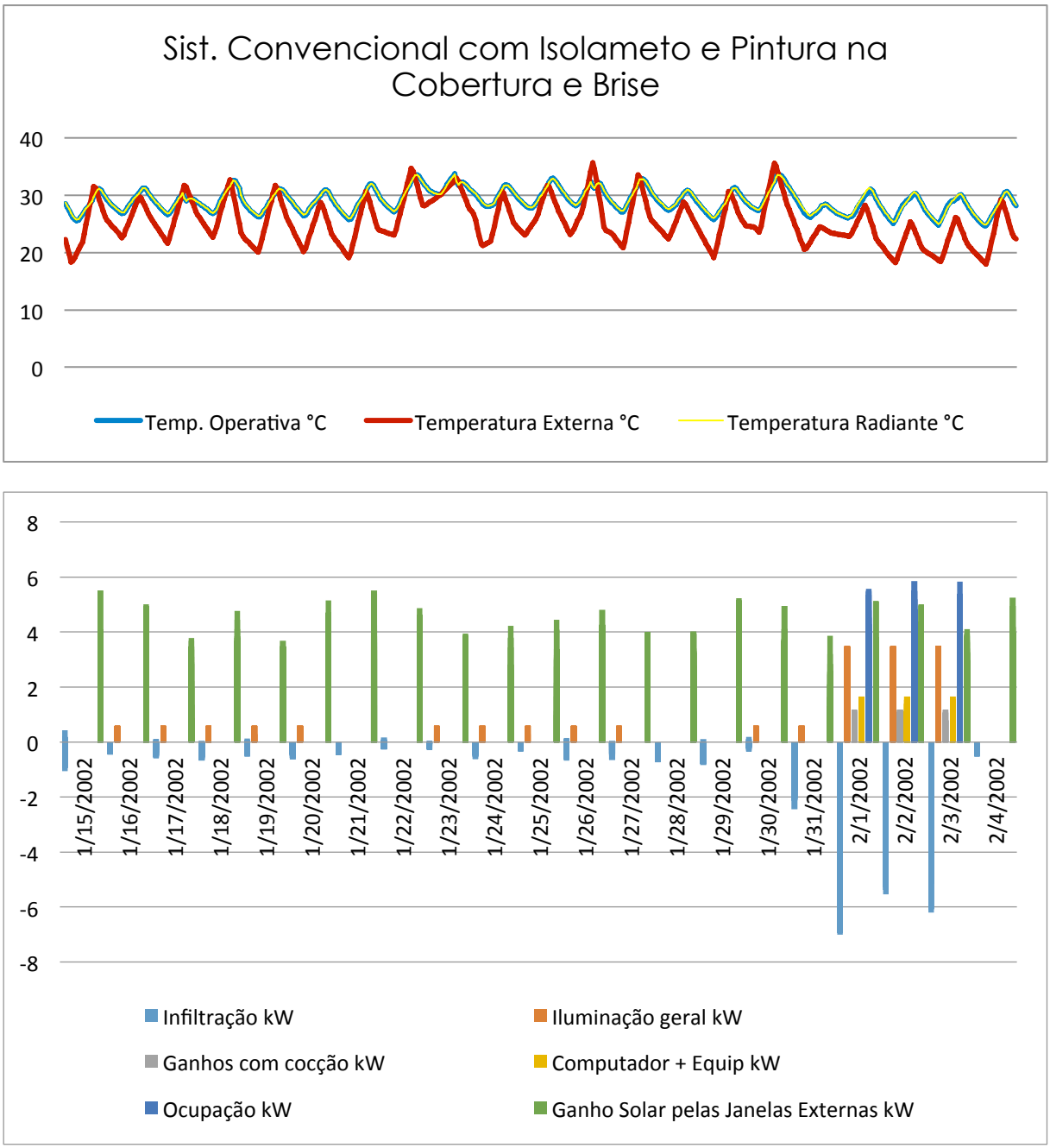
Já no sistema Convencional (Figuras 9 E 10) é possível observar um desempenho constante com pouca variação: a pintura da cobertura impactou 61,05%, enquanto o isolamento térmico da cobertura correspondeu a 60,79%. Em conjunto, pintura e o isolamento da cobertura representaram 61,18%. Por fim, a pintura e o isolamento da cobertura com a incorporação dos brises representaram 61,98%.

Figura 9 – Gráfico de Fluxo de Calor em uma Semana Típica de Verão para o Sist. Convencional



Fonte: Os autores

Figura 10 – Gráfico de Fluxo de Calor em uma Semana Típica de Verão para o Sist. Convencional com Isolamento e Pintura Branca na Cobertura e Brise



Fonte: Os autores

Com vistas a otimizar o nível de conforto térmico da EMEI Colônia Z3 nos dois sistemas construtivos (MVC e convencional), foram testadas duas possíveis medidas de otimização do nível de conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada. A primeira, relativa ao plano horizontal, com alteração da absortância e do isolamento da cobertura; a segunda, relativa

ao plano vertical, com a inserção de protetores solares mistos. Inicialmente foi testada a pintura da cobertura com a cor branca. Considerando os dois sistemas construtivos, o nível de conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada aumentou cerca de 1% no sistema convencional, e 4% no sistema MVC. No caso específico do isolamento térmico da cobertura, foi observado um aumento de 1% nas horas de conforto térmico no interior da edificação, ou seja: um adicional de 30 horas em conforto térmico ao longo do ano. A simulação com as duas soluções combinadas e aumentando o isolamento térmico na cobertura com as telhas pintados de branco, resultou numa melhora de 5% no sistema MVC, ou seja: um acréscimo de 150 horas ou 15 dias de conforto térmico ao longo do ano, considerando o horário de funcionamento da creche. Para o sistema convencional, com paredes em alvenaria cerâmica, a melhora do desempenho foi de aproximadamente 1%, ou 30 horas. A inclusão de protetores solares ampliou o percentual de conforto térmico no sistema MVC em 15%, ou seja, um acréscimo de 450 horas ou 45 dias de conforto térmico dos usuários desses ambientes, o que caracteriza uma alteração significativa. No sistema convencional a alteração foi de apenas 1%.

4 CONCLUSÕES

As alterações propostas impactaram mais o sistema construtivo MVC, com pior desempenho térmico, aproximando o nível de conforto térmico das duas alternativas de sistema construtivo. O teste com as duas soluções de otimização da EMEI resultou na tecnologia convencional com 62% das horas em funcionamento em conforto térmico, enquanto o da EMEI com sistema MVC, 66,43%. Os resultados da otimização do desempenho da edificação não atingiram os 80% das horas do ano preconizados no RTQ-C para ambientes ventilados naturalmente, nem 85% preconizados no nível "C" na ISO 7730 (2005). Em trabalhos futuros a análise deve considerar a influência da vegetação no desempenho térmico da edificação no controle de radiação solar direta como estratégia de projeto.

Vale ressaltar que o sistema com tecnologia MVC, originalmente proposto no projeto, apresentou desempenho térmico baixo inicialmente e, após as medidas de otimização do nível de conforto térmico, seu desempenho foi o mais alto dentre as propostas. Outro aspecto a considerar é a necessidade de revisão do projeto arquitetônico, uma vez que o melhor desempenho do sistema convencional é muito baixo, próximo de 66%, mesmo com todas as melhorias incluídas. É recomendável uma revisão da forma e da configuração do projeto, valorizando a orientação das fachadas para as orientações norte e sul, com as maiores aberturas dispostas na fachada norte, de modo a facilitar o controle da radiação solar direta e o aproveitamento dos ventos dominantes nas estações quentes.

O estudo apresentado evidenciou a importância do projeto de arquitetura possuir uma boa orientação solar e um sistema construtivo adequado. Os resultados indicam que não basta melhorar somente o isolamento do envelope; que também é necessário controlar a radiação solar direta. A

simulação possibilitou verificar que o sistema construtivo MVC, de pior desempenho, pode vir a ser a melhor escolha, caso o projeto venha a ser corrigido, com a incorporação de beirais ou varandas que protejam as paredes e aberturas da radiação solar direta. Com as correções e ajustes de projeto simulados, o conforto térmico aumentou de 50% para 66%, correspondendo a cerca de 45 dias a mais de conforto térmico para os usuários.

REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE: Atlanta, 2010.

BRASIL, Lei nº 10.172/2001, **Plano Nacional de Educação**. Brasilia: Congresso Nacional, 2001.

BRASIL, Lei nº 13.005/2014, **Plano Nacional de Educação**. Brasilia: Congresso Nacional, 2014.

FLORES, Maria Luiza R.; ALBUQUERQUE, Simone S. De. (Orgs.) **Implementação do Proinfância no Rio Grande do Sul: perspectivas políticas e pedagógicas**. Porto Alegre: ediPUCRS, 2015.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar:** o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Arquivos climáticos**. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin. Acesso em: 20 dez. 2015.

GOULART, Bia. **A Conversa da Escola com a Cidade: teorias e práticas de aproximação entre arquitetura, urbanismo e educação**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Memorial de Qualificação [Mestrado em Arquitetura]

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO CALOR E CONFORTO TÉRMICO EM GALPÕES COMERCIAIS SOB VENTILAÇÃO NATURAL: ESTUDO PARA A CONDIÇÃO CLIMÁTICA QUENTE-SECA[1]

PEIXOTO NETO, Milton Moreira (1); DURANTE, Luciane Cleonice (2); CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio (3); ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho (4); ZINA, Carolina Mendonça (5); MEDEIROS, Larissa Mendes (6); VILELA, Jhonatha Correia (7)

(1) UFMT, e-mail: arqcuiaba@gmail.com; (2) UFMT, e-mail: luciane.durante@hotmail.com; (3) UFMT, e-mail: ivancallejas1973@gmail.com; (4) UFMT, e-mail: karyna.rosseti@gmail.com; (5) UFMT, e-mail: carolinamzina@gmail.com; (6) UFMT, e-mail: larissa.medeiros@ifmt.edu.br; (6) UFMT, e-mail: jcorreiavilela@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de exposição ocupacional, de conforto térmico e de ventilação natural de um galpão comercial, localizado em região de clima quente, na estação seca. A metodologia contemplou medições das variáveis térmicas ambientais, cálculo do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), da Porcentagem de Insatisfeitos com o ambiente térmico naturalmente ventilado e do Índice de Ventilação Natural (IVN). Os resultados demonstraram que os limites de tolerância ao calor para trabalho contínuo não foram superados, com IBUTG inferior a 25ºC e, a partir das 12h, as condições ambientais configuram desconforto térmico para 80% dos usuários. As condições atuais de operação do galpão apresentam seis exaustores eólicos instalados na cumeeira, que proporcionam IVN de 0,88, valor insuficiente para promover a convecção necessária para saída de ar quente. De acordo com o método, são necessários 38 exaustores para obtenção do IVN igual a 3,0, com o qual se estabelece dentro do prédio, o efeito de convecção pela cumeeira que proporciona efetiva melhoria das condições de conforto térmico.

Palavras-chave: Estresse térmico. C*onforto térmico. Ventilação natural.*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the occupational exposure conditions, environmental thermal comfort and natural ventilation at a commercial gable framing, located in region of hot and dry climate. The methodology included measurements of environmental thermal variables, calculation of the Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT), the Dissatisfied Percentage of people with thermal environment naturally ventilated and the Natural Ventilation Index (IVN). The results indicated that the thermal stress limits for continuous work do not exceed the threshold limit value, with WBGT lower than 25°C and, after 12h, it was observed thermal discomfort by 80% of users. The gable framing current

[1] PEIXOTO NETO, Milton Moreira; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho; ZINA, Carolina Mendonça; MEDEIROS, Larissa Mendes; VILELA, Jhonatha Correia. Exposição ocupacional ao calor e conforto térmico em galpões comerciais sob ventilação natural: estudo para a condição climática quente-seca. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

conditions operation have six aeolic fans installed on the roof, which provide IVN equal to 0.88, which indicated insufficient conditions to promote the effective ventilation chimney effect. According to the method, it is necessary 38 aeolic fans to provide IVN equal to 3.0, which is able to provide inside the building the convection effect through the top, providing effective improvement of thermal comfort.

Keywords: *Heat stress. Thermal comfort. Natural ventilation.*

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista as diversidades culturais e climáticas dos locais habitados pelo homem, desenvolveram-se estudos que pudessem expressar a sensação térmica dos habitantes. A definição desses modelos baseou-se em índices que quantificam as respostas das sensações humanas às diferentes condições de exposição térmica ambiental.

A temperatura a qual é submetido um ocupante de uma edificação exerce grande influência sobre seu comportamento, estado físico e psíquico. Os estudos buscam definir as interações entre o homem e o meio ambiente térmico, estabelecendo os limites aos quais se pode suportar calor ou frio, ou seja, as exigências humanas.

Em se tratando de ambientes de trabalho, o conforto térmico faz-se imprescindível, uma vez que condições insatisfatórias podem refletir na produtividade e na saúde e bem-estar dos trabalhadores. Na maioria dos ambientes de trabalho do tipo galpões, objeto deste estudo, o condicionamento térmico artificial é inexequível devido às dimensões e processos neles realizados, de modo que operam em condições de ventilação natural. Assim, a ventilação é determinante para a adequação ambiental e deve ser tratada pela ótica da busca pelo maior bem estar dos ocupantes.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar as condições de exposição ocupacional, de conforto térmico e de ventilação natural em um galpão comercial, em região de clima quente, na estação seca.

3 MATERIAIS E MÉTODO

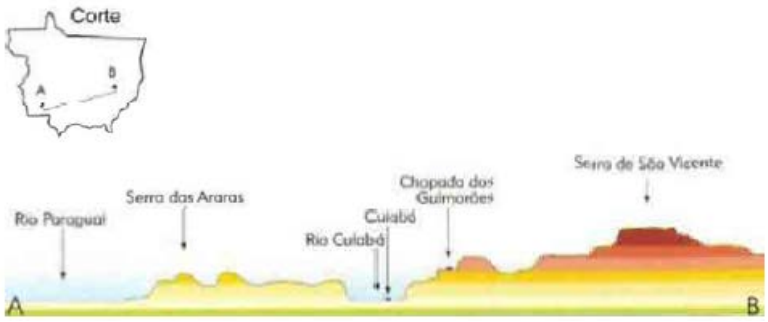
3.1 Caracterização do clima da região quanto à temperatura e vento

Este trabalho desenvolveu-se na cidade de Cuiabá/MT, cujas características de clima tropical são acentuadas por sua localização geográfica, em uma área rebaixada denominada Baixada Cuiabana, que se situa entre o Planalto dos Guimarães e a Serra das Araras, com altitudes variando entre 200m, no limite sul, e 450 m no alto vale dos rios Cuiabá e Manso (IPDU, 2009). O comportamento dos ventos na cidade é influenciado pelo relevo que a circunda, caracterizando baixa ventilação durante o ano todo (Figura 1).

Segundo MAITELLI (1994), os ciclos estacionais possuem um período chuvoso

com duração de seis a sete meses (de outubro a novembro e de março a abril) e um período seco (de maio a setembro), mantendo, ao longo do ano, uma temperatura média e um índice pluviométrico de 25°C e de 1.450 mm, respectivamente. Na estação quente-chuvosa, os ventos tem direção N-NO e na estação quente-seca, tem direção Sul. A intensidade média máxima é encontrada em dezembro com 1,04m/s (CAMPELO JUNIOR et al., 1991).

Figura 1 - Corte esquemático do relevo mato-grossense e a localização da cidade de Cuiabá



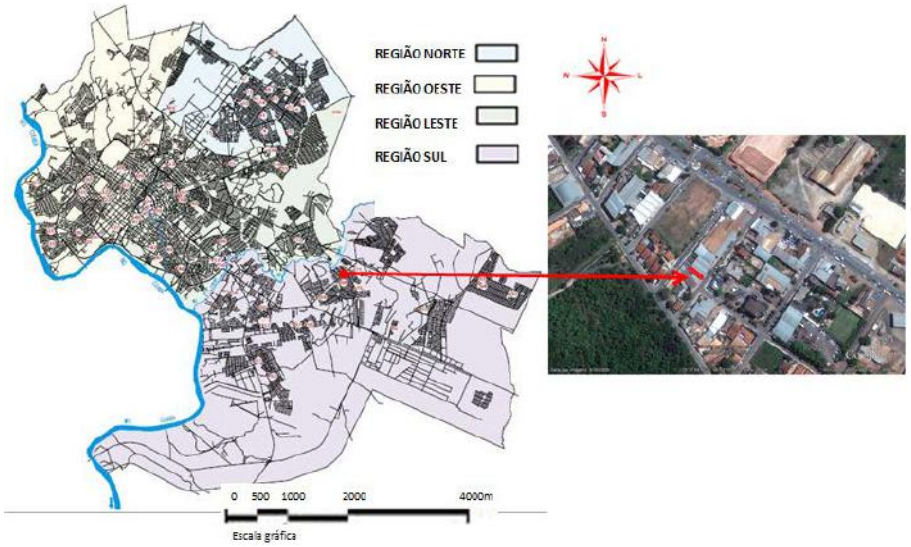
Fonte: Moreno e Higa (2005)

3.2 Objeto de estudo

O objeto de estudo consiste de uma edificação do tipo galpão comercial localizada na região sul do aglomerado urbano de Cuiabá-Várzea Grande (Figura 2). Possui 295m² de área construída, com aberturas posicionadas nas fachadas orientadas a Sudeste (125°) e a Nordeste (305°), respectivamente (Figura 3).

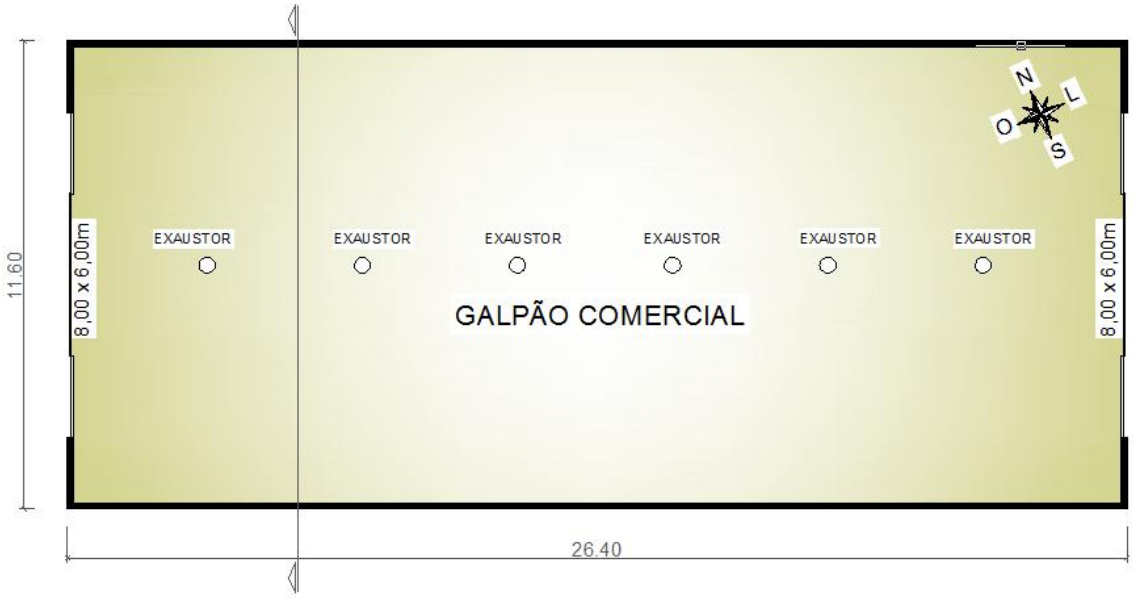
As dimensões das portas são 8,00m de largura e 6,00m de altura (Figura 3). As janelas altas medem 1,71m de largura e 0,60m de altura e não existem aberturas nas laterais. Seis exaustores eólicos com 0,40 m de raio foram dispostos na cobertura (Figura 4), de dimensões e modelo indicados na Figura 5.

Figura 2 – Localização do objeto de estudo

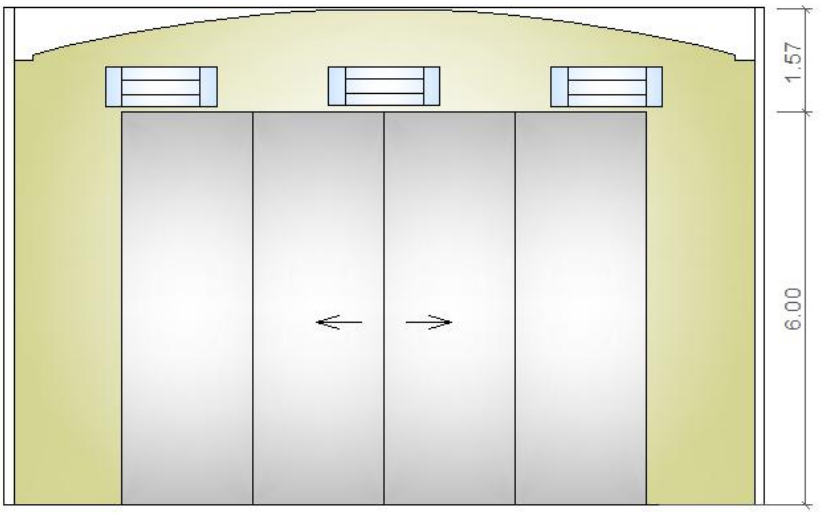


Fonte: Os autores

Figura 3 – (a) Planta baixa do objeto de estudo com a localização dos exaustores instalados na cobertura e (b) corte transversal esquemático



(b)



Fonte: Os autores

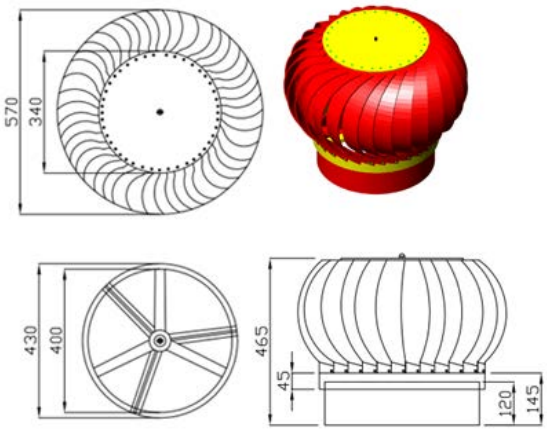
Figura 4 – (a) Aberturas na fachada orientada a 135° e (b) detalhe do exaustor eólico instalado na cumeeira



a) b)

Fonte: Os autores

Figura 5 – Dimensões do exaustor instalado



Fonte: http://www.luftmaxi.com.br/exaustor-eolico-lm-40-gold-standard.html

3.3 Metodologia

3.3.1. Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor

A metodologia da avaliação da exposição ocupacional ao calor segue os pressupostos do Índice de Bulbo Úmido - Termômetro de Globo (IBUTG), da NR15 (BRASIL, 1978).

Foram realizadas medições horárias de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido natural e temperatura de globo nos dias 26, 27 e 28/09/2012, das 7 às 18h. Neste período, o clima local tem características de quente e seco (MAITELLI, 1994), com temperaturas médias de 32ºC (FROTA e SCHIFFER, 1995).

O IBUTG para ambientes internos ou externos sem carga solar é obtido a partir da Equação 1, onde Tbn é a temperatura de bulbo natural (ºC)e Tg a temperatura de globo (ºC).

$$IBUTG = 0,7\ Tbn + 0,3\ Tg \quad (1)$$

O equipamento utilizado foi um Medidor de Estresse Térmico (Figura 6), disposto no centro do ambiente, na altura do tórax do trabalhador.

Figura 6 – Medidor de estresse térmico



Fonte: http://www.instrutherm.com.br

A partir das médias horárias de todo o período de medição, foi calculado o IBUTG. A avaliação foi feita calculando-se o IBUTG em cada hora e comparando os valores com os limites de tolerância para a exposição ao calor, em regime de trabalho contínuo (Quadro 2), considerando-se a atividade exercida no galpão objeto de estudo como do tipo pesada (Quadro 3). Assim, o limite de exposição é de 25ºC.

Quadro 2 – Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO (por hora)	**LEVE**	**MODERADA**	**PESADA**
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9

15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Fonte: BRASIL (1978)

Quadro 3 - Taxas de metabolismo por tipo de atividade

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
SENTADO EM REPOUSO	100
TRABALHO LEVE	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.: datilografia)	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir)	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços	150
TRABALHO MODERADO	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas	180
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300
TRABALHO PESADO	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá)	440
Trabalho fatigante	550

Fonte: BRASIL (1978)

3.3.2. Avaliação das condições de Conforto Térmico

Para avaliação de conforto térmico, utilizou-se o Modelo de Kuchen que propõe uma adaptação ao modelo de Fanger para ambientes naturalmente ventilados. Este método foi adotado considerando que, segundo os autores, o mesmo:

> "[...] calcula a porcentagem de insatisfeitos com o ambiente térmico em função de aspectos locais próprios do edifício e do usuário. Dessa maneira, consideram-se fatores que têm influência sobre o grau de adaptação térmica dos usuários, assim como diferenças climáticas estacionais, geográficas, culturais, entre outras, e conduz a uma otimização do funcionamento adequado de edifícios com diferenças nos sistemas de ventilação e climatização." (KUCHEN et al., 2011, p.50).

A porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico denominada $\text{Insatisfeitos}_{\text{Kuchen}}$ é calculada conforme a Equação 2 (KUCHEN et al., 2011), onde T_n é a temperatura de neutralidade térmica e T_{op} é a temperatura operativa, ambas expressas em ºC.

$$\text{Insatisfeitos}_{\text{Kuchen}} = 100 - 93e^{(-0{,}0009(-T_n + T_{op})^4 - 0{,}034(-T_n + T_{op})^2)} \quad (2)$$

A temperatura de neutralidade térmica de Kuchen é de 23,3ºC, que corresponde à porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico de 7%. A temperatura operativa foi calculada como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, segundo a NBR 16401-2 (ABNT, 2008), o que pode ser feito em locais com velocidade do ar menor que 0,2m/s.

Da mesma forma que para o IBUTG, os dados foram analisados em termos de médias horárias do período de medição.

3.3.3. Avaliação pelo método do Índice de Ventilação Natural (IVN)

O IVN foi desenvolvido empiricamente por Scigliano e Hollo (2001) e representa o grau de eficiência da ventilação natural de um edifício.

O IVN deve ser determinado separadamente para as aberturas de entrada e de saída. É calculado pela Equação 3, em que A_a é a abertura das aberturas sem a colocação dos aparelhos que permitam a entrada de luz e protegem contra chuva; A_p é a área do piso interna da edificação; R_{aa} é o redutor de área de abertura de passagem de ar; R_{da} é o redutor devido ao atrito e a presença de tela protetora; e, R_{md} é o redutor de mudança de direção.

$$IVN = \frac{A_a}{A_p} . R_{aa} . R_{da} . R_{md} . 100 \quad (3)$$

O IVN pode variar de 0,15 a 4,00 para prédios com baixa e média intensidade de geração de calor, sendo que a melhor condição é atingida quando os valores estão entre 3 e 4.

Seu conceito visa corroborar no desenvolvimento de edifícios com características que permitam que se criem as condições mínimas para que se estabeleça firmemente dentro do prédio o efeito de convecção, que é o propulsor da ventilação natural, utilizando como energia o próprio calor que penetra no edifício através das fachadas e telhados.

O Redutor de Área de Abertura (R_{aa}) determina a área efetivamente disponível para passagem do ar através do aparato utilizado para permitir entrada de luz e proteção contra chuva, instalado na abertura. É definido pela Equação 4, onde A_{efet} é a área efetivamente disponível para passagem de ar no aparato utilizado para permitir a entrada de luz e proteção contra chuva e A_{abert} é a área da abertura onde se instalou o aparato.

$$\mathrm{R_{aa}} = \frac{\mathrm{A_{efet}}}{\mathrm{A_{abert}}} = \frac{\mathrm{N} . \mathrm{L_m} . \mathrm{C_{passag}}}{\mathrm{V} . \mathrm{C_{abert}}} \quad (4)$$

Onde:
N: quantidade de passagens;
L_m: largura da passagem de ar;
V: vão de entrada de luz da abertura;
C_{passag}: comprimento da passagem;
C_{abert}: comprimento da abertura.

O Redutor Devido ao Atrito (R_{da}) representa o grau de dificuldade, devido ao atrito, que o ar enfrenta para atravessar o aparato utilizado para permitir entrada de luz e proteger contra chuva. Depende da distância entre as aletas do mesmo e da presença dos vários tipos de telas protetoras contra

entrada de animais. Os valores de R_{da} podem ser consultados no Quadro 4, no qual constam os aparatos mais usuais, levando-se em conta também a presença dos quatro tipos de telas mais utilizadas nos aparelhos para proteção contra entrada de animais.

Quadro 4 – Redutor devido ao atrito e a presença de tela protetora (R_{da})

Distância entre aletas ou larguras dos canais para passagem	R_{da} - Redutor devido ao atrito e a presença de tela protetora				
	Sem tela	Tela metálica passarinheira com fios de 0,71mm de diâmetro e malha de 12,7mm	Tela plástica com fios de 2,2mm de diâmetro e malha de 9,1mm x 10,3mm	Tela plástica mosquiteira com fios de 0,5mm de diâmetro e malha de 1,0mm	Tela plástica anti-afídeos com fios de 0,22mm de diâmetro e malha de 0,27mm x 0,78mm
De 3,0 a 4,9 cm	0,66	0,63	0,50	0,40	0,26
De 5,0 a 8,9 cm	0,70	0,67	0,53	0,42	0,28
De 9,0 a 15,9 cm	0,76	0,72	0,57	0,46	0,30
De 16,0 a 23,9 cm	0,84	0,80	0,63	0,50	0,34
Maior que 24,0 cm	1,00	0,95	0,75	0,60	0,40

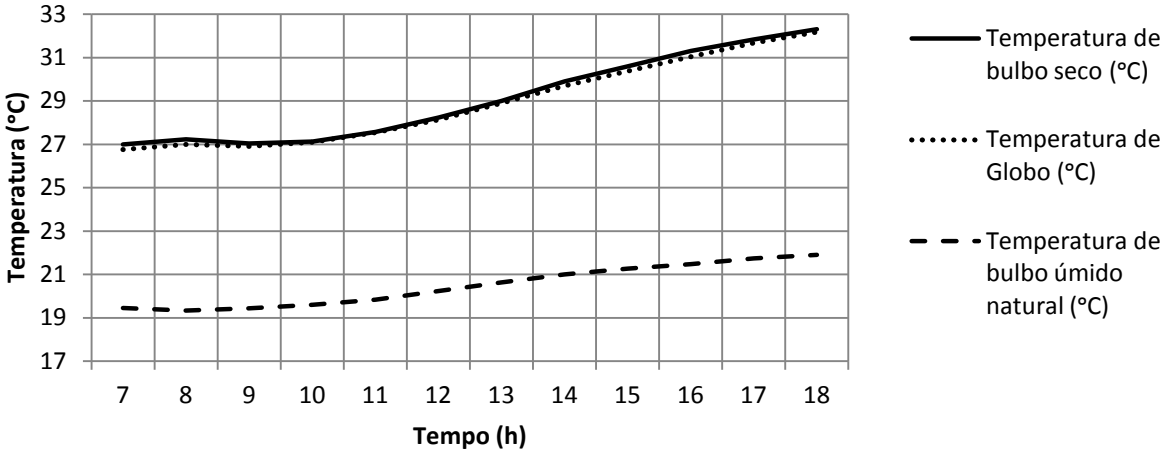
Fonte: Scigliano e Hollo (2001)

O Redutor de Mudança de Direção (R_{md}) representa a perda de eficiência decorrente da necessidade do ar quente ser obrigado a descer antes de sair do edifício, na passagem pelo aparato, contrariando sua tendência natural que é de sempre subir. Quando não há mudança de direção na saída de ar, seu valor é igual a 1,00.

4 RESULTADOS

Verificou-se que, as temperaturas de bulbo seco e de globo apresentaram valores muito próximos, justificado pela ausência de fontes de calor radiantes no ambiente. Ao longo do dia, a temperatura de bulbo seco apresentou comportamento crescente, com valores variando de 27 a 32ºC, evidenciando a capacidade da edificação de se aquecer e armazenar calor. Já a temperatura de bulbo úmido natural variou de 19 a 22ºC. Esses dados representam a estação quente e seca do período das medições (Figura 7).

Figura 7 – Médias horárias da temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e temperatura de bulbo úmido natural, em todo o período de medição

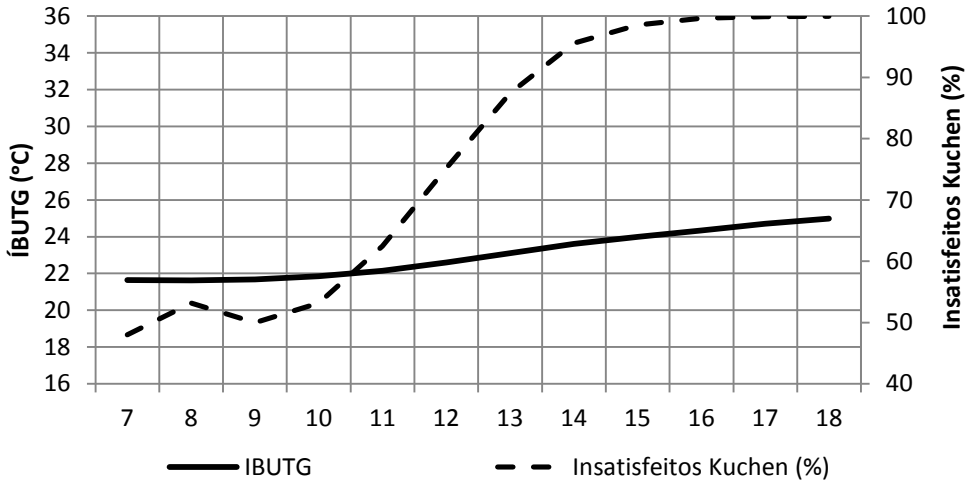


Fonte: Os autores

O IBUTG resultante variou de 21°C às 7h até 25°C, às 18h, o que significa dizer que as condições ambientais não excedem o limite para trabalho contínuo e atividade pesada, que é de 25°C (Quadro 2). Assim, os trabalhadores não ficaram expostos a estresse térmico.

No entanto, analisadas as condições de conforto, após o meio-dia, 80% dos usuários se encontram em sensação de desconforto com o ambiente térmico (Figura 8).

Figura 8 – IBUTG (°C) e Insatisfeitos$_{Kuchen}$ (%)



Fonte: Os autores

O Índice de Ventilação Natural (IVN) foi calculado separadamente para as entradas e saídas.

O IVN de entrada, decorrente das áreas das portas, considerando a passagem livre do ar pelos vãos foi de 16,27 (Quadro 5). Sabendo-se que os melhores níveis de conforto são atingidos quando o IVN está entre 3 e 4, pode-se inferir que as necessidades de fluxo de entrada de ar são atendidas.

Por outro lado, a edificação pode estar ganhando muito calor devido a essa grande área de abertura e a recomendação para melhor eficiência das aberturas de entrada é de que as mesmas sejam posicionadas o mais baixo possível, para aumentar a diferença de pressão entre estas e as saídas (MAZZON, 2005). No caso do galpão em estudo, a altura de 6,00m é requerida para entrada de veículos altos e não pode ser bloqueada. Uma das possíveis alterações que podem ser sugeridas para melhoria da eficiência das aberturas de entrada é a inclusão de bandeiras móveis nas portas que limitassem a abertura a 3,00m, com o que o IVN passaria para 8,13 (Quadro 5).

Quadro 5 – IVN das aberturas para entrada de ar - existente e proposta.

Aberturas para entrada de ar - existente				**Aberturas para entrada de ar - proposta**			
A_{abert}	Largura (m)	8,0	48,0	A_{abert}	Largura (m)	8,0	48,0
	Altura (m)	6,0			Altura (m)	6,0	
A_{efet}	Largura (m)	4,0	24,0	A_{efet}	Largura (m)	4,0	12,0
	Altura (m)	6,0			Altura (m)	3,0	
R_{aa}	0,50			Raa	0,25		
Quantidade de aberturas	2,00			Quantidade de aberturas	2,00		
A_{abert}	96,00			A_{abert}	96,00		
A_{piso}	295,00			A_{piso}	295,00		
R_{md}	1,00			R_{md}	1,00		
R_{da}	1,00			R_{da}	1,00		
IVN	16,27			IVN	8,13		

Fonte: Os autores

O IVN das aberturas para saída de ar foi calculado considerando-se o somatório dos exaustores e das janelas altas.

Os exaustores instalados possuem 0,40m de diâmetro (Figura 5), sem tela protetora, o que lhe atribui um Redutor devido ao atrito e a presença de tela protetora (R_{da}) de 0,66 (Quadro 3) e sem mudança de direção para a saída do ar quente (R_{md}=1,0).

O Redutor de Área de Abertura, R_{aa}, obtido conforme a Equação 4, é de 2,37. Para seu cálculo considerou-se que o exaustor possui 31 aletas que distam entre si, em média, de 3,0cm, com comprimento da passagem (C_{passag}) de 32cm (Figura 5). A partir disso, tem-se que a área efetiva disponível para passagem de ar (A_{efet}) por exaustor é de 0,30m^2. A Área da abertura antes da instalação do aparato (A_{abert}) é igual à área da base do exaustor de 40cm de diâmetro, ou seja, 0,13m^2.

O IVN resultante (Equação 3) para área de piso de 295m^2 e seis exaustores é de 0,4 (Quadro 6).

Quadro 6 – IVN das aberturas para saída de ar pelos exaustores – existente.

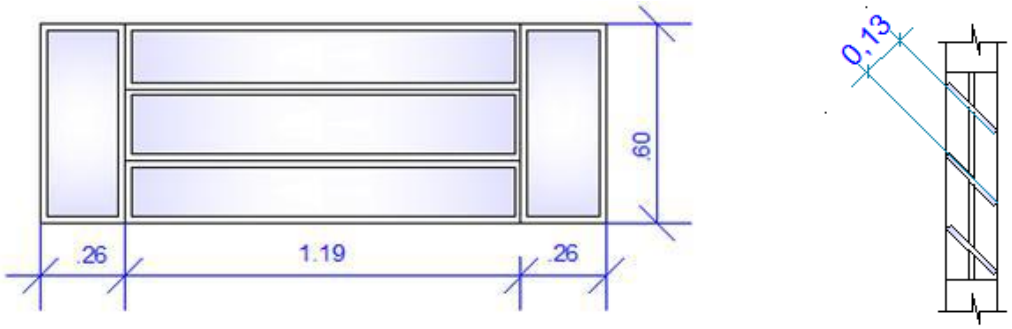
Aberturas para saída de ar pelos exaustores - existente			
A_{abert}	Raio da abertura para instalação do exaustor	0,20	0,13
A_{efet}	Largura média do vão entre	0,03	0,30

	as aletas (m)		
	Altura das aletas(m)	0,32	
	Quantidade de vãos	31,00	
R_{aa}	2,37		
Quantidade de exaustores	6,00		
A_{abert}	0,13		
A_{piso}	295,00		
R_{md}	1,00		
R_{da}	0,66		
IVN	0,4		

Fonte: Os autores

O IVN das janelas altas foi calculado considerando o basculante da parte central, tendo sido obtido o valor de 0,47 (Figura 9, Quadro 7).

Figura 9 – Detalhe da janela alta – existente.



Fonte: Os autores

Quadro 7 – IVN das aberturas para saída de ar pelas janelas existentes.

Aberturas para saída de ar pelas janelas - existente			
A_{abert}	Largura (m)	1,71	1,03
	Altura (m)	0,60	
A_{efet}	Largura (m)	0,26	0,31
	Altura (m)	1,19	
R_{aa}	0,30		
Quantidade de aberturas	6,00		
A_{abert}	6,16		
A_{piso}	295,00		
R_{md}	1,00		
R_{da}	0,76		
IVN	0,48		

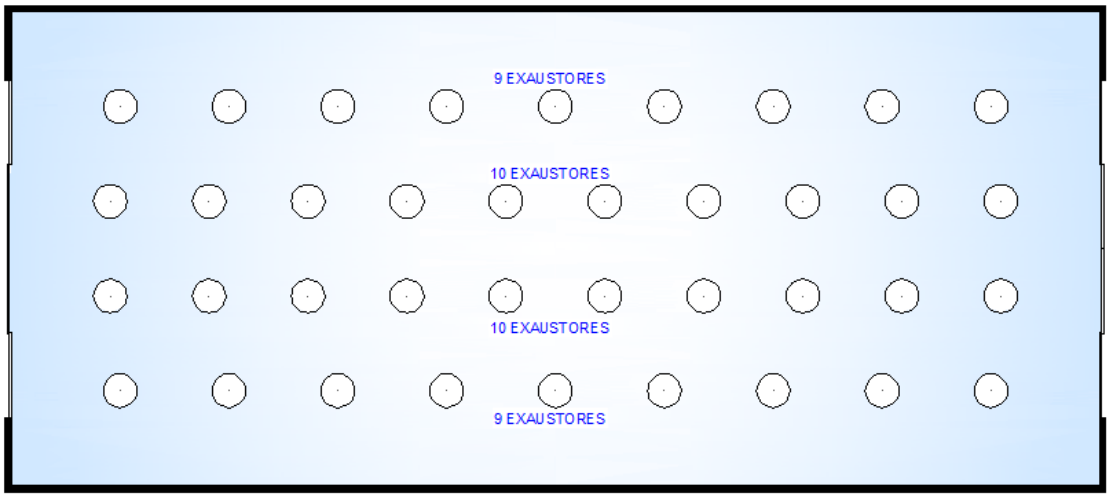
Fonte: Os autores

Assim, o IVN das aberturas de saída é 0,88, o que equivale a uma situação de efeito chaminé inexistente, uma vez que condições propícias para que se alcance conforto térmico somente são obtidas com IVN acima de 3.

A área de abertura de saída que promove um efeito chaminé com IVN igual a 3 é a equivalente a 38 exaustores, cuja disposição proposta se encontra apresentada na Figura 10. Para um IVN de 4, que corresponde à condições

ótimas, seriam necessários 54 exaustores, o que se torna inexequível à luz das dimensões da cobertura.

Figura 10 – Proposta de implementação de 38 exaustores para atendimento do IVN=3,00.



Fonte: Os autores

Destaca-se que segundo Scigliano e Hollo (2001), a adequação do IVN da edificação garante boas condições de conforto térmico.

5 CONCLUSÕES

A tipologia arquitetônica do objeto de estudo possui características semelhantes à maioria das edificações do tipo galpão comercial da cidade de Cuiabá/MT: cobertura de telhas metálicas simples e aberturas em duas fachadas.

Nesse tipo de edificação, o material da cobertura e os ganhos térmicos dela advindos são determinantes da condição térmica interior. A telha metálica possui elevada transmitância térmica, o que juntamente com a baixa renovação do ar interior proporcionam elevadas temperaturas operativas no interior.

Os resultados demonstram que, até às 10h, a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas com o ambiente térmico é de 50%. Após as 10h, essa porcentagem evolui, sendo que após as 15h, 100% dos ocupantes encontram-se insatisfeitos com o ambiente térmico. Pode–se afirmar que, em pelos menos seis das oito horas da jornada de trabalho, são laboradas em condições de desconforto.

O IBUTG é de 22ºC, às 7h e, 25ºC, às 18h, ou seja, em nenhum momento da jornada, o limite de exposição para trabalho contínuo de 25ºC é excedido.

Evidencia-se, assim, o quão distante encontram-se os limites da exposição ocupacional das condições de conforto térmico, apontando para uma possível inadequabilidade deste índice para avaliar o estresse ao calor (BUDD, 2008; CALLEJAS e DURANTE, 2011).

O IVN, embora seja um método empírico, se apresenta como uma ferramenta de fácil uso e aplicabilidade para dimensionamento das aberturas com vistas a promover o efeito de convecção térmica. No caso do galpão estudado, verifica-se que apenas os seis exaustores existentes não são suficientes para promover um efeito de convecção mínimo, o que se alcança com a implementação de 38 exaustores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Laboratório de Tecnologia e Conforto Ambiental (LATECA).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT**. NBR 16401-2**: Instalações e ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria 3.214 de Julho de 1978**. Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho - NR-15: Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 1978. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15/default.asp>. Acesso em: 13 dez. 2014.

BUDD, G. M. Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 1, p. 20-32, 2008.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. D. **Mapeamento do índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG). Estudo de caso em região de clima tropical continental.** Ssarbrucken: Novas edições Acadêmicas, 2014.

CAMPELO, JR. J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, Londrina, **Anais**. Londrina, v.1, n.7, 1991.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 1995.

IPDU. Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento Urbano. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá, V**. Cuiabá: Central de Texto, 2009.

MAZON, A. A. O. **Ventilação natural em galpões utilizando lanternins**. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente**. Cuiabá: Entrelinha, 2005.

KUCHEN, E.; FISCH, M. N.; GONZALO, G. E.; NOZICA, G. N. Predição do índice de conforto térmico em edifícios de escritório na Alemanha. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 39-53, jul./set. 2011.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional do Clima Urbano em Área Tropical Continental: O Exemplo de Cuiabá/MT**. 1994. Tese (Doutorado em Climatologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo-SP.

SCIGLIANO, S., HOLLO, V. **IVN - Índice de ventilação natural**. São Paulo: Editora Pini, 2001. 279 p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADAS VENTILADAS COMO PROPOSTA DE RETROFIT EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NA CIDADE DE SÃO PAULO[1]

MIZGIER, Martin Ordenes (1); PENSO, Emerson Antônio (2)

(1) UFSC, e-mail: martin@arq.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: emerson@labcon.ufsc.br

RESUMO

A renovação de edifícios em regiões urbanas centrais surge como uma alternativa para empresas e investidores, que necessitam alugar e operacionalizar espaços com reduzido tempo de obras. Para isso, o retrofit de fachadas, que não tem somente objetivo estético, pode contribuir com a eficiência térmica, energética, acústica e conforto ambiental. Este trabalho é parte integrante de uma pesquisa de mestrado e possui o objetivo de avaliar o uso do sistema de fachadas ventiladas para o retrofit das envoltórias de edifícios comerciais, na região central da cidade de São Paulo, e seu desempenho térmico por simulação computacional, com o software Energy Plus. O estudo comparou o sistema de fachada ventilada (revestimento cerâmico externo, cavidade de ar e alvenaria convencional), com os obtidos das simulações do sistema comum (revestimento cerâmico, argamassa e alvenaria), relacionando cores distintas com o desempenho térmico. Resultados analisados para a fachada oeste indicam maior eficiência da fachada ventilada para dias quentes quando do uso de revestimentos com maior absortância solar, ocasionando reduções acima de 20% na carga térmica frente aos resultados das simulações do sistema comum. Isso oferece maior liberdade para projetistas escolherem cores para envoltórias, reduzirem carga térmica e consumo de energia para sistemas de ar-condicionado.

Palavras-chave: Simulação Energy Plus. Fachada Ventilada. Desempenho Térmico. Retrofit.

ABSTRACT

Buildings renovation in central urban areas is an alternative for businesses and investors who need rent and operational spaces with reduced time work. For this, the retrofit of facades, not only as an aesthetic purpose, can be a contribution for thermal efficiency, energy, acoustic and environmental comfort. This work is part of a master's research and has the objective to evaluate the use of ventilated façades system for the retrofit of commercial buildings envelopes in the central region of São Paulo (Brazil), using computer simulation with Energy Plus software (module External Natural Vented Cavity). The study compared the ventilated façade system (external ceramic coating, air cavity and conventional masonry), with a traditional wall system (ceramic tile, mortar and masonry), relating different colors with the thermal performance. Results for west façade indicate greater efficiency of the ventilated façade to hot days due to use of higher solar absorptance coatings, reducing the thermal load in over 20% when compared to the results for simulations using a traditional system. This indicates greater freedom for designers choosing colors for envelopes, reducing heat load and power consumption for air-conditioning systems.

---

[1] MIZGIER, Martin; PENSO, Emerson. Desempenho térmico de fachadas ventiladas como proposta de retrofit em edifícios comerciais na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Building simulation with Energy Plus. Ventilated Façade. Energy Efficiency. Retrofit.*

1 INTRODUÇÃO

A renovação e requalificação de edifícios em regiões centrais tem se mostrado um nicho de mercado importante para empresas, construtoras e agentes imobiliários. De acordo com Moura (2008), o crescimento do mercado do *retrofit* se deve à necessidade de empresas e investidores do setor imobiliário que encontraram nesse processo a possibilidade de alugar e operacionalizar empresas em áreas consolidadas com retorno do investimento após um curto período de obra.

Durante a última década, governos e agências internacionais tem dedicado significativo esforço para aumentar o desempenho energético de edificações existentes. Os governos dos Estados Unidos, Austrália e Reino Unido, por exemplo, criaram programas que incentivam ações de renovação e retrofit de edificações, além de orientações para soluções pré-fabricadas que sejam consoantes com a eficiência energética (MA et all, 2012).

As edificações brasileiras, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2014), são responsáveis por 48,53% do consumo de energia elétrica no país; percentual semelhante ao observado no consumo das edificações nos Estados Unidos e na Europa (BPIE, 2011).

A falta de chuvas e baixa o nível dos reservatórios das hidroelétricas, principal matriz energética do país, levaram à crise energética e ao risco de racionamento ocorridos nos anos de 2014 e 2015. Estes resultaram, inclusive, no acionamento de termoelétricas, energia com alto custo financeiro e ambiental.

Entre as maneiras de se reduzir o consumo de energia proveniente da necessidade de climatização, busca-se estudar e propor tecnologias para o melhor desempenho térmico das edificações. Neste contexto, as envoltórias possuem papel fundamental, atuando como reguladora das condições internas e externas ao controlar a admissão de calor, trocas de ar, luz, ruídos, ventos e intempéries.

Campos (2011) comenta que as fachadas ventiladas são amplamente utilizadas nos países europeus. Esses sistemas destacam-se pelas qualidades de eficiência energética, beleza, resistência, potencial criativo e conforto, os quais são argumentos que promovem as especificações entre os profissionais da indústria da construção civil.

A figura 1 apresenta o edifício sede da Telefônica, na cidade de São Paulo, primeira grande obra no Brasil a adotar, em 2001, o sistema de fachada ventilada para retrofit, sendo que o sistema foi escolhido dada a rapidez da obra e os benefícios térmicos do uso do sistema.

Figura 1 – Edifício da Telefônica em São Paulo



Fonte: Repositório digital do portal Metálica

Permitindo o fluxo de ar por meio da cavidade entre a alvenaria e o revestimento, este sistema deve ser avaliado conforme o clima onde será aplicado, uma vez que seu desempenho energético envolve trocas térmicas complexas, além da influencia da cor, absortância solar das superfícies e dos aspectos referentes à geometria da edificação.

Existem sistemas de fachada ventilada com o revestimento externo selado (e com afluxo de ar na câmara interna somente pela parte inferior), e outro com juntas abertas, o que aumenta o fluxo de ventilação na cavidade. No estudo do SANJUAN et al. (2011) o sistema com juntas abertas é considerado como a solução mais usada em edifícios que estão em processo de retrofit e novas edificações, por diminuírem questões relacionadas com umidade da cavidade e relação com o ambiente externo.

Os sistemas de fachada ventilada podem ser encontrados no mercado com várias configurações distintas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Característica dos sistemas de fachada ventilada.

Elementos	Opções
Revestimento Externo	Placas de pedra natural; Placas cerâmicas; Placas de grés porcelânico; Placas de alumínio composto; Placas de compostos fenólicos; Cortina de Vidro
Sistema de Fixação	Sistema Visível; Sistema Oculto;
Tipos de Juntas	Juntas Abertas; Juntas Fechadas (Seladas ou Sobrepostas)
Operabilidade da Câmara de Ar	Ventilação Constante; Ventilação Entre Pavimentos; Aberturas Operacionalizáveis

Fonte: Os Autores

O espaço da câmara de ar, entre a base e o revestimento externo, pode variar entre 5 cm e 15 cm, com grades inferiores para impedir a entrada de incestos e saídas de ar superiores. O sistema de drenagem é recomendado, uma vez que pode ocorrer a entrada de água das chuvas, pelas juntas abertas, ou pela condensação da humidade do ar.

Este estudo é parte de uma pesquisa de mestrado que busca avaliar o comportamento das envoltórias com sistema de fachada ventilada e sua contribuição para o retrofit de edificações comerciais em centros urbanos.

2 OBJETIVO

Avaliar os benefícios e potenciais do uso da fachada ventilada, para retrofit de edifícios comerciais, em comparação ao desempenho alcançado com técnicas convencionais de revestimento das vedações externas para o clima da cidade de São Paulo.

3 METODOLOGIA

São Paulo, de acordo com a NBR 15220 (ABNT 2005), está localizada na zona bioclimática ZB3, encontra-se em uma altitude de 802 m, latitude 23,62ºS, longitude 46,65ºO, com temperaturas amenas que variam entre 18ºC e 26ºC e amplitude térmica anual entre 7ºC e 9ºC.

Para a comparação e avaliação do desempenho energético do uso do sistema de fachada ventilada para este clima, foi adotado um método que compara a carga térmica de dois modelos de mesmas dimensões e localização, porém modificando a configuração do revestimento das envoltórias.

Segundo Westphal (2007), a determinação do desempenho termo energético de um modelo deve partir da identificação das trocas de calor da edificação. Estas trocas de calor são oito: trocas de calor pelas paredes, cobertura, piso, trocas e ganho de calor por radiação solar nas janelas, infiltração de ar externo ou perda de ar interno, geração de calor pelo sistema de iluminação artificial, geração de calor pelos demais equipamentos elétricos e geração de calor sensível e calor latente das pessoas.

3.1 Definição do modelo-base e dados de entrada

O modelo base foi desenvolvido a partir do estudo de Santana (2006) que apresenta um levantamento de campo com os parâmetros construtivos que influenciam no consumo de energia em edifícios de escritórios em Florianópolis, SC. Neste estudo, a autora identificou a tipologia predominante definida por um modelo com 8m de largura por 25m de comprimento.

Além dessas características o modelo se configura com 10 pavimentos tipo, uma zona térmica por pavimento, e cargas internas e padrões de ocupação, Iluminação e ar condicionado conforme o Quadro1.

Por este artigo ser parte de uma pesquisa que iniciou com os estudos do sistema para a cidade de Florianópolis, o mesmo modelo base foi utilizado para estudar o comportamento do edifício para as condições climáticas de São Paulo.

Na figura 2, são apresentados o sistema de fachada comum e o sistema ventilado com juntas abertas. Com o objetivo de analisar a diferença de desempenho termo energético da edificação ao adotar a solução ventilada de revestimento, considerou-se no modelo ventilado a alvenaria revestida por cerâmica, uma vez que o modelo base é revestido.

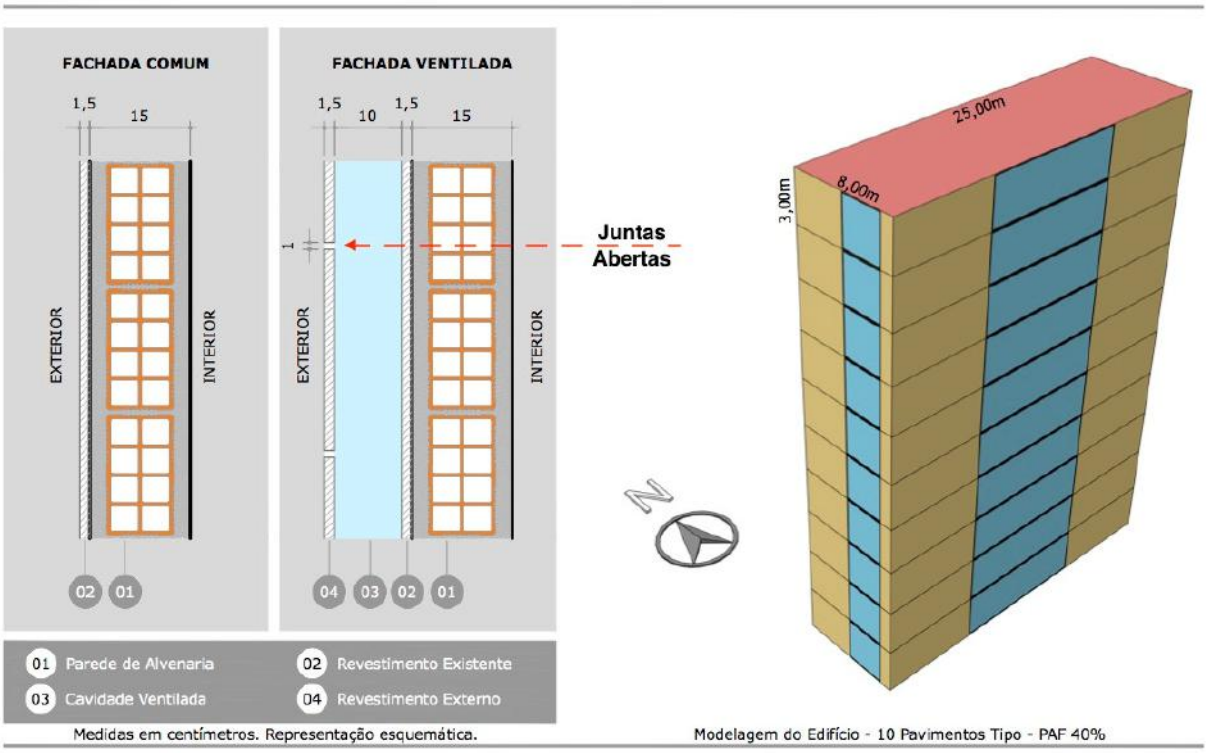
Quadro 2 - Parâmetros para a simulação

Parâmetro		**Valor**		
Localização		São Paulo –SP Brasil, Centro Urbano		
Arquivo Climático		SaoPauloTRY1954_05CSV.epw		
Parede de Alvenaria		e=15cm ; λ=0.89; C= 1920kg/m^3; $\rho = 50\%$		
Aberturas		FS = 0,42; PAF 40%		
Revestimentos		Cerâmica Branca: α 0,20	Cerâmica Marrom: α 0,55	Cerâmica Preta: α 0,90
Cargas Internas		Iluminação	Pessoas	Equipamentos
		12 W/m^2	18 W/m^2	27 W/m^2
Geometria	10 pavimentos	Altura: 3m	Largura: 8m	Profundidade: 25m
Orientações		Leste, Oeste, Norte e Sul		
Cobertura		Superfície Adiabática		
Funcionamento		Anual, Dias da Semana, 8;00 – 12:00 e 14:00 – 18:00		
Ar Condicionado		Ideal Loads; Setpoint: 24°C refrigeração e 20°C aquecimento; Renovação de ar: 0,3 trocas/hora		

Fonte: Os Autores

Segundo SANJUAN et al (2011)o sistema de fachada ventilada com juntas abertas tem sido apontado como sistema construtivo que pode ajudar no alcance dos objetivos dos padrões de eficiência energética, especialmente em países que o pico de demanda de energia ocorre durante o verão.

Figura 2 - Detalhe dos sistemas de fachada e modelo de simulação.



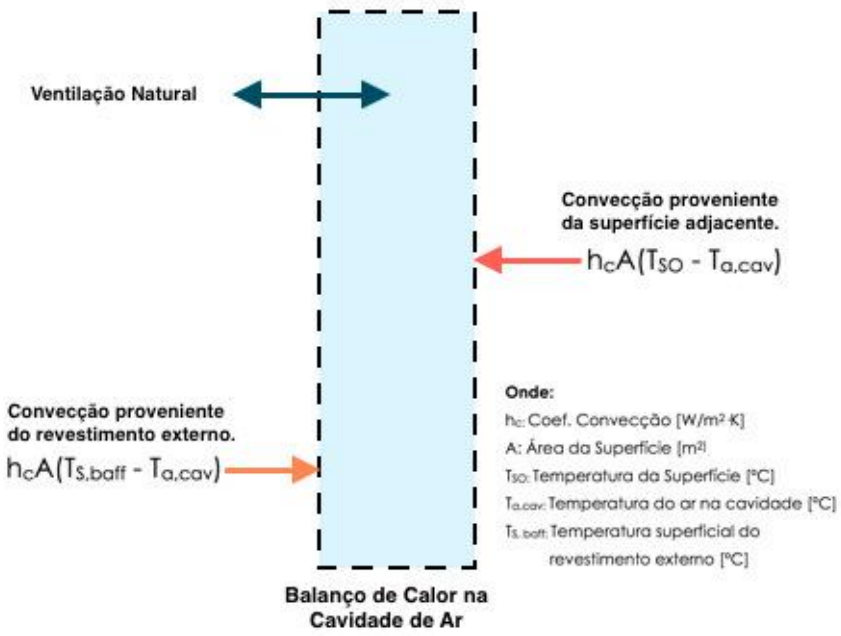
Fonte: Os Autores

As simulações foram desenvolvidas com o software EnergyPlus, que permitiu, com o uso do mesmo modelo base, configurar a exposição das envoltórias ao meio externo tanto no sistema comum quanto no sistema ventilado. Desta forma, as envoltórias foram consideradas para todas as orientações com um único sistema: ou comum ou ventilado. Na figura 3, segue a forma como o programa entende as trocas térmicas e a ventilação na cavidade de ar do sistema ventilado.

Para o caso da fachada comum, foi utilizado o componente "*Constructions*" que define como serão as camadas que compõe as superfícies e, em conjunto com o "*Building Surface: Detailed*", permite configurar qual tipo de construção dessas superfícies e como elas estão expostas ao meio externo (nesse caso expostas ao sol e vento).

Já o sistema ventilado utilizou o componente "*Surface Property: Exterior Natural Vented Cavity*" em conjunto com "*Surface Property: Other Side Conditions Model*", que juntos permitem calcular as trocas de calor que ocorrem na cavidade ventilada, admissão de ventilação natural e por efeito chaminé entre o revestimento externo, chamado de "*baffle*", e a parede de alvenaria revestida. Esse parâmetro é configurado no "*Building Surface: Detailed*" e, ao invés das superfícies das paredes externas estarem configuradas para "*Outdoors*", elas são configuradas como "*Other Side Conditions Model*".

Figura 3 – Esquema do balanço térmico e ventilação na cavidade de ar.



$$\dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_{c,baff} = 0$$

$\dot{Q}_{vent}$ **: taxa de enedegia adicionada pela ventilação natural.**

$\dot{Q}_{co}$ **: taxa de energia adicionada pela ventilação por convecção.**

$\dot{Q}_{c,baff}$ **: taxa de energia adicionada pela convecção de calor do revestimento externo.**

$$T_{a,cav} = \frac{\left(h_{c,cav} A\, T_{so} + \dot{m}_{vent} c_p T_{amb} + h_{c,cav} A\, T_{s,baff}\right)}{\left(h_{c,cav} A + \dot{m}_{vent} c_p + h_{c,cav} A\right)}$$

$\dot{m}_{vent}$ **: volume de ventilação por forçar naturais [kg/s]**

$$\dot{m}_{vent} = \rho\, \dot{V}_{tot}$$

ρ **é a densidade do ar [kg/m3], e:**

$\dot{V}_{tot} = \dot{V}_{wind} + \dot{V}_{thermal}$ **é a taxa do volume de ventilação total do ar que ventila para dentro e fora da cavidade.**

$$\dot{V}_{wind} = C_v A_{in} U_{\infty}$$

$$\dot{V}_{thermal} = \begin{cases} C_D A_{in} \sqrt{2g\Delta H_{NPL} \left(T_{a,cav} - T_{amb}\right) / T_{a,cov}} & \left(T_{a,cav} > T_{amb}\right) \\ C_D A_{in} \sqrt{2g\Delta H_{NPL} \left(T_{amb} - T_{a,cav}\right) / T_{amb}} & \left(T_{a,cav} < T_{amb} \quad \text{revestimento na vertical}\right) \end{cases}$$

Fonte: Adaptado do manual EnergyPlus Engineering Reference

Considerando a equação de ventilação na figura 3, o componente "*Surface Property: Exterior Natural Vented Cavity*" permite algumas configurações que necessitam de atenção, como: C_V que se refere ao parâmetro da eficiência das aberturas *(Efectiveness of the Openings)*, C_D ao coeficiente de vazão (*Discharge Coefficient*) e e ΔH_{NPL} ao ponto neutro de pressão (*Height for Buoancy Driven Ventilation*). Este parâmetro é configurado em metros e define a altura do ponto neutro de pressão na envoltória. Uma vez que o

revestimento externo tem aberturas ao logo de toda a superfície (por se tratar de uma fachada ventilada com juntas abertas), a relação de diferença do ponto de pressão neutro entre o interior da cavidade e o ambiente externo é praticamente nula. Por isso foi definido esse parâmetro como 0,01m, valor este que ser refere ao ΔH_{NPL} na equação de ventilação da figura 3.

3.2 Parâmetros de saída

Para a avaliação do comportamento dos sistemas de envoltórias em estudo, foram configurados os seguintes parâmetros de saída para cada sistema, conforme o quadro que segue.

Quadro 3 – Parâmetros de saída de dados da simulação

Sistema de Fachada	Dados
Comum	Temperatura Externa de Bulbo Seco ºC (hora) Temperatura da Superfície do Revestimento ºC (hora) Taxa Média de Condução de Calor em W (hora) Carga Térmica Anual de Resfriamento kWh (ano)
Ventilada	Temperatura Externa de Bulbo Seco ºC (hora) Temperatura da Superfície do Revestimento ºC (hora) Volume de Ventilação Total na Cavidade em kg/s (hora) Volume de Ventilação pela Ação dos Ventos em kg/s (hora) Volume de Ventilação pela Ação do Efeito Chaminé em kg/s (hora) Temperatura da Superfície do Revestimento ºC (hora) Carga Térmica Anual de Resfriamento kWh (ano)

Fonte: Os Autores

Desses dados, para a elaboração de gráficos comparativos entre os dois sistemas de fachada, foram selecionados os referentes ao dia 27 de janeiro. Esta data encontra-se na semana de dias mais quente do ano. A fachada oeste foi utilizada para a comparação das informações, por ser a orientação mais crítica no ganho de carga térmica durante o verão.

Para a fachada comum, a avaliação do comportamento das envoltórias foi analisada com a comparação das temperaturas (superficiais do revestimento e ambiente) com o comportamento de ganhos e perdas de calor. Com essas comparações é possível observar quais os períodos de ganho e perda de calor na edificação e o comportamento das temperaturas externa e superficial da fachada.

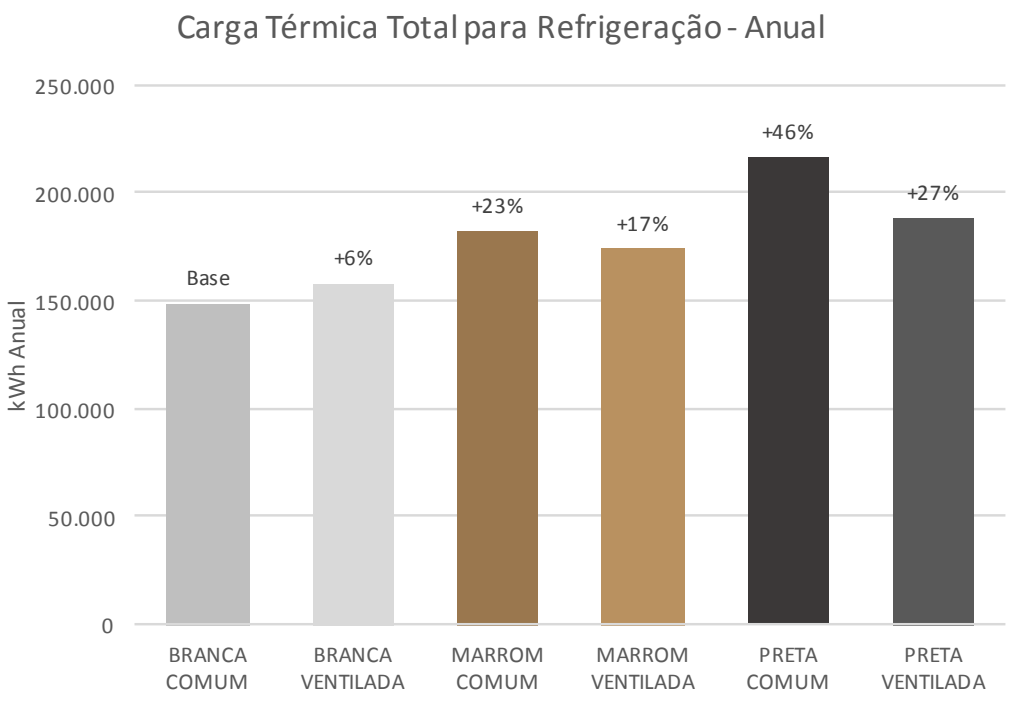
Para o sistema ventilado, foi avaliada a forma que ocorre a ventilação na cavidade e qual a participação da ação dos ventos locais e do efeito chaminé (dado pelo fenômeno da convecção térmica) na renovação do ar dentro da mesma, uma vez que uma maior compreensão do fenômeno de ventilação na cavidade de ar sugere conclusões mais amplas.

4 RESULTADOS

O estudo desenvolvido através de simulações computacionais oferece, além de parâmetros quantitativos, a possibilidade de observar o comportamento do sistema de fachada ventilada em comparação à solução convencional de fachadas. Nessas avaliações, pode-se observar que o desempenho dos sistemas de vedação de envoltórias é suscetível aos fenômenos climáticos e físicos, levando os resultados à serem considerados como um apoio para a decisão sobre qual sistema usar, ou quais estudos mais aprofundados devem ser conduzidos em um caso específico.

Analisando a carga térmica anual (Gráfico 1), valor numérico que se pode comparar com grande acuracidade entre os sistemas, o revestimento comum de baixa absortância solar (α) (cor branca), é a solução que resulta em uma demanda menor de carga térmica para o sistema de ar condicionado durante o verão. Esse resultado segue como base comparativa face às outras soluções de fachada estudadas nos sistemas convencional e ventilada. Estes diferem no valor da absortância térmica com: α baixa: 0,20, média: 0,55 e alta: 0,90, e as cores utilizadas para caracterizar os títulos dos gráficos sendo branca, marrom e preta consecutivamente.

Gráfico 1- Carga Térmica Total para Refrigeração Anual



Fonte: Os Autores

O aumento da carga térmica foi proporcional ao aumento da absortância térmica em ambos sistemas de fachada. Porém, comparando o sistema convencional com o ventilado, para a mesma absortância térmica, observa-

se que a carga térmica é menor com o uso do sistema ventilado, na ordem de 6% para o sistema com α média e 19% para o sistema com α alta. Isso não ocorre no sistema com α baixa, sendo que o sistema ventilado apresenta um aumento de 6% na carga quando comparado com o sistema convencional. Este resultado tem influência dos fenômenos físicos da ventilação natural na superfície externa da fachada branca convencional. O uso do sistema ventilado com α baixa cria uma condição que diminui a perda de calor, mesmo tendo um ganho menor.

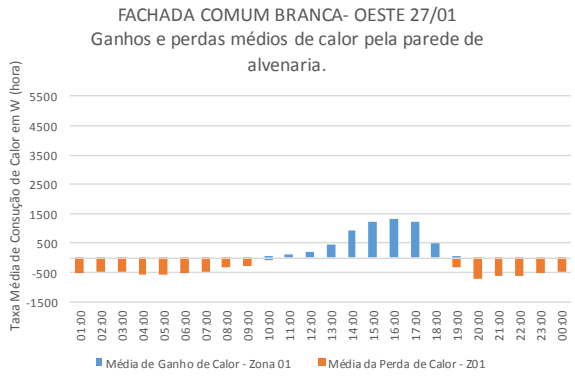
Adotou-se a terminologia fachada comum branca (FCB), fachada ventilada branca (FVB), fachada comum marrom (FCM), fachada ventilada marrom (FVM), fachada comum preta (FCP) e fachada ventilada preta (FVP) para os gráficos que seguem

Os gráficos da esquerda são referentes às fachadas comuns, demonstram os ganhos e perdas de calor médios por hora, as temperaturas ambiente e da superfície do revestimento. Na coluna direita apresentam-se os gráficos do sistema ventilado, com o gráfico de ganhos e perdas de calor e na sequência um gráfico híbrido que relaciona o volume de ventilação na cavidade de ar com as temperaturas ambiente e do revestimento externo. Esse gráfico apresenta de forma clara o comportamento da ventilação na cavidade, e o incremento da ventilação proveniente do efeito chaminé com o aumento da temperatura do revestimento externo.

Comparando os gráficos 2 e 3, podemos observar o comportamento dos sistemas com α baixa, que tem um melhor desempenho para o balanço térmico no sistema comum. Comportamento diferente das demais fachadas com média e alta absortância térmicas, que encontram no sistema ventilado uma diferença expressiva na admissão de carga térmica para a mesma cor.

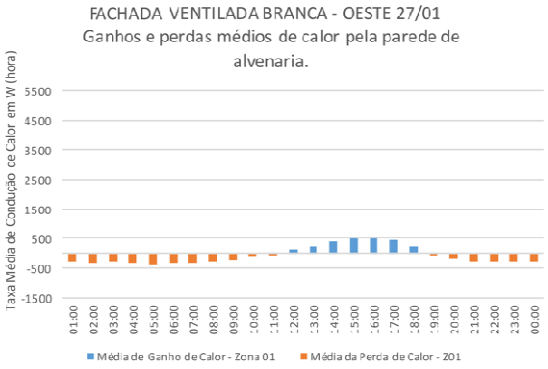
No período da tarde, o sistema comum admite mais carga térmica que o sistema ventilado. Porém, as perdas são maiores no primeiro sistema durante a noite. No balanço final, a diferença de 6% a mais de carga térmica para o sistema ventilado, conforme o gráfico 1, sugere que esse não se deve ao período mais quente, ou de maior exposição da superfície externa, mas às perdas noturnas.

Gráfico 2 – Condução de Calor – FCB



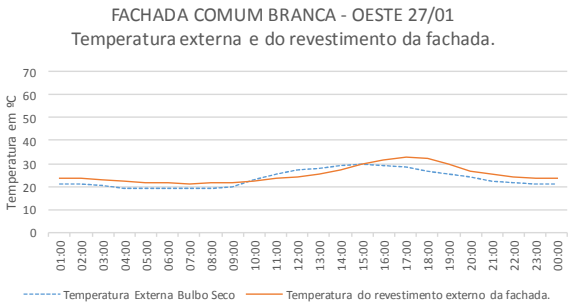
Fonte: Os Autores

Gráfico 3 – Condução de Calor - FVB



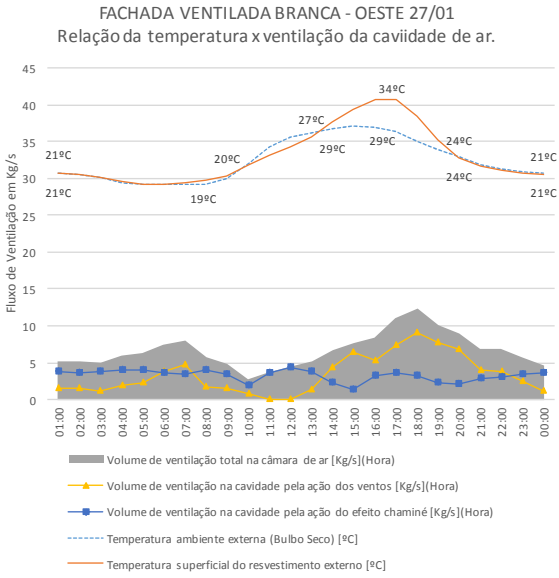
Fonte: Os Autores

Gráfico 4 – Temperatura do ar e superfície externa - FCB



Fonte: Os Autores

Gráfico 3 – Ventilação na cavidade e temperaturas - FVB

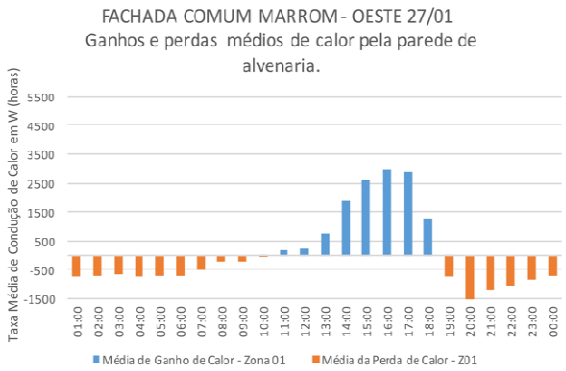


Fonte: Os Autores

A diferença na temperatura superficial do revestimento externo no gráfico 5 corrobora com o comportamento da ventilação por efeito chaminé ser menor, com α baixo, que as presentes nos demais casos.

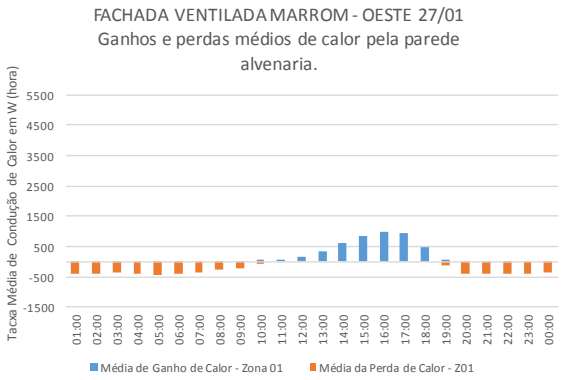
Nos gráficos 6 e 7, com os resultados dos sistemas com α média, torna-se mais evidente o comportamento da cavidade ventilada, tanto pelo isolamento que ela cria com o meio externo quanto pelo efeito da ventilação e perdas ou reduções nos ganhos de carga térmica.

Gráfico 4 - Condução de Calor – FCM



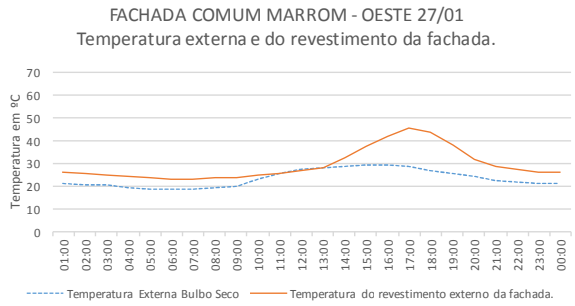
Fonte: Os Autores

Gráfico 7 - Condução de Calor – FVM



Fonte: Os Autores

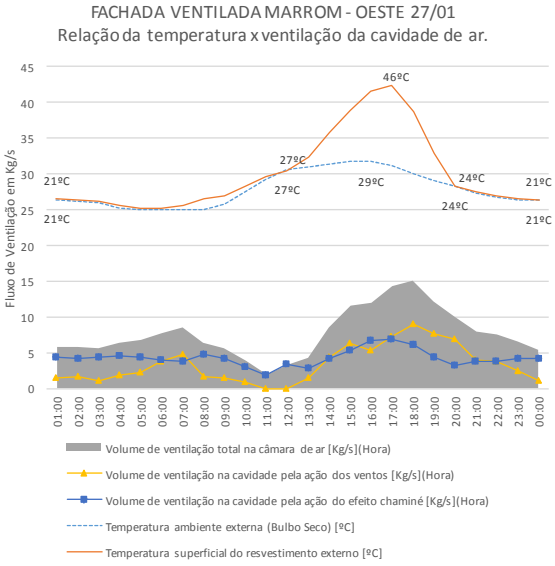
Gráfico 8 - Temperatura do ar e superfície externa - FCM



Fonte: Os Autores

Comparando os gráficos 6 e 7, percebe-se que a perda de calor durante os períodos noturnos, no primeiro caso, é maior. Essa condição se deve ao fato do revestimento no sistema comum estar exposto às intempéries de forma extrema. Entretanto, ao comparar os gráficos 2 e 7, percebe-se que no período da tarde a FVM tem comportamento mais eficiente que a FCB.

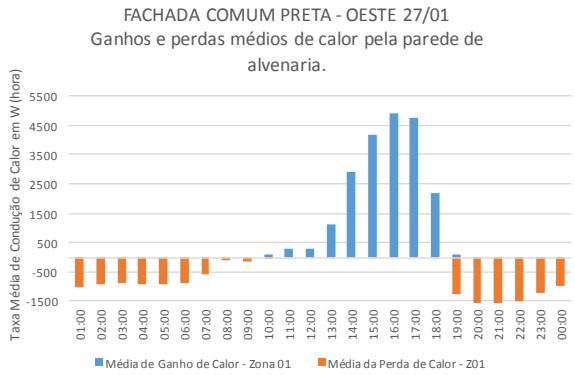
Gráfico 5 - Ventilação na cavidade e temperaturas - FVM



Fonte: Os Autores

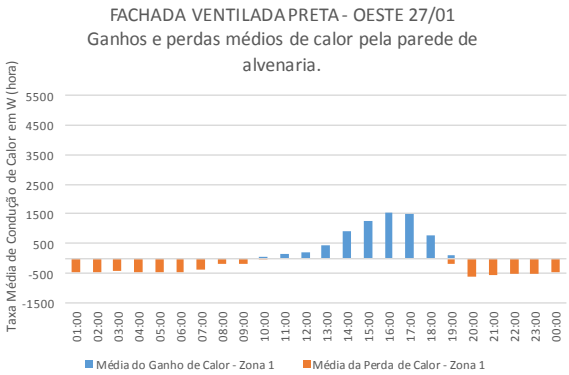
O revestimento externo com α alta tem os resultados mais extremos, no que se refere ao efeito-chaminé na cavidade (ver Gráfico 13).

Gráfico 6 - Condução de Calor – FCP



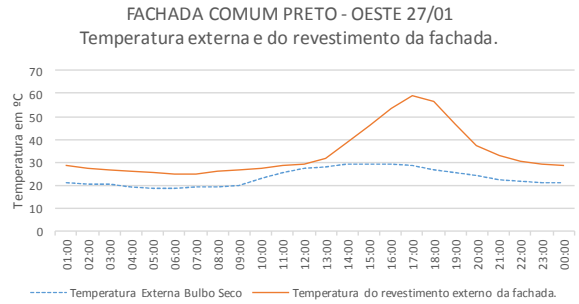
Fonte: Os Autores

Gráfico 11 - Condução de Calor – FVP



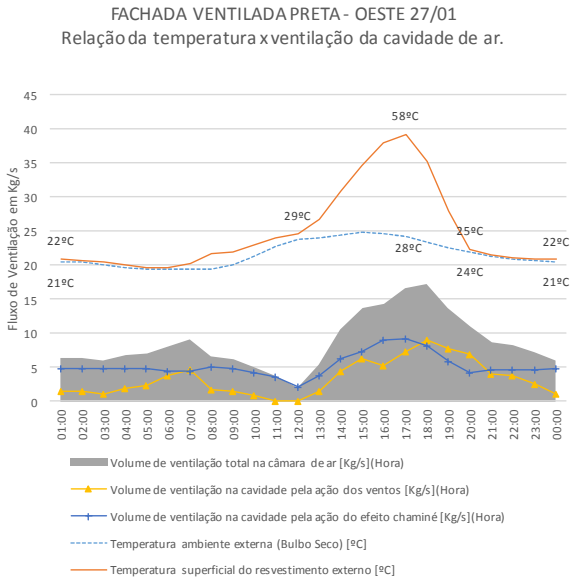
Fonte: Os Autores

Gráfico 12 - Temperatura do ar e superfície externa - FCP



Fonte: Os Autores

Gráfico 7 - Ventilação na cavidade e temperaturas - FVP



Fonte: Os Autores

A ventilação por efeito chaminé tem seu ponto máximo de eficiência quando adotado o α de maior valor. Este comportamento respalda a relação entre a ventilação por convecção e uma maior perda de carga térmica.

Comparando os gráficos 3 e 11, o aumento no ganho de calor no período da tarde chega a ser na ordem de 400%. A diferença se torna menor no período noturno ou sem insolação incidente, porém tendo uma maior perda com o sistema com maior absortância, uma vez que a ventilação por convecção se dá por diferenças de temperatura e os revestimentos com maior absortância acabam por permitir uma retenção maior de calor nas envoltórias durante o final da tarde. Esse atraso térmico auxilia nas perdas noturnas de carga térmica relacionadas à ventilação por efeito chaminé.

Observa-se que a ventilação na câmara de ar, proveniente do regime de ventos locais, sempre tem a mesma participação, independente da

absortância solar, uma vez que a diferença de temperatura superficial não promove mudanças para a dinâmica dos mesmos. Porém, a diferença na participação da ventilação por convecção interna é significativa com o aumento de absortância solar.

Os dados das outras orientações da fachada sugerem comportamentos similares, indicando um comportamento previsível do sistema de fachada ventilada para as demais partes da envoltória.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu uma visão objetiva sobre o comportamento de ganhos e perdas de calor para os sistemas de fachada comum e ventilado, considerando diferentes absortâncias solares dos materiais que revestem as superfícies das envoltórias.

A adoção de uma metodologia que compara sistemas observando a taxa média de condução de calor frente às temperaturas do ambiente externo e do revestimento, permite observações de como os sistemas se comportam termicamente quando observados os impactos com os ganhos de carga térmica anual.

A utilização do sistema ventilado demonstrou-se mais coerente quando do uso de revestimentos de maior absortância solar, observando o balanço térmico final de ganho e perda de calor, porém as perdas de calor no período noturno se baseiam mais pelo atraso térmico das vedações.

O estudo considerou que todas as orientações da envoltória adotaram o mesmo sistema de revestimento. A diferença de carga térmica nesse cenário é bem expressiva quando comparados os resultados obtidos para a fachada comum branca com os da fachada ventilada preta. Nesse contexto, teremos uma diferença de 27% na carga térmica final a mais no uso de um material com maior absortância solar. Porém, se comparado o uso do mesmo material com o sistema comum de fachada, esse incremento na carga térmica chega a 46%. Essa comparação sugere a reflexão que deve ser feita no momento de especificar materiais e tecnologias de revestimento. O sistema de fachada ventilada permite uma maior liberdade para a escolha de cores com maior valor de absortância solar. Como exemplo, o edifício da figura 1 poderia ter explorado a possibilidade da utilização de outras cores na fachada, uma vez que o uso de um revestimento claro acaba não destacando o potencial do sistema ventilado.

Sendo o revestimento da fachada ventilada com juntas abertas, observa-se que a participação da ventilação natural é facilitada com esse sistema para a ventilação da câmara de ar.

Como sugestão para futuros estudos, a utilização mista dos sistemas comum e ventilado pode oferecer melhor desempenho. Para isso, pesquisas mais orientadas para esse fim devem verificar os benefícios de ambos os sistemas quando da utilização conjunta.

AGRADECIMENTOS

Deixo expresso meus sinceros agradecimentos à CAPES pelo apoio financeiro e concessão de bolsa à Emerson Antônio Penso.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**, 2005.

BPIE. **Europe's buildings under the microscope:** A country-by-country review of the energy performance of buildings. Buildings Performance Institute Europe Brussels, p.131. 2011.

ENERGY PLUS ENGINEERING REFERENCE. Disponível em: << https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/EngineeringReference.pdf>>. Acesso em: 10/2/2016.

MA, Z. et al. **Existing building retrofits :** Methodology and state-of-the-art. Energy & Buildings, v. 55, p. 889–902, 2012.

MOURA, E. **Retrofit em alta.** Revista Construção Mercado. Editora PINI, edição 81, abril/2008.

PORTAL METÁLICA. Disponível em: <<< http://wwwo.metalica.com.br/edificio-sede-da-telefonica-em-sp-revitalizacao-da-fachada>>>. Acesso em: 10/02/2016.

SANJUAN, C. et al. **Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade.** Solar Energy, v. 85, n. 9, p. 1851–1863, set. 2011.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis–SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, p. 181, 2006.

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 2007.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

VIABILIDADE DO USO DE VIDROS INSULADOS PARA O CLIMA BRASILEIRO[1]

PINTO, Mônica Martins (1); WESTPHAL, Fernando Simon (2)

(1) UFSC, e-mail: monicamartinspinto@outlook.com; (2) UFSC, e-mail: fswfernando@gmail.com

RESUMO

Vidros insulados são amplamente utilizados na Europa e América do Norte almejando promover conforto térmico e eficiência energética durante os invernos rigorosos. Diferentemente destes locais, os climas brasileiros não possuem temperaturas extremas. Neste contexto, este trabalho objetiva analisar a viabilidade do vidro insulado para cidades brasileiras, auxiliando profissionais da construção civil no emprego adequado deste tipo de vidro e evitando uma internacionalização na construção civil que desconsidere o clima local. Para tal, foi verificado o consumo energético de um pavimento típico de escritórios, de planta aberta e com alta densidade de ocupação, comparando a utilização de vidros insulados e laminados com fator solar similar (cerca de 30%). Avaliaram-se duas cidades de clima temperado, Florianópolis e Porto Alegre, utilizando-se o software de simulação EnergyPlus. Os resultados obtidos mostraram que, nas duas cidades, modelos com vidro insulado obtiveram maior consumo energético. Considerando a amostra observada, compreende-se que em clima temperado, com baixas diferenças de temperatura entre o ar interno e externo durante a maior parte do ano, o vidro insulado evita a dissipação de calor, aumentando o consumo para resfriamento, sendo desvantajoso economicamente, comparado a um vidro laminado de mesmo fator solar.

Palavras-chave: Vidro insulado. Eficiência energética. Edificações.

ABSTRACT

Insulated glass are widely used in Europe and North America aiming to promote thermal comfort and energy efficiency during severe winters. In contrast to these locations, Brazilian climates do not have extreme temperatures. In this context, this paper aims to analyze the viability of insulated glass for Brazilian cities, helping construction professionals in the appropriate use of this type of glass and avoiding the internationalization of construction that disregard the local climate. The energy consumption of a typical office floor, with high occupancy density, was analysed with the use of insulated and laminated glass with similar solar heat gain coefficient (around 30%). Computer simulation was evaluated for two cities in mild climates, Florianopolis and Porto Alegre, using the software EnergyPlus. The results showed that in these cities, models with insulated glass had higher energy consumption. Considering the observed sample, it is understood that at mild temperatures, with low temperature differences between indoor and outdoor air along the year, insulated glass avoids heat dissipation, increasing the energy consumption for cooling, being economically disadvantageous, compared to laminated glass with same solar factor.

[1] PINTO, Mônica Martins; WESTPHAL, Fernando Simon. Viabilidade do Uso de Vidros Insulados para o Clima Brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Insulating glass. Energy efficiency. Buildings.*

1 INTRODUÇÃO

O tema eficiência energética vem ganhando grande destaque no Brasil, principalmente após a crise energética de 2001. Desde então, as discussões sobre a necessidade de racionalização do consumo de energia elétrica são frequentes no âmbito nacional. Atualmente, o Brasil apresenta alto consumo de energia elétrica, o qual permanece em crescimento e com custos cada vez mais elevados. Segundo o Balanço Energético Nacional 2015 (BEN) (MME, 2015), no Brasil, os edifícios foram responsáveis por 42,5% do consumo total de energia elétrica gerada no país em 2014, sendo 14,5% referentes ao setor comercial.

Em edificações comerciais, o condicionamento de ar representa de 35 a 70% do consumo energético da edificação, dependendo principalmente do clima local, sendo maior em climas tropicais e menor em climas temperados. Outro fator que influencia no consumo com condicionamento de ar é a alta carga interna presente neste tipo de ambiente. (LI e LAM, 2000; CARVALHO; ROVERE; GONÇALVES, 2010; BESEN; WESTPHAL, 2014)

A envoltória do edifício atua como um filtro entre o ambiente externo e os espaços internos, tornando-a um elemento determinante na manutenção da qualidade ambiental interna e na maximização da eficiência energética da edificação. Segundo Trapano e Bastos (2010), dentre as premissas de uma edificação com qualidade ambiental, "a pele do edifício deverá funcionar como moderadora (luz, calor, ar, umidade), permitindo eficiente controle e interação entre as necessidades do espaço interno e condições exteriores".

Diversos autores, como Trapano e Bastos (2010), Carvalho, Rovere e Gonçalves (2010), Andreis, Besen e Westphal (2014), observam que as fachadas completamente envidraçadas vem se consolidando como modelo internacional na arquitetura corporativa, também seguido no Brasil. Ressaltam diversas justificativas ao uso de envoltórias compostas por amplos panos de vidro, dentre elas, ampla visão do exterior, integração interior/exterior, iluminação natural, facilidade na limpeza e manutenção e possibilidade de aquecimento solar durante períodos frios. Outro fator que incentiva os projetistas e proprietários a empregar revestimento em vidro são os avanços tecnológicos na sua composição, resultando em produtos com boa capacidade de controlar o ganho de calor solar. (TRAPANO; BASTOS, 2010; HUANG; NIU; CHUNG, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

Uma das principais fontes de ganho térmico da edificação em função do clima local é a radiação solar incidente na envoltória, influenciando as condições térmicas dos espaços. Quando se fala na transmissão de calor através da envoltória, enfatiza-se a preocupação com fechamentos transparentes, pois, nestes, as trocas são mais diretas e intensas devido à sua transparência à radiação solar e elevada transmitância térmica. (LI e LAM, 2000; CARVALHO; ROVERE; GONÇALVES, 2010; HUANG; NIU; CHUNG, 2014;

LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

Lee et al. (2013) destacam que a transmitância térmica das janelas é aproximadamente cinco vezes maior que outros componentes utilizados na envoltória. Portanto, o vidro deve ser adequado ao clima local e ao tipo de edificação, pois impacta diretamente no consumo energético da edificação (STEGOU-SAGIA et al., 2007; CARVALHO; ROVERE; GONÇALVES, 2010; BESEN; WESTPHAL, 2012). Para isso, é necessário compreender suas principais variáveis, como proporção de áreas opacas e transparentes da fachada e propriedades dos vidros, como fator solar, transmitância térmica e transmissão luminosa. (LEE et al., 2013)

A internacionalização da construção civil no Brasil não ocorre apenas nos modelos arquitetônicos, mas também nas tecnologias construtivas empregadas, sem considerar, entretanto, o clima local, que interfere drasticamente no conforto e eficiência energética da edificação. Os vidros insulados, por exemplo, são amplamente utilizados em países Europeus e da América do Norte, onde há invernos rigorosos, objetivando promover maior eficiência energética e conforto térmico nas edificações. Segundo Besen e Westphal (2012), este tipo de vidro é indicado para climas rigorosos e tem sido utilizado em edificações comerciais brasileiras "sem que anteriormente houvesse grandes estudos para avaliar a eficiência de sua adequação aos climas brasileiros".

Os vidros insulados são uma composição de laminas de vidros (duas ou mais) distribuídas formando câmaras de ar, ou outro gás de baixa condutividade térmica, entre elas. O principal objetivo desta composição é o isolamento térmico proporcionado pela camada de gás. Este bloqueio atua tanto no fluxo exterior-interior, dificultando a entrada de calor externo, como no fluxo interior-exterior, dificultando a dissipação de carga interna gerada por pessoas, iluminação e equipamentos. (HUANG; NIU; CHUNG, 2014)

Diversas pesquisas estão sendo realizadas comparando diferentes tipos de vidros, para um ou mais climas. Dentre os estudos internacionais podem ser citados Stegou-Sagia et al. (2007), Lee et al. (2013), Huang, Niu e Chung (2014). Também há pesquisas com o mesmo intuito sendo realizadas para os climas brasileiros, como Trapano e Bastos (2010), Carvalho, Rovere e Gonçalves (2010), Besen e Westphal (2012), Andreis (2014), Andreis, Besen e Westphal (2014), Sorgato et al. (2014), Besen e Westphal (2014). Entretanto, estes trabalhos comparam a eficiência de vidros com diferentes fatores solares, sem focar na composição construtiva.

Neste contexto, buscou-se analisar o desempenho energético de um pavimento típico de escritórios de planta aberta, com alta densidade de ocupação, comparando a utilização de vidros insulados e laminados com fator solar baixo e similar (cerca de 30%). Avaliaram-se duas cidades brasileiras de clima temperado, Florianópolis e Porto Alegre, utilizando software de simulação computacional e extraindo dados de consumo de energia elétrica.

Este estudo permite analisar a viabilidade do vidro insulado para cidades

brasileiras, auxiliando os profissionais da área de construção civil no emprego adequado desde tipo de vidro e evitando a internacionalização da construção civil que desconsidera o clima local.

2 METODOLOGIA

A fim de alcançar o objetivo proposto, realizaram-se simulações de desempenho energético de quatro modelos, relacionando as duas cidades (Florianópolis e Porto Alegre) com as duas especificações de vidros (laminado e insulado). Para tanto, utilizou-se o *software* de simulação computacional *EnergyPlus*.

As simulações necessitam de arquivos climáticos que caracterizem as condições climatológicas de um ano base para os locais estudados, a partir de dados horários. Os arquivos utilizados nesta pesquisa foram obtidos na biblioteca de arquivos climáticos do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), do tipo TRY (Test Reference Year), conforme Tabela 1.

Tabela 1- Arquivos Climáticos

Zona Bioclimática	Cidade	Arquivo Climático		Fonte
		Nome	Tipo	
3	Florianópolis(SC)	FlorianopolisTRY1963_05CSV.epw	TRY	LABEEE[1]
3	Porto Alegre(RS)	PortoAlegreTRY1954_05CSV.epw	TRY	LABEEE[1]

[1] Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin Acesso em: 08/03/2016

2.1 Modelo Geométrico

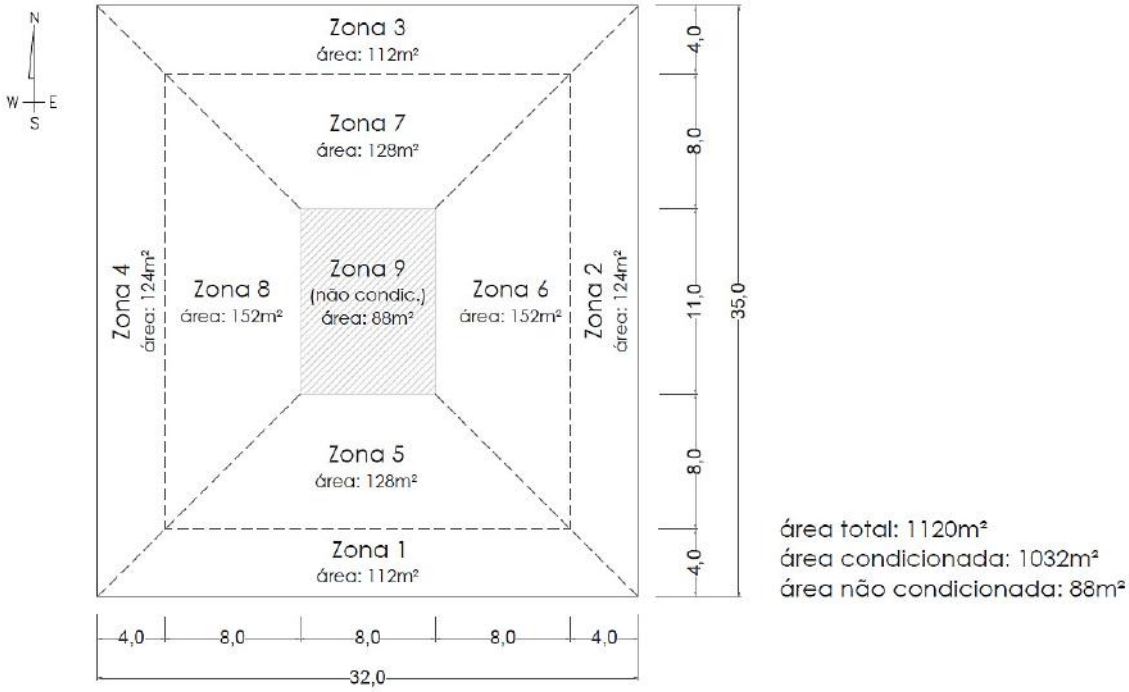
Analisou-se um pavimento tipo de um edifício de escritórios de planta aberta hipotético divido em nove zonas térmicas, sendo quatro zonas periféricas, quatro internas e uma central (*core*). O pavimento possui aberturas distribuídas ao longo de toda fachada, com percentual de abertura da fachada (PAFT) de 59%.

O pavimento é condicionado artificialmente com sistema de condicionamento de ar de expansão direta do tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*), equivalente a um aparelho split, com exceção do *core*, que não é climatizado. O sistema possui COP 3,0 (*coefficient of performance*) e seu termostato foi configurado com *setpoint* de aquecimento em 20°C e de resfriamento em 24°C.

A Figura 1 apresenta uma planta esquemática do pavimento, suas dimensões e o zoneamento térmico. A Figura 2 é um esquema do zoneamento térmico indicando as zonas periféricas e internas condicionadas

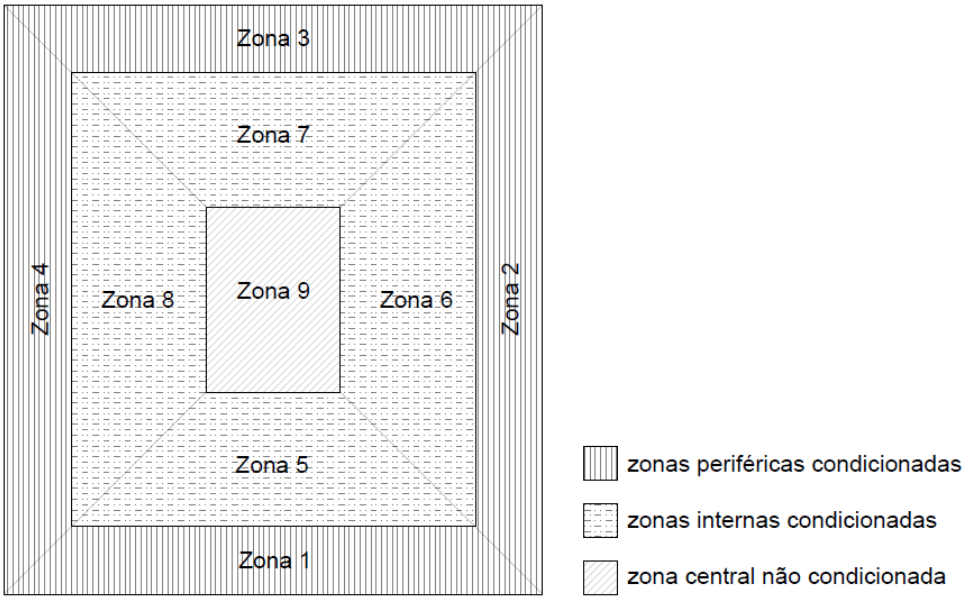
e o core não condicionado.

Figura 1 - Dimensões e zoneamento térmico (unidade: m).



Fonte: Os autores.

Figura 2 - Esquema de zoneamento do pavimento tipo.



Fonte: Os autores.

2.2 Cargas internas

A ocupação e densidade de carga de equipamentos foram definidas conforme NBR 16.401-1 para escritórios com carga interna alta (ABNT, 2008). A potência instalada em iluminação foi definida de acordo com a densidade de potência instalada limite (DPILimite) para nível D, no RTQ-C. (INMETRO, 2013b) Como taxa metabólica das pessoas considerou-se 126 W/pessoa (atividade de escritório). A Tabela 2 apresenta o resumo das densidades de carga interna utilizadas.

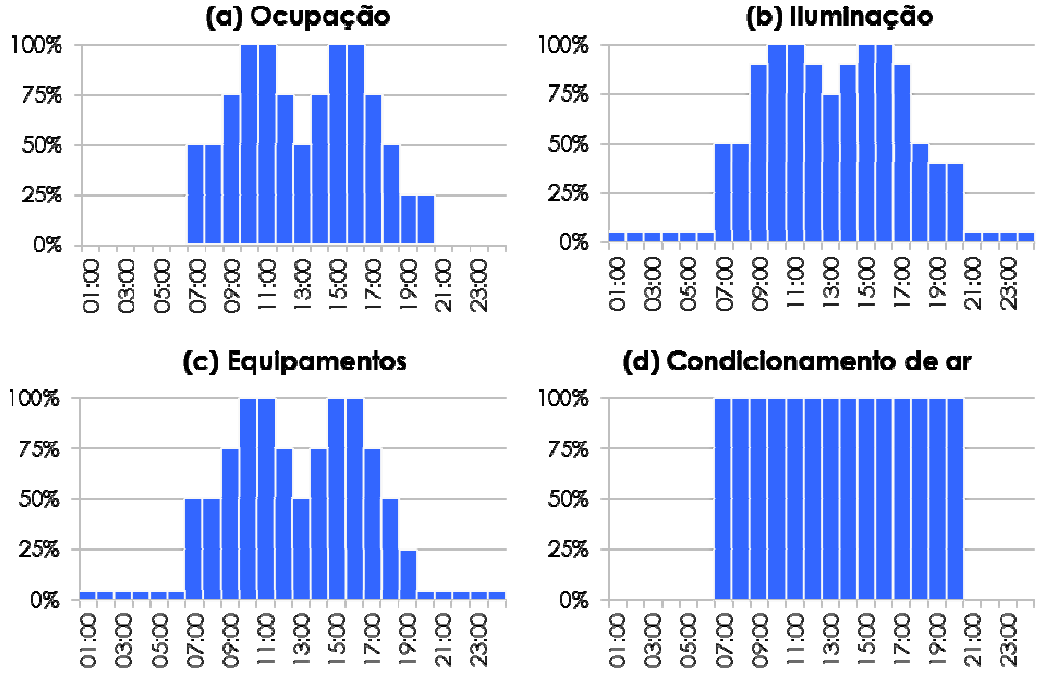
Tabela 2 - Densidade de ocupação

Densidade	Ocupação	Equipamentos	Iluminação	Taxa Metabólica
Alta	7,70m²/pessoa	21,50W/m²	14,10W/m²	126W/pessoa

Fonte: Os autores.

As programações dos sistemas da edificação foram configuradas conforme Figura 3. Não se considerou ocupação durante o fim de semana. Determinou-se 10% da iluminação e equipamentos em funcionamento constante em dias e horários sem ocupação.

Figura 3 – *Schedules* para os dias de semana: (a) Ocupação; (b) Iluminação; (c) Equipamentos; (d) Funcionamento do Condicionamento de Ar.



Fonte: Os autores.

2.3 Materiais

Definiram-se os elementos construtivos conforme a Tabela 3. Para paredes externas determinaram-se componentes com transmitância (U) e absortância (α) nos limites definidos no RTQ-C, para zona bioclimática 3:

U_{par}<3,70W/m²K e α_{par}<50%. As paredes internas e externas são revestidas por pintura na cor branco gelo. No piso, considerou-se a cor mel. Para definir o valor de absortância utilizou-se o Anexo Geral V, do RAC. (INMETRO, 2013a)

Tabela 3 – Elementos Construtivos

	Composição	Transmitância [U]	Absortâncias [α]
Paredes Externas	Reboco (25mm) + Bloco Cerâmico 6 furos (140mm) + Reboco (25mm)	1,398 W/m²K	Interna: α=0,297 Externa: α=0,297
Paredes Internas	Placa de Gesso (15mm) + Lã de Vidro (50mm) + Placa de Gesso (15mm)	0,69 W/m²K	α=0,297
Laje (Piso e Teto)	Reboco (25mm) + Laje Concreto (200mm) + Reboco (25mm) + Piso Cerâmico (7.5mm)	2,74 W/m²K	Reboco: α=0,297 Piso: α=0,418

Fonte: Os autores.

2.4 Vidros

Optou-se por comparar especificações de vidros reais, utilizados no mercado brasileiro, em duas composições: vidro simples laminado e vidro insulado (vidro duplo com câmara de ar). Buscou-se defini-las com o valor de fator solar baixo e similar (cerca de 30%). Optou-se por composições com fatores solar semelhantes a fim de isolar o efeito do aumento na resistência térmica do vidro insulado (devido à câmara de ar), e não na redução do fator solar.

Para tanto, elegeram-se duas especificações de vidro: um vidro laminado de controle solar e um insulado composto por vidro de controle solar na camada externa e vidro incolor na camada interna, separados por uma câmara de ar de 12 mm de espessura. As propriedades ópticas dos vidros utilizados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades ópticas e térmicas dos vidros

TIPO	LAMINADO	INSULADO		
		Externo	Interno	Composição
Espessura(mm)	8.0	8.0	6.0	8+12+6
Tsol	0.150	0.240	0.777	0.193
Rsol1	0.360	0.370	0.091	0.375
Rsol2	0.360	0.360	0.096	0.321
Tvis	0.310	0.510	0.859	0.447
Rvis1	0.170	0.170	0.108	0.199
Rvis2	0.100	0.180	0.110	0.245
Emis1	0.840	0.840	0.837	0.840
Emis2	0.840	0.840	0.837	0.837
Condutividade	1.0	1.0	1.0	-
Processo	Laminado com incolor	Laminado com incolor	Monolítico	Laminado + câm. ar + monolítico
U [W/m²K]	5.730	5.700	5.792	2.817
Fator Solar	0.296	0.340	0.814	0.279

Fonte: Fabricante de vidros CEBRACE e software LBNL WINDOW 7.4.

2.5 Climas

Este estudo avaliou duas cidades brasileiras de clima temperado, Florianópolis e Porto Alegre. A fim de melhor compreensão dos diferentes resultados para cada cidade, caracterizaram-se seus climas utilizando a classificação climática Köppen-Geiger (AMAZONAS, 2012), os dados de graus-hora obtidos a partir dos arquivos climáticos e o *software* ZBBR (Roriz, 2004), conforme apresentado na Tabela 5. Este programa apresenta a classificação bioclimática dos municípios brasileiros, baseado na ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005). As temperaturas utilizadas para cálculo dos graus-hora para aquecimento e resfriamento foram as mesmas adotadas como *setpoint* do sistema de condicionamento de ar.

Tabela 5 – Climas

ZBBR[1]		**Köppen-Geiger [2]**		**Graus-hora**
Porto Alegre (RS)				
Latitude	-30.03	Clima	Cfa	$GH_{aquecimento\ (20°C)}$:
Longitude	51.22		Temperado	24.122 GH
Altitude	3m		Sempre Úmido	$GH_{resfriamento\ (24°C)}$:
Zona Bioclimática	3		Verão Quente	6.255 GH
Florianópolis (SC)				
Latitude	-27.59	Clima	Cfa	$GH_{aquecimento\ (20°C)}$:
Longitude	48.54		Temperado	18.142 GH
Altitude	3m		Sempre Úmido	$GH_{resfriamento\ (24°C)}$:
Zona Bioclimática	3		Verão Quente	4.059 GH

Fonte: [1] RORIZ, 2004. [2] AMAZONAS, 2012.

2.6 Análise de Resultados

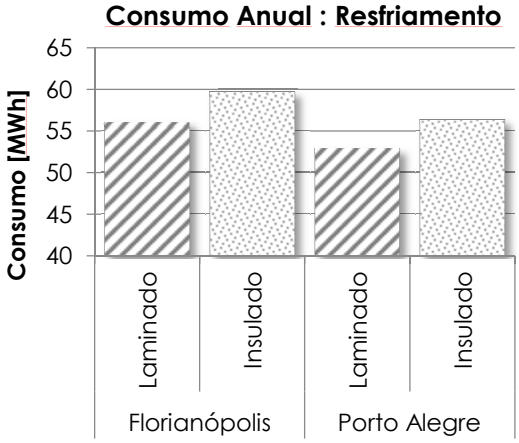
Primeiramente, analisaram-se os consumos anuais de energia elétrica em condicionamento de ar, comparando os quatro modelos. O recorte para análise do consumo em condicinamento de ar foi feito considerando que é o uso em que o tipo de vidro tem maior impacto. Os consumos mensais em resfriamento foram comparados entre os modelos e relacionados às temperaturas do ar externo de cada clima.

A fim de entender a relação do clima local com a utilização de vidros insulados, comparou-se a temperatura média diária do ar no exterior da edificação, com o consumo diário em condicionamento de ar. Para tanto, elegeram-se dois períodos de cinco semanas consecutivas, configurando um período típico de verão e um período típico de inverno. Definiu-se o período de verão entre os dias 27 de janeiro e 1° de março e o período de inverno entre 30 de julho e 2 de setembro.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Observando os dados de consumo energético anual para resfriamento de ar (Figura 4), nota-se que os modelos com vidro insulado obtiveram maiores valores comparados ao vidro laminado. Utilizando vidros laminados, a economia no consumo anual para resfriamento foi de cerca de 6%, nas duas cidades.

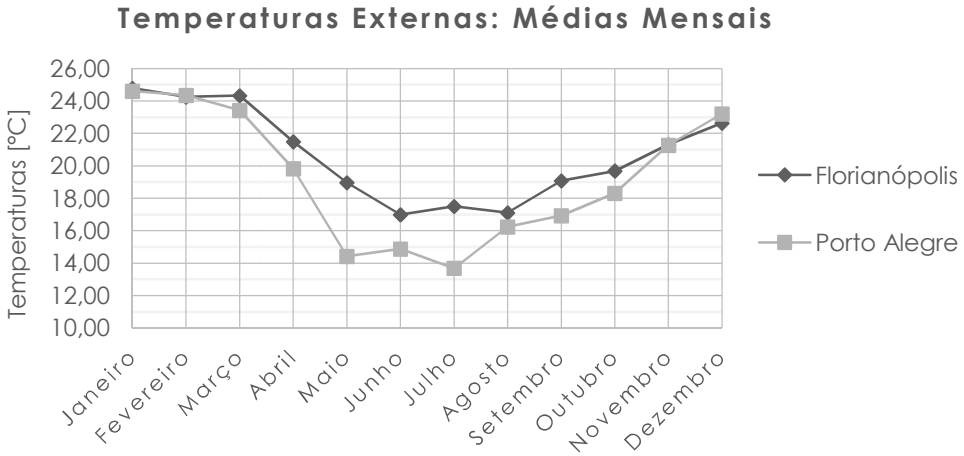
Figura 4 – Consumo de Energia Elétrica Anual para Resfriamento.



Fonte: Os autores.

Apesar de as cidades apresentarem temperaturas médias externas abaixo de 20°C nos meses de inverno (Figura 5), nenhum dos modelos apresentou consumo para aquecimento devido à elevada carga interna dos escritórios.

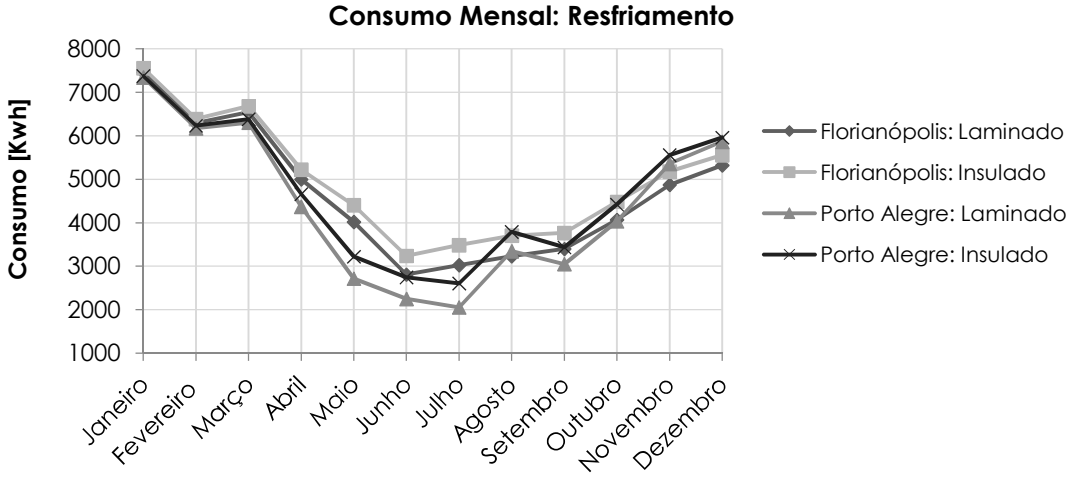
Figura 5 – Temperaturas médias de bulbo seco externas.



Fonte: Os autores.

Quando se observa o consumo mensal dos modelos (Figura 6), em paralelo à variação de temperaturas externas médias mensais das cidades (Figura 5), nota-se que as maiores diferenças de consumo entre os vidros laminado e insulado ocorrem nos meses de temperaturas mais amenas.

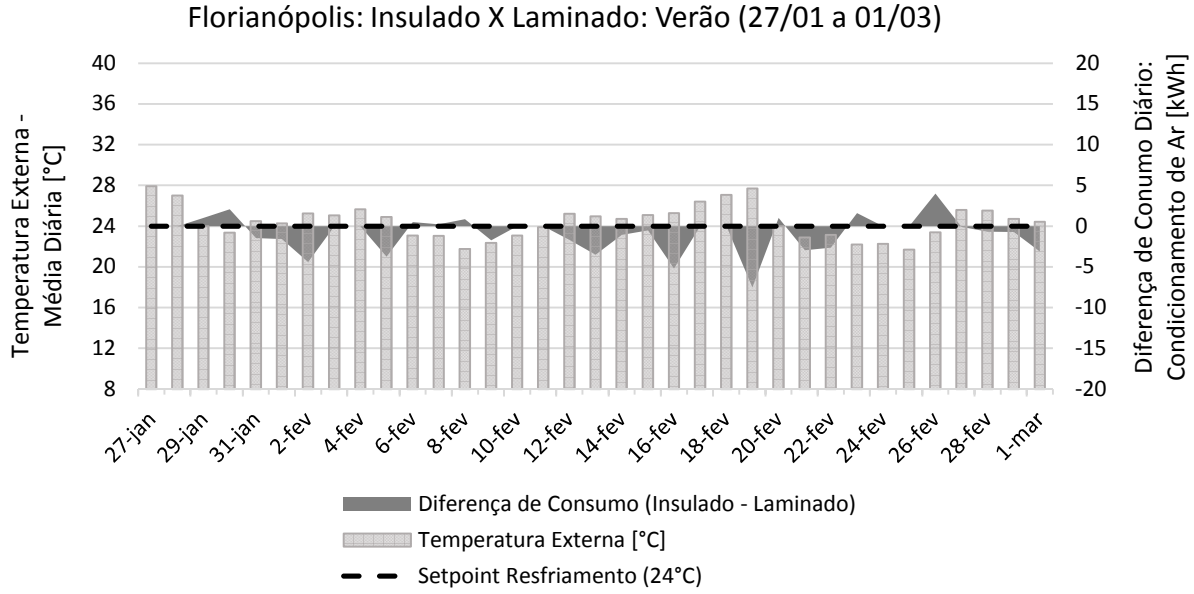
Figura 6 - Consumo de Energia Elétrica Mensal para Resfriamento.



Fonte: Os autores.

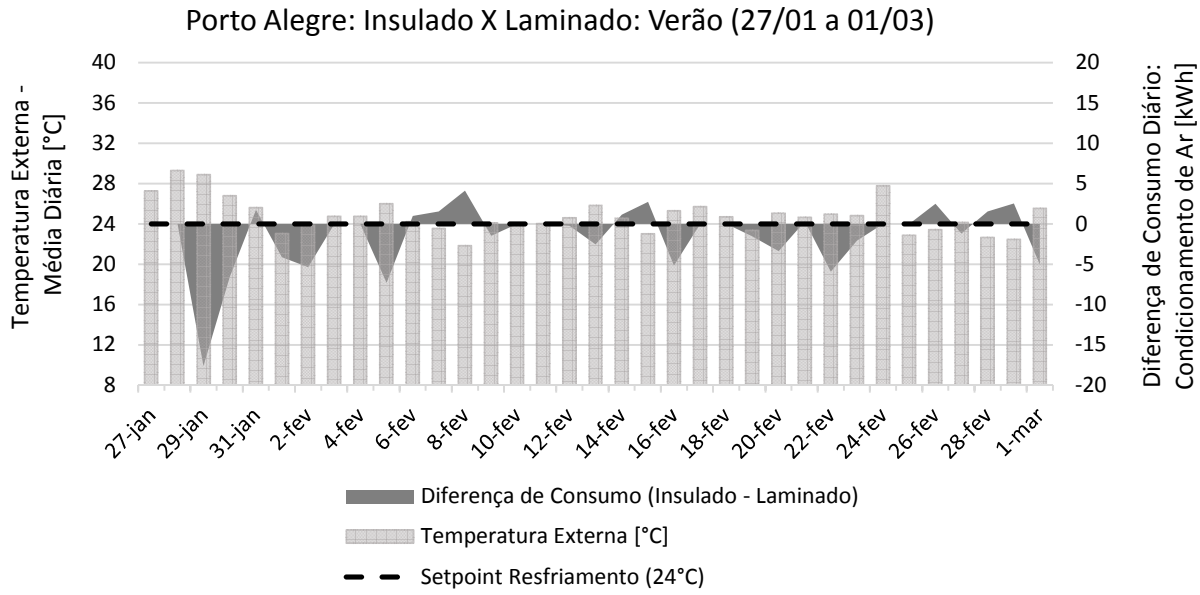
Os gráficos nas Figura 7,Figura 8,Figura 9 e Figura 10 mostram a temperatura média diária em comparação com a diferença de consumo energético para resfriamento entre o modelo com vidro insulado e o com vidro laminado. Quando essa diferença é negativa significa que o vidro insulado apresentou menor consumo.

Figura 7 – Relação entre consumo diário com C.A. e temperatura externa do ar: Florianópolis, verão.



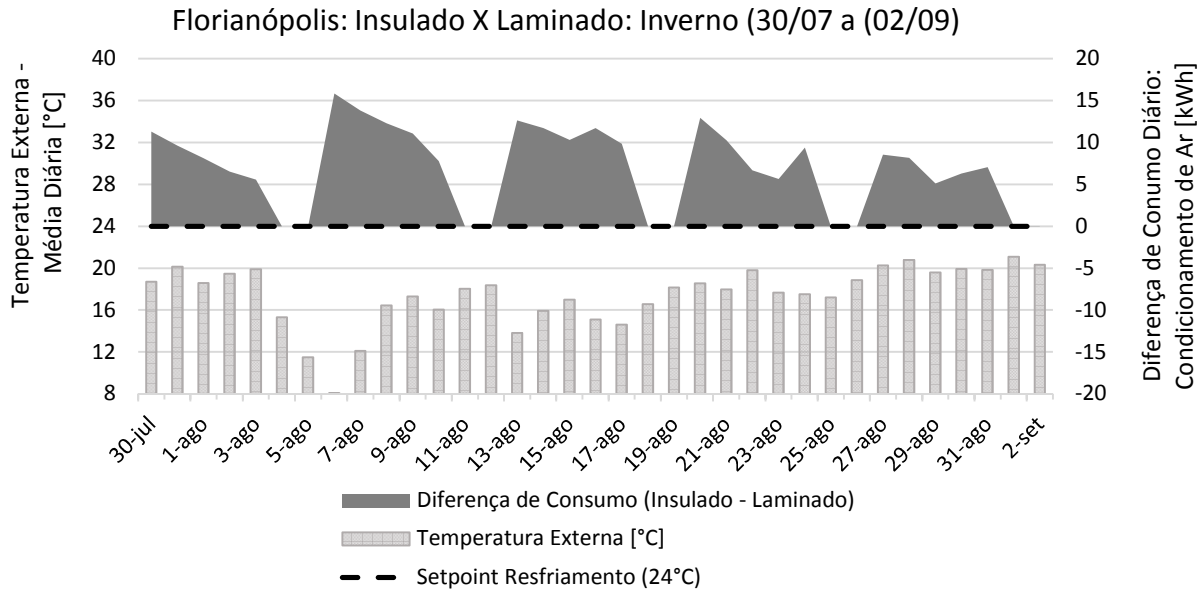
Fonte: Os autores.

Figura 8 - Relação entre consumo diário com C.A. e temperatura externa do ar: Porto Alegre, verão.



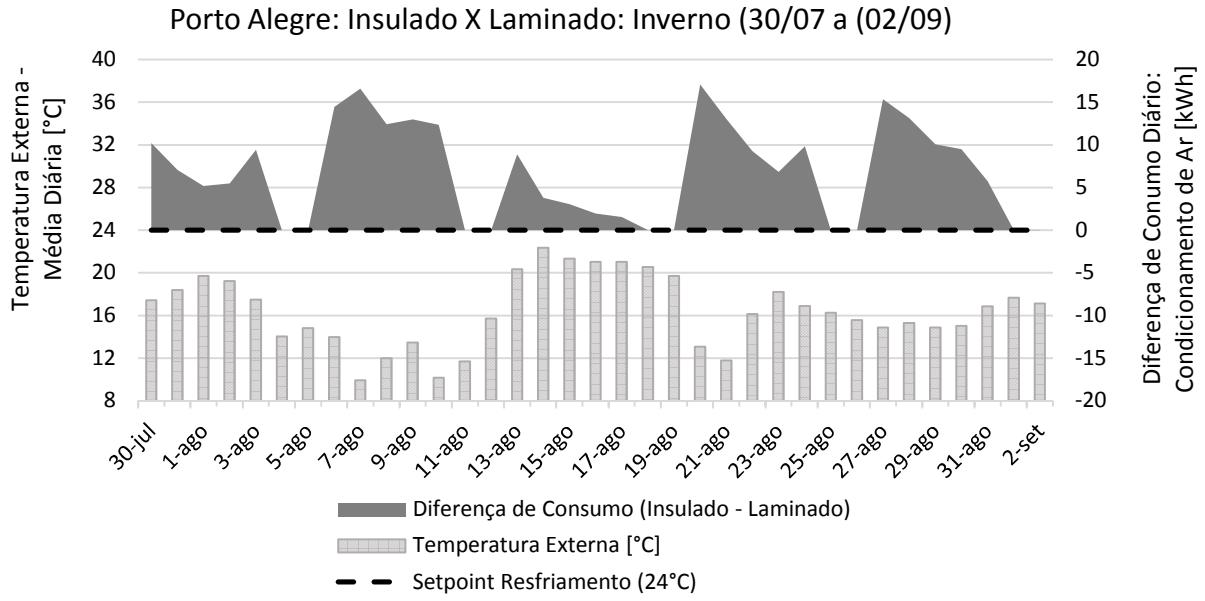
Fonte: Os autores.

Figura 9- Relação entre consumo diário com C.A. e temperatura externa do ar: Florianópolis, inverno.



Fonte: Os autores.

Figura 10 - Relação entre consumo diário com C.A. e temperatura externa do ar: Florianópolis, verão.



Fonte: Os autores.

Observa-se que, durante o verão, o consumo nos modelos apresentaram valores semelhantes. O vidro laminado apresentou maior consumo comparativo em temperaturas externas acima de 24°C (valor adotado como *setpoint* de resfriamento), enquanto o vidro insulado apresenta maior consumo comparativo em dias com temperatura média do ar inferior a 20°C. (Figura 7Figura 8) Quando se analisa o período de inverno, observa-se que, em temperaturas médias do ar mais amenas, os modelos com vidro insulado apresentam maiores consumos. (Figura 9Figura 10) Este fenômeno pode ser explicado pela propriedade isolante que a câmara de ar proporciona ao vidro insulado. Em temperaturas externas altas este vidro impede a transferência de calor por condução, ao passo que, em condições amenas de temperatura ele impede a dissipação do calor gerado pela alta carga interna instalada na edificação.

Além disso, nota-se que no período de temperaturas mais baixas os modelos iniciam a semana com maior diferença de consumo, porém este tende a se aproximar no decorrer da semana. Este fato ocorre pois durante o fim de semana o sistema de condicionamento de ar permanece desligado, desta forma o vidro laminado consegue dissipar o calor gerado pelas cargas internas durante a semana para o ambiente externo com maior facilidade que o vidro insulado. Assim, os modelos com vidro laminado iniciam a semana com seu interior mais resfriado, porém, devido a alta carga térmica gerada no interior da edificação, o consumo diário com condicionamento de ar tende a se aproximar nos dois casos.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou o consumo energético para resfriamento de um pavimento típico de escritórios comparando o uso de vidros laminados e vidros insulados, por meio de simulação computacional, avaliando duas cidades brasileiras de clima temperado, Florianópolis e Porto Alegre. Na escolha dos vidros, optou-se por composições com fatores solar semelhantes, a fim de melhor comparar as tecnologias construtivas.

Os modelos com vidro insulado obtiveram maior consumo energético anual comparados ao vidro laminado. Utilizando vidros laminados, a economia no consumo anual para resfriamento foi de cerca de 6%, nas cidades analisadas. Destaca-se também que o modelo de escritórios definido possui planta aberta, elevada carga interna e grande área de janelas, com PAFT de 59%, obtendo-se, então, significativa influência do vidro no consumo energético em condicionamento do ar.

Notou-se que, devido à propriedade isolante que a câmara de ar proporciona ao vidro insulado, nos climas temperados analisados e na edificação modelada, ele impede a dissipação do calor gerado pela alta carga interna instalada na edificação. Desta forma, apesar de os vidros insulados serem amplamente utilizados em climas rigorosos devido ao isolamento térmico que proporcionam, a partir da amostra observada, compreende-se que, em climas temperados, onde a diferença de temperatura do ar interna e externa é baixa, o vidro insulado evita a dissipação de calor, aumentando o consumo para resfriamento, o que o torna desvantajoso economicamente, quando comparado a um vidro laminado de mesmo fator solar. Cabe salientar que as conclusões aplicam-se apenas ao modelo aqui simulado. Outras tipologias arquitetônicas podem gerar comportamento diferente para os mesmo climas simulados, tais como menor área de janela nas fachadas e menor carga interna na edificação, por exemplo.

Uma das limitações deste trabalho foi o pequeno número de cidades analisadas. Como sugestões de trabalhos futuros, estas analises deveriam ser realizadas para uma amostra maior de cidades, que englobasse os diferentes climas do país. Além disso, esta etapa da pesquisa se concentrou na análise de consumo de energia para climatização, sem avaliar a melhoria no conforto térmico interno que o vidro insulado pode proporcionar devido à redução de sua temperatura superficial, mesmo quando exposto à radiação solar.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AMAZONAS. Secretaria de Infraestrutura do Estado do Amazonas. SEINFRA. **Estudo Prévio de Impacto Ambiental:** Diagnóstico Ambiental. Manaus, 2012. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/2 Diagnostico Ambiental - Meio Físico - Cap 6 Atualizado 2.pdf>. Acesso em: 24 maio 2016.

ANDREIS, Chíntia. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras.** 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/129677>. Acesso em: 03 mar. 2016.

ANDREIS, Cínthia; BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Desempenho Energético De Fachadas Envidraçadas Em Climas Brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió, Al. **Anais**. Maceió, Al: Antac, 2014. p.926 - 935. Disponível em: <http://doi.org/10.17012/entac2014.628>. Acesso em: 29 mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15.220:** Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 16.401:** Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Uso De Vidro Duplo E Vidro Laminado No Brasil: Avaliação Do Desempenho Energético E Conforto Térmico Por Meio De Simulação Computacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora, Mg. **Anais**. Juiz de Fora, Mg: Antac, 2012. p.2820 - 2826.

BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Fachadas de Vidro no Brasil: Um Estudo Comparativo de Viabilidade Econômica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió, Al. **Anais**. Maceió, Al: Antac, 2014. p.964 - 973.

CARVALHO, M.m.q.; LAROVERE, E.l.; GONÇALVES, A.c.m.. Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v.14, n.9, p.3199-3205, dez.2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.009.

HUANG, Yu; NIU, Jian-lei; CHUNG, Tse-ming. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. **Applied Energy**, [s.l.], v.134, p.215-228, dez.2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.100.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**: RTQ-R. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Anexo Geral V**: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. Anexo da Portaria INMETRO Nº 50/2013. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013a.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**: RTQ-C. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013b.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3.ed. Florianópolis: Eletrobras/procel, 2014. 366 p.

LEE, J.w. et al. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. **Renewable Energy**, [s.l.], v.50, p.522-531, fev.2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029.

LI, Danny H.w; LAM, Joseph C. Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions. **Energy And Buildings**, [s.l.], v.32, n.1, p.47-55, jun.2000. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(99)00035-3.

MME. Ministério de Minas e Energia. BEN – **Balanço Energético Nacional 2015:** ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme> Acessado em: 18/12/2015.

RORIZ, Maurício. **ZBBR**: Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros. Software livre. Versão 1.1. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 2004. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/download_6.html>

STEGOU-SAGIA, A. et al. The impact of glazing on energy consumption and comfort. **Energy Conversion And Management**, [s.l.], v.48, n.11, p.2844-2852, nov.2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2007.07.005.

TRAPANO, Patrizia di; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves. Forma E Qualidade Ambiental: Uma Discussão Sobre O Uso Do Vidro Em Obras Da Arquitetura Contemporânea Brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela, Rs. **Anais**. Canela, Rs: Antac, 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONTRIBUIÇÃO PARA O PROCESSO DE RETROFIT DE EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS: EFICIÊNCIA DE SISTEMA DE PROTEÇÃO SOLAR[1]

GONÇALVES, Isabel Piúma (1); TREICHEL, Suzana (2); CUNHA, Eduardo Grala (3)

(1) UFPEL, e-mail: isabelpiumag@hotmail.com; (2) UFPEL, e-mail: suzanatreichel@gmail.com; (3) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

O projeto de edificações adequadas ao clima vem tornando-se imprescindível observando principalmente a necessidade da diminuição do consumo de energia nas edificações. No caso de edificações existentes, é indicado o "retrofit" para elevar o nível de eficiência energética, melhorar o conforto térmico e aumentar a vida útil. Assim sendo, o objetivo desse estudo piloto, é avaliar o nível de conforto térmico e a eficiência energética do edifício de escritórios Panoramic Center em Pelotas – RS, Zona Bioclimática 02, através de simulação computacional e verificar a contribuição do brise-soleil para o desempenho termoenergético. O método consiste na definição do objeto de estudo, simulação termodinâmica, análise do nível de eficiência energética observando o RTQ-C, projeto do sistema de brise-soleil, análise do nível de eficiência energética com brises, análise do nível de conforto térmico considerando os parâmetros de densidade de carga interna da NBR16401(2008) e análise dos resultados. Os resultados dizem respeito à contribuição do brise-soleil para o conforto térmico da edificação, além da influência da variação da densidade de carga interna no conforto térmico. Esse estudo contribui para a consolidação de um banco de dados acerca das estratégias de climatização passiva de edifícios de escritórios na ZB2, mostrando suas contribuições no desempenho termoenergético.

Palavras-chave: Retrofit. Simulação computacional. Desempenho termoenergético. Brise-soleil.

ABSTRACT

The design of appropriate building to the climate is becoming imperative particularly noting the need of reducing energy consumption in buildings. In the case of existing buildings, it is indicated "retrofit" to raise the level of energy efficiency, improving thermal comfort and increase shelf life. Therefore, the aim of this pilot study is to assess the level of thermal comfort and energy efficiency office building Panoramic Center in Pelotas - RS, bioclimatic zone 02, through energy modeling and check the brise-soleil's contribution to performance thermo-energetic. The method consists in defining the object of study, thermodynamic simulation, analysis of the energy efficiency level of the building observing the RTQ-C, the brise-soleil system design, energy efficiency level analysis with louvers, analysis of the thermal comfort level considering the charge density of internal parameters NBR16401 (2008) and analysis of results. The results concern the brise- soleil 's contribution to the thermal comfort of the building, beyond the influence of the variation of the internal load density in thermal comfort. This study contributes to the consolidation of a database about the passive cooling strategies of office buildings in ZB2, showing their contributions in performance thermo-energetic.

Keywords: *Retrofit. Computer Simulation. Performance thermo-energetic. Brise soleil.*

[1] GONÇALVES, Isabel Piúma; TREICHEL, Suzana; CUNHA, Eduardo Grala. Contribuição para o processo de retrofit de edifício de escritórios: eficiência de sistema de proteção solar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Kopp (2012) com a crise do petróleo surgiu a necessidade de pensar em fontes alternativas de energia, racionalizar o consumo e aumentar a eficiência energética das edificações. No Brasil, a eficiência energética começou a ser discutida de forma mais efetiva após os apagões de 2001, embora já tivessem sido criados o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) na década de 80.

Nesse contexto surgiram diretrizes para um consumo mais eficiente, como a criação das normas NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2013) que visam melhorar o desempenho das edificações. Além destas normas, foi criado o RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos em 2009, e em 2010 foi criado o RTQ-R para edificações residenciais.

Além destas diretrizes, segundo Maragno (2000) alguns arquitetos começaram a retomar projetos de edificações adequadas ao clima, utilizando estratégias para melhoraria do clima interno das edificações, após a crise energética no Brasil. Uma dessas estratégias bastante recorrente, é o brise-soleil. O brise-soleil é um elemento arquitetônico que se constitui de placas verticais, horizontais ou mistas dependendo da orientação solar, com a finalidade de impedir a incidência solar direta nos ambientes. Dessa forma, configura uma estratégia tanto pra o conforto térmico como para o lumínico, pois reduz os ganhos térmicos provocados pela radiação solar direta, além de reduzir as iluminâncias elevadas e o ofuscamento.

Atualmente as estratégias passivas são cada vez mais utilizadas na arquitetura, assim como estudos sobre a eficiência energética de edificações. Esses estudos estão sendo desenvolvidos largamente através do uso das ferramentas de simulação computacional. Segundo Mendes et al (2005) a avaliação de desempenho termoenergético se torna muito complexa por envolver muitas variáveis. Por esse motivo, o surgimento dos programas computacionais para esse tipo de análise se tornou fundamental, possibilitando também analisar vários cenários, em casos de projetos ou propostas de intervenção.

2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o impacto da implantação de sistema de proteção solar em edifício de escritórios em Pelotas, RS, ZB2, no nível de conforto térmico e de eficiência energética acordando com o RTQ-C. A proposta enquadra-se num banco de dados que está sendo desenvolvido com o desempenho termoenergético de medidas de conservação de energia no envelope e em sistemas.

3 MÉTODO

A pesquisa apresenta ênfase quantitativa, utilizando a simulação computacional como estratégia. O método proposto consiste nas seguintes etapas: Definição do objeto de estudo, simulação termodinâmica do estudo de caso, análise e verificação do nível de eficiência energética atual da edificação acordando com o RTQ-C, geração dos modelos de referência, projeto do sistema de brise-soleil, análise e verificação do nível de eficiência energética após a implantação do sistema, análise do nível de conforto térmico considerando os parâmetros de densidade de carga interna da NBR16401 (2008) e análise dos resultados.

3.1 Definição do objeto de estudo

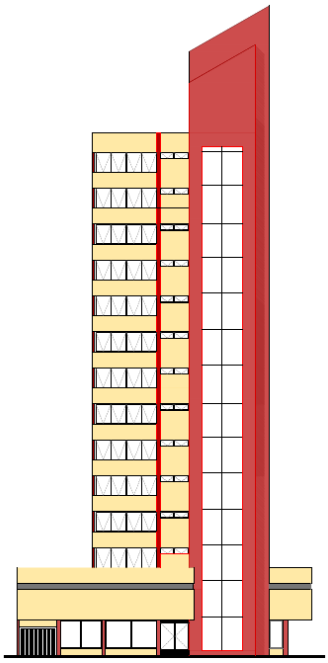
O modelo escolhido representa uma tipologia comercial característica da cidade de Pelotas-RS, ZB02, de acordo com a NBR 15220 – 03 (2005). O edifício comercial Panoramic Center, construído em 1986, está inserido nos limites da Zona de Preservação do Patrimônio Cultural, de acordo com III Plano Diretor de Pelotas. A edificação possui quatorze pavimentos e um elevador panorâmico com vista privilegiada da cidade. (Figuras 01, 02 e 03)

Figura 01: Ed. Panoramic Center



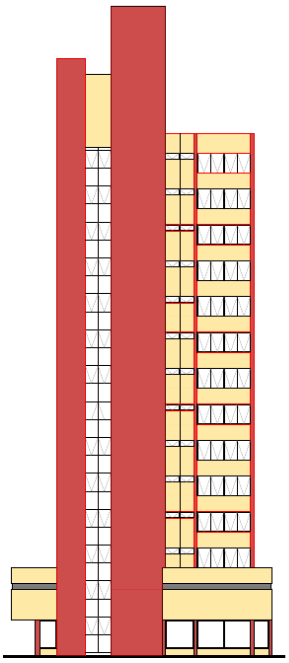
Fonte: Google StreetView

Figura 02: Elev. Noroeste



Fonte: Os autores

Figura 03: Elev. Sudoeste

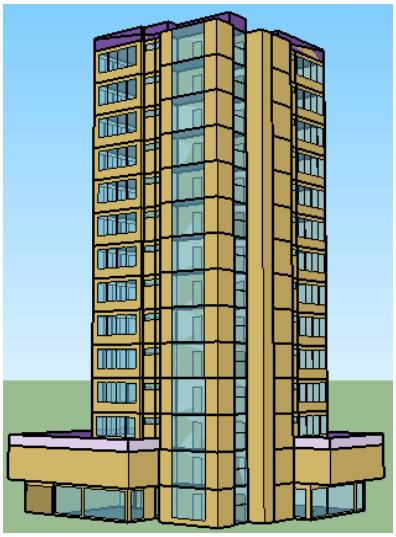


Fonte: Os autores

3.2 Simulação termodinâmica do estudo de caso

A modelagem para a simulação computacional foi feita no programa Sketchup 2015 através do plugin Open Studio, onde foram determinadas as zonas térmicas, fechamentos opacos e aberturas da edificação (Figura 04).

Figura 04: Edifício modelado no Sketchup 2015



Fonte: Os autores

Após a confecção do modelo, foram configurados o arquivo climático e as agendas de uso e ocupação, equipamentos, materiais, iluminação e ar condicionado no IDF Editor, para posterior simulação no EPLaunch – Energy Plus 8.3. Os parâmetros utilizados nas simulações de cada um dos casos são apresentados na tabela 01, abaixo:

Tabela 01: Parâmetros de simulação

	Parâmetros	Variáveis	Observações
Modelo Real	Ocupação	Diversas	Os padrões de ocupação foram configurados individualmente de acordo com as entrevistas.
	Set point	25°C - Ventilação	Martins et. al. (2009 apud Knop, 2012)
	Set point	22°C-Aquecimento 24,5°C-Resfriamento	NBR 16401-2 (2008)
	Piso	Granito - 5 mm Cerâmico - 5mm	O piso de granito no térreo e o piso cerâmico no restante do prédio, conforme levantamento.
	Cobertura	Telha fibrocimento, ar e laje	Configuração conforme as plantas do projeto arquitetônico.
	Parede	Argamassa, tijolo furado, argamassa	As paredes foram configuradas com tijolo furado conforme estudos de Correa et al(2003).
	Vidro	Vidro absorvente 6mm	CEBRACE (2016)
	DCI Iluminação	12,284 W/m²	Conforme levantamento e ponderação da potência pela área.
	DCI Equipament.	10,7 W/m²	NBR 16401-1(2008)
	COP Ar condicion.	3,163-Aquecimento 2,99 - Resfriamento	De acordo com o levantamento e verificação do COP médio dos aparelhos de ar condicionado.

Modelo de referência Nível A	Área / pessoa	14,053 m²/ pessoa	De acordo com o levantamento e ponderação do nº de pessoas/área.
	Cobertura	Argamassa, poliestireno, laje e argamassa	A cobertura atende aos valores de transmitância do RTQ-C para o nível A.
	Parede	Argamassa, poliestireno, tijolo e argamassa	As paredes atendem aos valores de transmitância do RTQ-C para o nível A.
	DCI Iluminação	9,7 W/m²	O valor de DCI foi configurado de acordo com a exigência do RTQ-C para o nível A.
	COP Ar condicion.	3,23 -Aquecimento 3,23 - Resfriamento	O valor COP foi configurado de acordo com a exigência do RTQ-C para o nível A.
Modelo de referência Nível B	Cobertura	Argam., poliestireno, laje e argamassa	A cobertura atende aos valores de transmitância do RTQ-C para o nível B.
	Parede	Argam., poliestireno, tijolo e argamassa	As paredes atendem aos valores de transmitância do RTQ-C para o nível B.
	DCI Iluminação	11,2 W/m²	O valor de DCI foi configurado de acordo com a exigência do RTQ-C para o nível B.
	COP Ar condicion.	3,02 -Aquecimento 3,02 - Resfriamento	O valor COP foi configurado de acordo com a exigência do RTQ-C para o nível B.
Elevada DCI	DCI Equipamentos	21,5 W/m²	O valor de DCI foi configurado de acordo com a NBR 16401-1 (2008).
	Área / pessoa	7,7 m²/ pessoa	Configuração de acordo com a NBR 16401-1 (2008).

Fonte: Os autores

Nesse trabalho, foi utilizado o arquivo climático de Camaquã – RS que também pertence à ZB02, pois a cidade de Pelotas ainda não possui arquivo climático.

As agendas de uso e ocupação das salas comerciais foram configuradas a partir de entrevistas, onde foram levantados os horários de funcionamento, equipamentos, sistema de iluminação e ar condicionado de cada sala. Foram realizadas 21 entrevistas de um total de 37 salas, onde foi constatado que a maioria das salas possui sistema de climatização artificial, com exceção das salas 501 e 702.

3.3 Análise e verificação do nível de eficiência energética atual da edificação

Para analisar o nível de eficiência energética, primeiramente foi gerado um modelo de referência para cada nível de eficiência. Logo após, foram realizadas as simulações de cada edifício de referência e do edifício real. O objetivo desse processo é verificar qual modelo de referência se aproxima do modelo real, definindo assim o nível de eficiência do edifício.
Para criar os modelos de referência foi utilizada a metodologia descrita no RTQ-C, que consiste nas seguintes etapas: cálculo do novo PAFT (percentual

de abertura na fachada total); geração da geometria de cada modelo de referência com seu novo valor de PAFT calculado; configuração dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar de referência, além das modificações nos materiais da envoltória de acordo com cada nível. Após a realização da simulação computacional, a verificação do nível de eficiência energética da edificação contempla duas etapas distintas: a verificação do consumo energético de toda a edificação e a verificação do percentual de horas ocupadas em conforto (POC) das salas naturalmente ventiladas. Para verificação do consumo energético da edificação, foram simulados no *Energy Plus* cada um dos modelos de referência (A, B, C e D) e o modelo real, a fim de comparar o consumo energético do edifício real com o dos de referência, classificando assim, o nível de eficiência do edifício real. A segunda etapa consiste na verificação do POC (percentual de horas de conforto) das salas 501 e 702, através da análise de conforto adaptativo, descrito na ASHRAE 55.

3.3.1. Geração dos modelos de referência

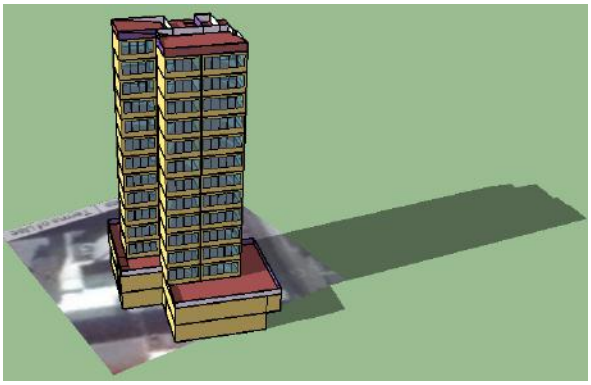
Primeiramente é necessário calcular os valores de Fator Altura e Fator de Forma para determinação do novo PAFT em cada nível de referência. Após a determinação destas variáveis, calcula-se o IC (indicador de consumo da envoltória). A equação varia de acordo com a zona bioclimática e a área de projeção da cobertura. Nesse trabalho, utiliza-se a equação 3, aplicável em edificações com área de projeção menor que 500m², localizadas na ZB02. Posteriormente, define-se o ICmin e ICmax, utilizando a equação 3, porém adotando valores fixos estabelecidos para o PAFT, FS (fator solar), AVS (ângulo vertical de sombreamento) e AHS (ângulo horizontal de sombreamento). Para o ICmin, adotar: PAFT = 0,05; FS = 0,87 e AVS = AHS = 0. Para o ICmax, adotar: PAFT = 0,60; FS = 0,87 e AVS = AHS = 0. Dessa forma, é calculado o IC para cada nível de eficiência energética de acordo com o RTQ-C.

Com os valores de PAFT para cada nível, o edifício deve ser modelado com base nos novos valores de referência, além da configuração da envoltória, sistemas de iluminação e condicionamento de ar de acordo com cada nível. A envoltória, iluminação e condicionamento de ar são gerados a partir de recomendações do RTQ-C para cada nível de eficiência energética.

3.4 Projeto do sistema de brise-soleil

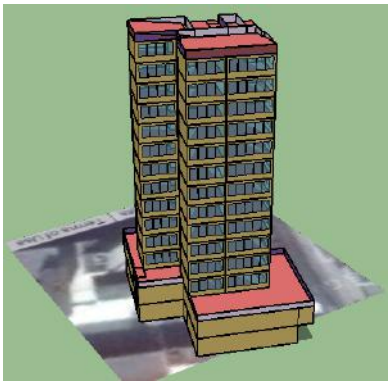
O brise-soleil foi projetado a partir do estudo de sombras da edificação realizado no programa Sketchup 2015, a fim de verificar quais horários cada fachada necessitava de dispositivos de proteção solar. O estudo de sombras contemplou os principais horários em que o edifício estava exposto à radiação solar durante o solstício de verão (Figuras 05, 06, 07, 08, 09 e 10).

Figura 05: Fachada NE – 21/12 – 08:00hs



Fonte: Os autores

Figura 06: Fachada NE.–21/12–12:00hs



Fonte: Os autores

Figura 07: Fachada NO – 21/12 – 14:00hs



Fonte: Os autores

Figura 08: Fachada NO – 21/12 – 19:00hs



Fonte: Os autores

Figura 09: Fachada SO – 21/12 – 16:00hs



Fonte: Os autores

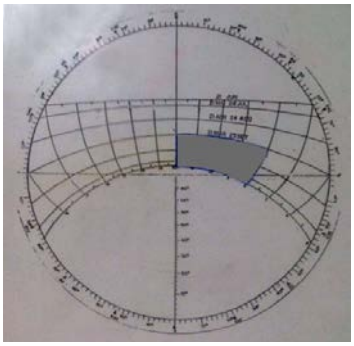
Figura 10: Fachada SO – 21/12 – 19:00hs



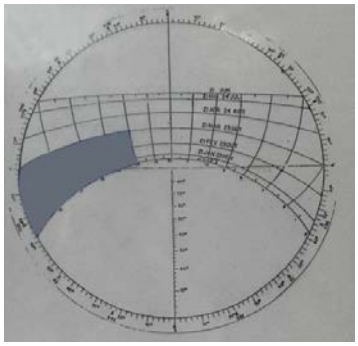
Fonte: Os autores

Após definir o horário de sombreamento de cada fachada, foram elaboradas as máscaras de sombreamento com auxílio da projeção estereométrica das trajetórias aparentes do sol. Como pode ser visto nas Figuras 11, 12 e 13 respectivamente, as aberturas da fachada nordeste devem ser sombreadas das 08:00 às 12:00hs, na fachada noroeste das 14:00 às 19:00hs e na fachada sudoeste das 16:00 às 19:00hs.

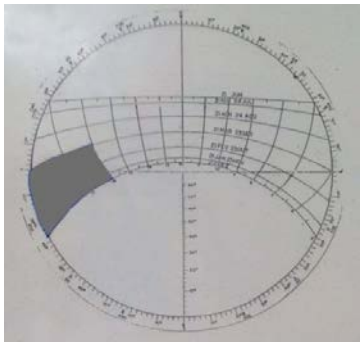
Figura 11: Fach. Nordeste Figura 12: Fach. Noroeste Figura 13: Fach. Sudoeste



Fonte: Os autores



Fonte: Os autores

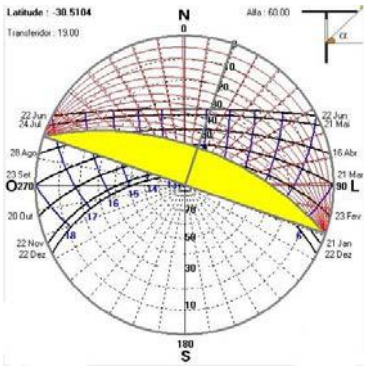


Fonte: Os autores

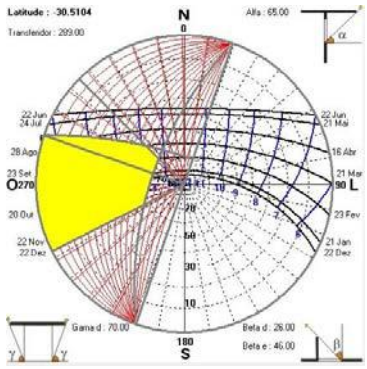
As figuras 14, 15 e 16 representam as máscaras de sombras para cada orientação solar. As máscaras foram elaboradas no *software Analysis* Sol-Ar, que permite obter a carta solar a partir da latitude especificada, a fim de auxiliar o projeto de brise-soleil.

A máscara de sombras obtida na fachada nordeste resultou no ângulo de sombreamento horizontal **α** = 60° (Figura 14). Na fachada noroeste, resultaram ângulos de sombreamento vertical **β**esq = 46° e **β**dir = 26°, **α** = 65°, e **γ**dir= 70° (Figura 15). Já a fachada sudoeste, apresentou os ângulos **β**dir1 = 45° e **β**dir2 = 88°, além do **γ**dir =45° (Figura 16).

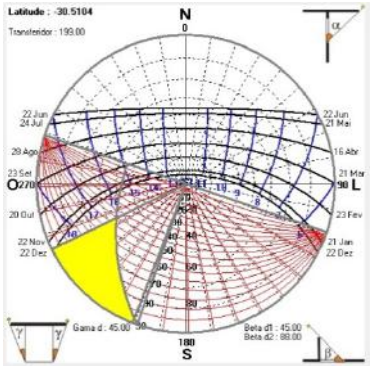
Figura 14: Fach. Nordeste Figura 15: Fach. Noroeste Figura 16: Fach. Sudoeste



Fonte: Os autores



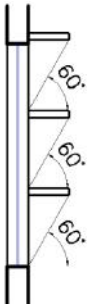
Fonte: Os autores



Fonte: Os autores

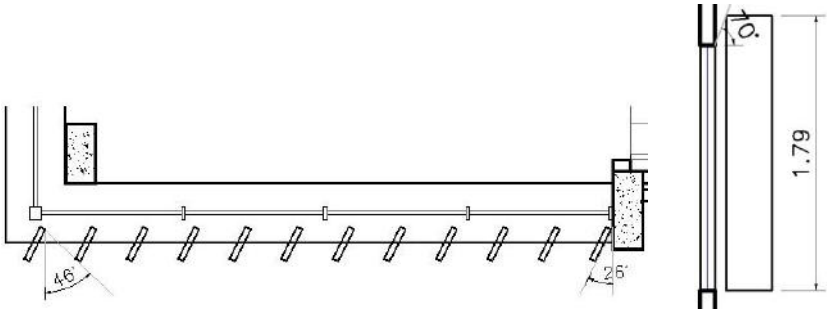
Respeitando os ângulos de sombreamento, foram elaborados croquis para o estudo da geometria dos brises para cada orientação solar (Figuras 17, 18 e 19). A figura 17 apresenta a geometria do brise composto por placas horizontais na fachada nordeste. A figura 18 apresenta o brise composto por placas verticais inclinadas de forma a barrar a radiação solar indesejada na fachada noroeste. A figura 19 apresenta a geometria composta por placas verticais inclinadas atendendo aos ângulos de sombreamento estudados para a fachada sudoeste.

Figura 17: Brise Nordeste



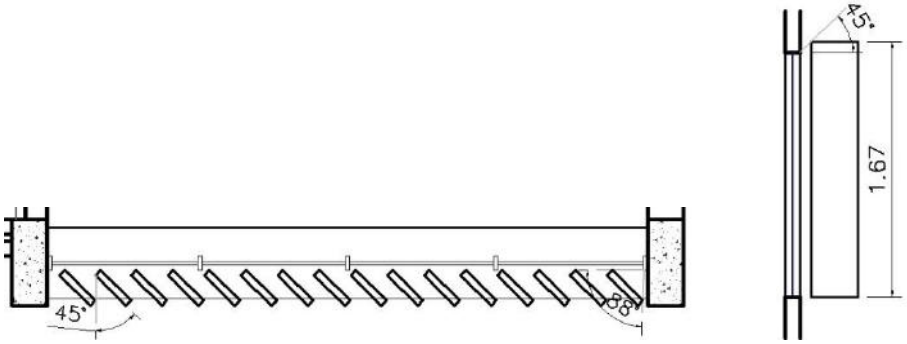
Fonte: Os autores

Figura 18: Brise Noroeste



Fonte: Os autores

Figura 19: Brise Sudoeste



Fonte: Os autores

3.5 Análise e verificação do nível de eficiência energética após a implantação do sistema

Após o projeto dos brises ser implementado na edificação, foram feitas as simulações de eficiência energética, a partir dos dados do modelo real, para verificação do impacto desse sistema no desempenho termoenergético de uma edificação existente. Ademais, após a simulação computacional, a verificação do nível de eficiência é feita em duas etapas anteriormente descritas: a verificação do consumo energético da edificação e a verificação do POC das salas naturalmente ventiladas.

3.6 Análise do nível de conforto térmico considerando os parâmetros de densidade de carga interna da nbr16401 (2008)

O estudo até então analisou as condições de conforto e o nível de eficiência da edificação existente e da proposta com brise-soleil, utilizando como base as informações de uso e ocupação levantadas a partir de entrevistas realizadas no local. Assim sendo, essa etapa do trabalho visa analisar o conforto térmico da edificação existente e da proposta com brise-soleil considerando uma alta densidade de carga de equipamentos de acordo com a NBR 16401-1(2008). O objetivo dessa etapa é verificar o quanto a alta densidade de carga interna (DCI) no edifício analisado interferiria nas condições de conforto térmico da edificação.

Dessa forma, são feitas análises considerando a DCI de 21,5 W/m² e a ocupação de 7,7m² por posto de trabalho. Esses parâmetros são condizentes

com as informações da Tabela C.6 da NBR 16401-1, que estabelece a densidade típica de carga de equipamentos para diversos tipos de escritórios.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Posteriormente à simulação da edificação real, dos modelos de referência para cada nível e da edificação com brise-soleil, foram analisados os resultados de maneira a verificar o nível de eficiência obtido em cada situação. Para analisar os resultados, foi utilizado como base o procedimento descrito no RTQ-C. Dessa forma, foi verificado o consumo total de energia da edificação, que representa o equivalente numérico de simulação (EqNumS), além da análise do POC das salas ventiladas naturalmente, configurando o equivalente numérico de ambientes não condicionados (EqnumV). Os valores de consumo, obtidos na simulação no Energy Plus 8.3, são apresentados em kWh/ano na tabela 02, a seguir:

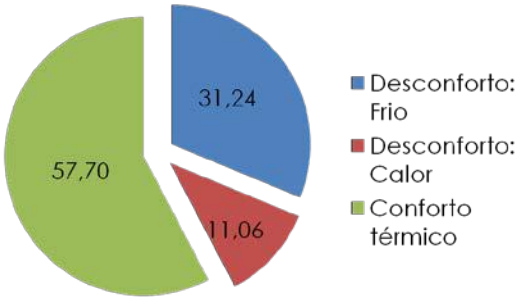
Tabela 02: Consumo energético anual para cada hipótese

CONSUMO - kWh/Ano	
NÍVEL A	37.786,43
NÍVEL B	42.357.81
EDIFICIO REAL	42.557,74
EDIFICIO COM BRISES	41.631,66

Fonte: Os autores

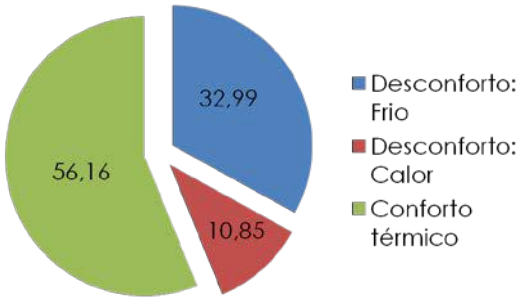
A análise do consumo de energia permitiu verificar que a edificação atualmente apresenta consumo anual condizente com o nível C de eficiência energética. O brise-soleil permitiu uma diminuição no consumo de energia de 926,08 kWh/ano, elevando o nível de eficiência da edificação para B. Em relação aos ambientes não condicionados, o procedimento utilizado é baseado na análise de conforto adaptativo, a fim de verificar o percentual de horas ocupadas em conforto térmico nas salas 501 e 702. As análises de conforto adaptativo da edificação atual e do edifício com brises são apresentadas nas figuras a seguir:

Figura 20: Conforto Adapt. 501 (ed. real)



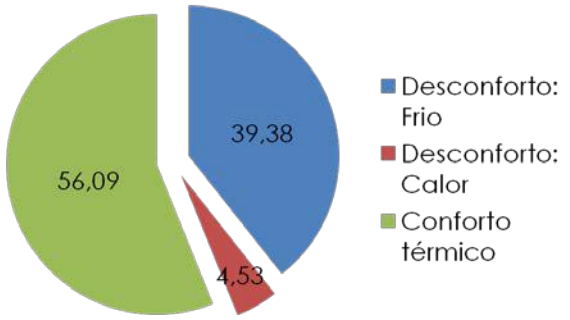
Fonte: Os autores

Figura 21: Conforto Adapt. 702 (ed. real)



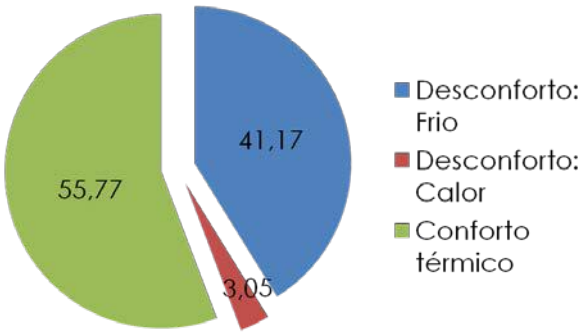
Fonte: Os autores

Figura 22: Conforto Adapt. 501 (c/brises)



Fonte: Os autores

Figura 23: Conforto Adapt. 702 (c/ brises)



Fonte: Os autores

Conforme visto nas análises de conforto adptativo, os brises diminuiram o desconforto para o calor, porém elevaram o desconforto para o frio. Dessa forma, o percentual de horas em conforto térmico, sofreu uma pequena redução ao longo do ano com a implantação do sistema.

O equivalente numérico para ventilação natural (EqNumV) foi determinado a partir do POC, segundo a tabela 6.4. do RTQ-C. Essa tabela apresenta o valor correspondente ao EqNumV de acordo com o percentual de horas ocupadas em conforto, determinando assim, a classificação final de A à E. De acordo com o RTQ-C, edifícios que possuem condicionamento artificial e ventilação natural: EqNumV ≥ EqNumS. Nos casos que não atendam essa condição, a classificação final da edificação será determinada pelo EqNumV.

Nesse estudo, o EqNumV obteve o valor igual a 2, correspondente ao nível de eficiência D (Tabela 03). Dessa forma, como o valor do EqNumV é menor que o EqNumS, o nível de eficiência da edificação é definido pelo menor valor, sendo classificada com nível final D, tanto a edificação atual como o projeto com brises.

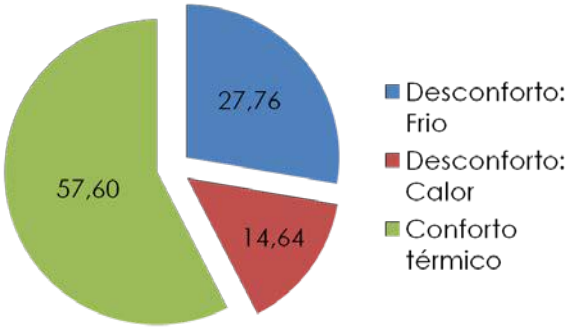
Tabela 03: Análise final EqNumV

	EqNumV	Classificação
50%<POC<60%	2	D

Fonte: Os autores

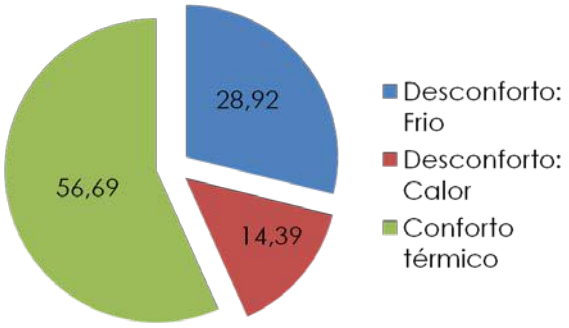
Em relação às análises de conforto adaptativo considerando alta densidade de carga interna, os resultados são apresentados nas figuras 24, 25, 26 e 27. As figuras 24 e 25 apresentam os gráficos de conforto adaptativo das salas naturalmente ventiladas, considerando a edificação real com alta DCI. As figuras 26 e 27 mostram os gráficos de conforto adaptativo para as salas naturalmente ventiladas na edificação com brise-soleil.

Figura 24: Conforto Adapt. 501 (ed. real)



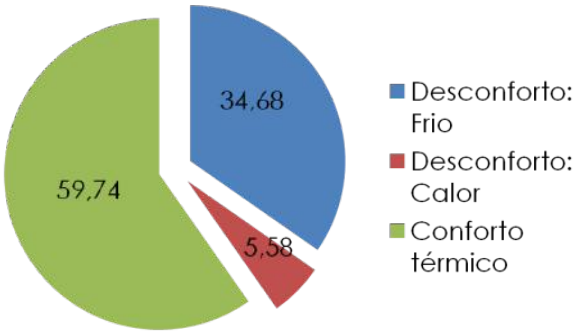
Fonte: Os autores

Figura 25: Conforto Adapt. 702 (ed. real)



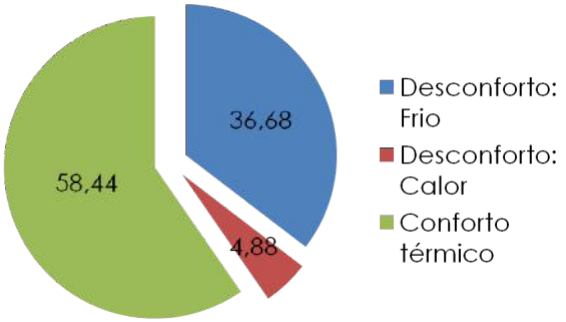
Fonte: Os autores

Figura 26: Conforto Adapt. 501 (c/brises)



Fonte: Os autores

Figura 27: Conforto Adapt. 702 (c/ brises)



Fonte: Os autores

Neste caso apresentado, a elevação da DCI possibilitou a diminuição no desconforto para o frio, aumentando o desconforto para o calor. Nas análises de conforto adaptativo com alta DCI, os brises mostraram-se mais eficientes, possibilitando a elevação no percentual de horas em conforto térmico.

5 CONCLUSÕES

O estudo permitiu concluir que o edifício comercial apresenta um baixo grau de eficiência energética, tendo obtido classificação nível D na pontuação final. Em relação ao projeto do brise-soleil, este apresentou aspectos positivos e negativos na sua implementação.

Os aspectos positivos a serem destacados foram a diminuição do consumo energético anual em 926,08 KWh, o que poderia elevar o nível de eficiência caso a edificação fosse apenas condicionada artificialmente. Outro importante ponto a ser destacado foi a diminuição do desconforto para o calor obtida nas salas naturalmente ventiladas. Entretanto, como resultado negativo, os brises elevaram o desconforto para o frio devido ao provável sombreamento das aletas nos planos envidraçados no inverno. Embora tenha sido elevado o desconforto para o frio, a diferença no percentual de horas em conforto térmico comparando a edificação atual com a edificação com brises, apresentou pouca variação ao longo do ano.

Ademais, a zona bioclimática 02 é marcada pelo inverno e verão igualmente rigorosos, que caracterizam obstáculos para a implantação de medidas passivas para o conforto térmico em ambos os períodos do ano.

A elevação da densidade de carga interna (DCI) de equipamentos e a diminuição da área por posto de trabalho, de acordo com os parâmetros da NBR 16401-1, apresentaram um aumento no percentual de horas de desconforto para o calor e diminuição do desconforto para o frio em ambas as tipologias estudadas. Em relação ao desempenho do sistema de brises implantado em uma edificação com alta DCI, este apresentou resultados positivos como a diminuição do desconforto para o calor e o aumento do percentual das horas em conforto térmico.

Apesar disso, a edificação em nenhuma das hipóteses estudadas apresentou o percentual mínimo aceitável de 80% das horas ocupadas em conforto térmico. Dessa forma, para obter um bom desempenho termoenergético nesse processo de retrofit, outras estratégias bioclimáticas deveriam ser estudadas e inseridas no projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR. 16401-1**: Instalações de ar condicionado–sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das Instalações. Primeira Edição. Rio de Janeiro, 2008.

Analysis SOL-AR. LABEEE,UFSC. Disponível em: < http://www.labeee.ufsc.br/ downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: 9 abr. 2016.

ASHRAE, A. N. S. I. Standard 55-2004, **Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering**, Atlanta, GA, 2004.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 outubro 2001. Seção 1, p. 1, v. 138, n. 200.

FRACALOSSI, IGOR. **Clássicos da Arquitetura: Ministério de Educação e Saúde / Lucio Costa e equipe**. ArchDaily Brasil, ago, 2013. Disponível em: < http:// www.archdaily. com.br/br/01-134992/classicos-da-arquitetura-ministerio-de-educacao-e-saude-slash-lucio-costa-e-equipe>. Acesso em: 9 abr. 2016.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Manual de Aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade - RTQ-C**. Eletrobrás, 2010.

KNOP, S. **Comportamento termo energético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura**. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas (Dissertação de Mestrado), Pelotas-RS, 2012, 142p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura.** 3ª Edição, 2013.

MARAGNO, G. V. **Eficiência e Forma do Brise-Soleil na Arquitetura de Campo Grande - MS.** Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Dissertação de Mestrado), Porto Alegre-RS, 2000, 203p.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS R.; NETO, J. A. B. C. N. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.47-68, out./dez. 2005.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

EDIFÍCIO COMERCIAL: USO DE PROTEÇÃO SOLAR NA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO E REFRIGERAÇÃO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO[1]

QUEIROZ, Juliana (1); THIEME, Camila (2)

(1) UNIFOR, e-mail: queirozhfjuliana@gmail.com; (2) UNIFOR, e-mail: camila.thieme@gmail.com

RESUMO

Este estudo visa analisar a eficiência energética - iluminação natural e conforto térmico - de uma sala comercial em um edifício empresarial em Fortaleza-CE onde foi acrescentado um elemento de controle solar, de forma que, além de não prejudicar o resultado estético da fachada, obtivéssemos um melhor desemprenho. Foram realizadas simulações computacionais comparando a mesma sala com e sem proteção solar através do brises-soleil. As simulações computacionais foram produzidas nos programas Solar Tool 2.0, Autodesk Ecotect Analysis 2011 e Comfen5. No programa Solar Tool 2.0 foram testados alguns tipos de proteção solar para a escolha do melhor resultado no quesito térmico e estético. Definido o modelo do brise-soleil, a sala foi modelada no programa Autodesk Ecotect Analysis 2011 com e sem a proteção solar, e, através do plugin Radiance 2.0 beta, foram obtidos os resultados da qualidade de iluminação natural interna à sala. Posteriormente, com o programa Comfen5, foi analisado o conforto térmico interno em ambas as salas. Os resultados obtidos indicaram que a iluminação natural não é eficiente em ambos os casos, necessitando de iluminação artificial para o trabalho necessário. Porém, para o quesito de conforto térmico, a sala com brise-soleil tem uma redução de energia elétrica de 33% para resfriamento e de 27% para ventilação.

Palavras-chave: Iluminação natural. Conforto térmico. Brise-solei.

ABSTRACT

This study aim to analyze the energy efficiency - the natural lighting and thermal comfort - of a commercial room in a business building located in Fortaleza – Ceará - Brasil, which was added of a solar control element, so that does not harmed the aesthetic result of the facade, and does not compromised, as well, the thermal performance. [.1] Were made computer simulations comparing the same room with and without sun protection through the Brise-soleil [.2] The computer simulations were produced in the Solar Tool 2.0 software, Autodesk Ecotect Analysis 2011 and Comfen5. Using the Solar Tool 2.0, some types of sunscreen were tested to find the best result in thermal and aesthetic aspect. After the definition of the use of the brise-soleil model, the room was modeled in Autodesk Ecotect Analysis 2011, with and without sun protection, and through the Radiance 2.0 beta plugin, we obtained the results of the internal quality of natural light to the room. Later, with the Comfen5 program, we analyzed the internal thermal comfort in both rooms. The results indicated that natural lighting is not efficient in both cases, requiring artificial lighting for an

[1] QUEIROZ, Juliana; THIEME, Camila. Edifício comercial: uso de proteção solar na avaliação da iluminação e refrigeração através de simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

equalized lighting. However, when we analyze the query of thermal comfort, the room with brise-soleil has a power reduction of 33% for cooling and 27% for ventilation [.3]

Keywords: *Lighting natura. Thermal comfort. Brise-solei.*

1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural, sempre fez parte das construções, independente da época e clima, sendo proposta conforme o contexto histórico ao longo dos tempos. Nos dias que correm diante das preocupações climáticas mundiais, há uma necessidade urgente da redução do consumo energético, assim busca-se soluções de otimização da luz natural e economia em refrigeração.

Com base no Balanço Energético Nacional - BEN, no ano de 2014, o setor de serviços aparece responsável por 4,7% do uso total da energia no Brasil, atrás apenas do setor agropecuário. Quando comparando com os resultados do ano de 2013, o setor de serviço foi o que sofreu aumento, de 5,6% anual.

Em relação aos gastos energéticos, os dados do BEN possibilitam uma crítica construtiva em relação à qualidade das edificações, voltadas para o setor de serviços. Essas construções sendo muitas vezes, com vedações em vidro, sem preocupações em diminuir a incidência solar interna no ambiente.

O aproveitamento da luz natural pode proporcionar bem estar aos usuários do ambiente, contribuindo para um melhor conforto visual e térmico do ambiente, consequentemente uma melhor produtividade em ambientes de trabalho. De acordo com Silva, 2007 a luz natural além de reduzir o consumo de energia elétrica e proporcionar um maior conforto térmico, evita problemas de ofuscamento e contrastes, fornecendo níveis de iluminância mais favoráveis que a iluminação natural.

No contexto arquitetônico os elementos podem ser classificados em componentes de condução e componentes de passagem de acordo com Serra & Coch (1995 apud Silva, 2007, p.22). Os componentes de condução têm como finalidade conduzir a luz natural do ambiente externo para o interno, como por exemplo, na circulação central de galerias com iluminação natural. Os componentes de passagem são elementos que proporcionam a passagem da luz natural de um ambiente a outro. Podemos citar como exemplo, a janela, as superfícies transparentes ou translúcidas, que fecham totalmente ou não um ambiente, os sheds. Pode ser adicionados a esses componentes os elementos de controle, tendo como finalidade equilibrar a radiação solar, luz e calor, mantendo a visão para o exterior e em alguns casos a ventilação natural.

Para o melhor aproveitamento da iluminação, referente aos componentes de passagem, situação em estudo neste artigo, são mencionados por Frota (2004 apud Silva, 2007, p.23) alguns tipos de elementos de controle solar: brise-soleil vertical, brise-soleil horizontal, brise-soleil de composição de placas verticais e horizontais (mistos), varanda, marquise, sacada, telas especiais, toldos, cortinas, persianas, elementos vazados e pérgulas. Dans (1967 apud Silva, 2007, p.23), em sua classificação apresenta também o vidro de controle solar e a vegetação.

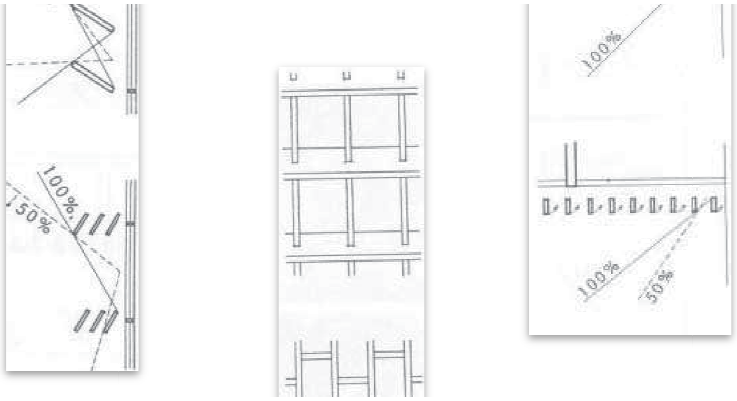
Esses elementos de controle podem ser posicionados no exterior ou no interior dos edifícios. No caso dos externos, a radiação solar é impossibilitada de penetrar completamente no ambiente interior, ficando somente uma parcela de calor recebida no ambiente. Já os posicionados internamente, quando o componente de passagem é o vidro, a radiação solar é absorvida e em seguida é direcionada ao elemento de controle, na qual uma parcela é absorvida e outra refletida. Essa parcela de radiação absorvida se converte em calor ficando quase em sua totalidade no ambiente, como coloca Serra & Coch (1995 apud Silva, 2007, p.22).

Os brise-soleils, elementos de controle utilizado no artigo para análise, apresentam-se como os mais eficientes, visto que barram o calor antes que ele penetre no ambiente. Este dispositivo apresenta o mais elevado percentual de redução de ganho solar entre os sistemas de controle solar em uso, variando de 75 a 90% quando aplicado sobre vidro simples transparente de 5 mm (MARAGNO, 2001).

Esse elemento também tem importante recurso para a avaliação dos ganhos de calor, com finalidade de controlar e diminuir a incidência do sol sobre uma construção, dessa forma podendo reduzir o consumo nos sistemas de iluminação e de ar-condicionado e, portanto, conservar a energia. Para Baker (1998 apud Labaki e Gutierrez, 2005, p. 876), "o brise-soleil atua como um filtro, criando uma película permeável ao redor do edifício que permite a penetração no espaço interno e suaviza o impacto da forma (...)". Olgyay e Olgyay (1957 apud Silva, 2007, p.24) também são mencionados que a forma obtida com o brise-soleil agrega a construção arquitetônica um maior apelo plástico.

Com a sua propagação, o brise-soleil ou também denominados de quebra-sol, obteve vários formatos e combinações, apresentando algumas classificações. Uma delas diz respeito à posição que ocupa nas fachadas, que, segundo Olgyay e Olgyay (1957 apud Silva, 2007, p.26), apresenta três tipos: horizontais, verticais e combinados. Os brises combinados são denominados por Bittencourt e Frota (2000 e 2004 apud Silva, 2007, p.26) de brises mistos e de composição de placas horizontais e verticais, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 - Brise horizontal (corte) - brise vertical (planta baixa) - brise misto (elevação)



Fonte: Silva (2007)

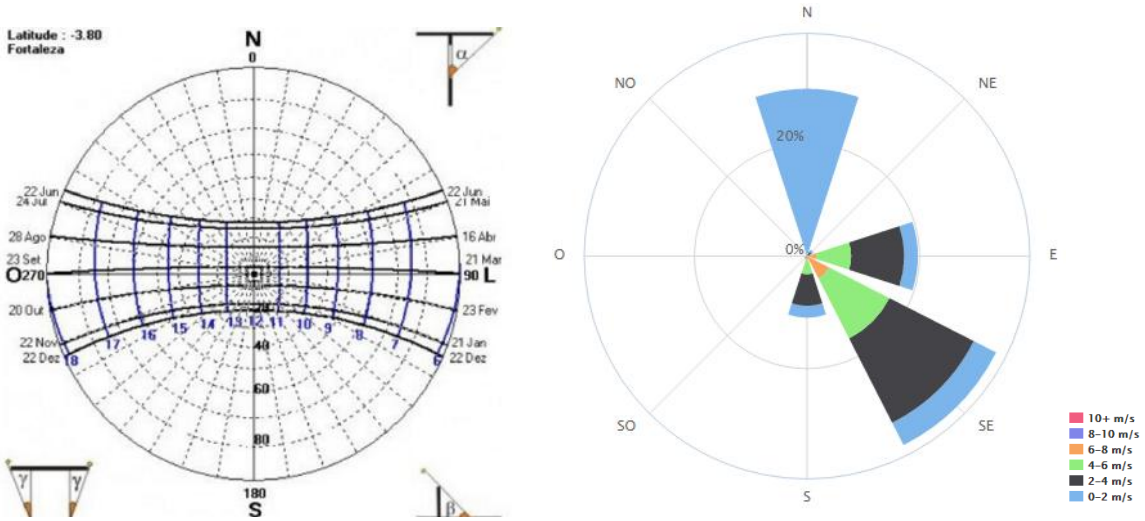
Outra classificação que obtiveram os brise-soleils foi quanto à mobilidade, que se apresentam como fixos ou móveis. Segundo Rivero (1986 apud Silva, 2007, p.26), os fixos são colocados rigidamente à construção, sem a possibilidade de regulagem, portanto sua eficiência depende exclusivamente de única dimensão e posição, estendendo a mesma influência durante todo o ano. Os brises móveis permitem maior possibilidade de regulagem, de acordo com a necessidade de controle solar e sua posição podendo variar, consequentemente, apresentam alto custo de manutenção comparado aos fixos.

O projeto da edificação quando planejando desde início, decisões adequadas às condições climáticas locais, para capturar a radiação solar e obstruir ou usar de forma otimizada pode conseguir resultados sustentáveis.

Fortaleza-CE, cidade do estudo de caso, encontra na latitude de -3.80 e longitude -38.5, sendo assim é perceptível que o caminho do sol é praticamente central, variando entre o norte e o sul de forma quase que equidistantes (Figura 2).

Dessa maneira localizada nas regiões intertropicais, na zona tropical com clima tropical/quente-úmido, com temperatura que varia de 20°C à 31°C e a umidade relativa é quase sempre maior que 50%. Tendo ventos predominantes leste e sudeste com velocidade média 80 km/h denominados alísios (Figura 2). Os mesmos saem da zona tropical (pressão alta) para linha equatorial (pressão baixa).

Figura 2 - Carta solar e rosa dos ventos de Fortaleza – CE, respectivamente.



Fonte: www.projeteee.ufsc.br.

A iluminação natural quando corretamente utilizada oferece melhores condições ambientais em espaços internos e externos reduz o consumo energético, dentre outros benefícios. Neste contexto, neste artigo analisou-se a eficiência energética de um ambiente construído sem e com um sistema convencional brise-soleil, na cidade de Fortaleza - CE.

2 METODOLOGIA

Para a realização do estudo foi escolhido uma sala em uma torre comercial que obtivesse em uma das fachadas vedação em pele de vidro e que fosse possível acrescentar uma proteção solar. O motivo da escolha da sala se deu pelo fácil acesso ao projeto do edifício e por ser, entre as salas dessa torre, a com maior incidência solar. Após a escolha do ambiente construído foi lançado ao Solar Tool 2.0 para definição do tipo de proteção solar para poder realizar as simulações de iluminação natural, no Ecotect Analysis, e de resfriamento e ventilação, no Comfen5.

2.1 Seleção da sala

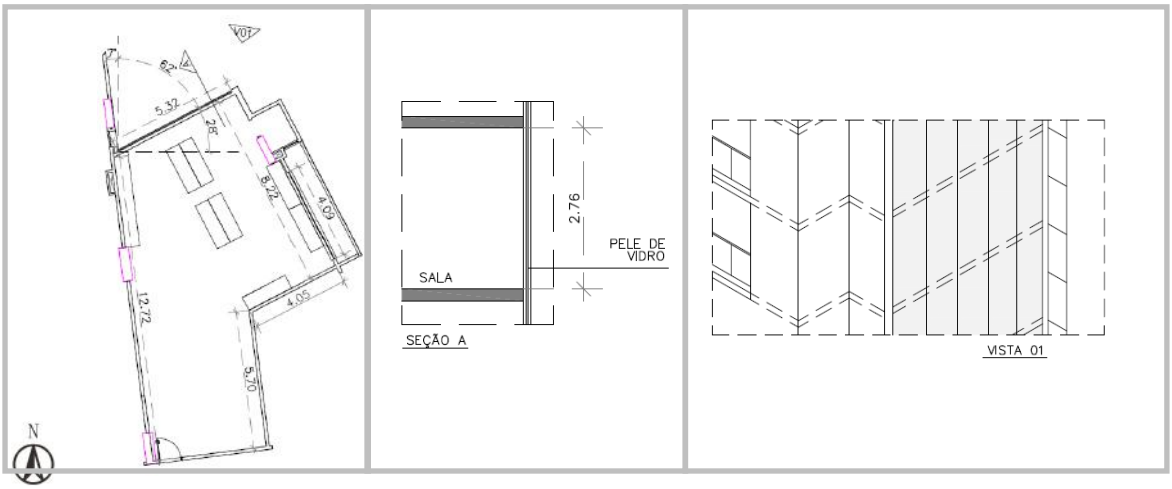
O edifício comercial escolhido se localiza na cidade de Fortaleza – CE. O lote da edificação encontra-se de esquina, o edifício possui no pavimento térreo lojas e até 4º pavimento encontra-se ao fundo do lote as vagas para veículos e na frente do lote estão laboratórios e outras lojas. Do quinto pavimento até o 12º estão às salas comercias. Todas as salas que se encontra na frente do lote estão com vidro em todo o pé-direito livre – formando uma cortina de vidro. Nas laterais e fundos do lote as salas estão com uma sacada de 1.05 de largura que são usadas para equipamentos de refrigeração.

A sala selecionada localiza-se no encontro da frente do lote com a lateral, dessa forma, possui duas aberturas com vedação em vidro. A abertura - considerada em estudo – da frente do lote -, com orientação noroeste (62º do norte), não possui proteção solar, somente uma alvenaria ao lado

esquerdo que percorre toda a torre concebida por valores estéticos ao projeto, mas que não há grande contribuição em relação à insolação. Essa abertura é de piso à viga – conforme pode-se conferir no corte esquemático na Figura 3 – sendo vedado com vidro claro.

O fator de estudo refere-se à sala conforme o projeto original – sem proteção solar – e a mesma sala com uma proteção solar através de brises na abertura noroeste.

Figura 3 – Planta baixa e corte esquemático da sala analisada



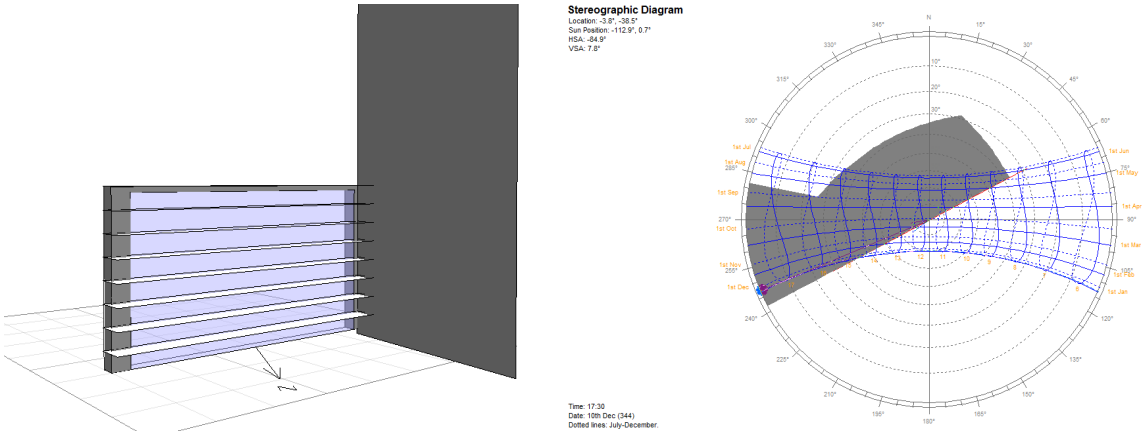
Fonte: Projeto desenhado pelo autor (2014)

2.2 Estudo de Proteção solar com elemento de controle – Brise Soleil (SolarTool)

Foram feitos testes de soluções para proteção solar por simulação no software Solar Tool 2.0 para esboço inicial, tendo como base o sombreamento total – sem incidência solar na esquadria em questão - das 09h às 15h durante todo o ano. Delimita-se este intervalo de horas do dia por ter os ângulos de maior incidência – ângulos do sol em relação ao plano vertical que tem maio penetração no ambiente construído.

Das soluções testadas, duas foram consideradas viáveis por terem apresentado bons resultados em sombreamento e proteção solar internamente à sala. Na primeira solução constam duas grandes marquises horizontais de (6,50m x 1,20m) separadas igualmente no vão do pé-direito da fachada. Na segunda solução consta oito brises horizontais estreitos (5,70m x 0,50m) também divididos permeando igualmente toda a fachada da abertura analisada (Figura 4). Esta última sendo a solução selecionada para prosseguir com o estudo.

Figura 4 – Perspectiva e carta solar da janela com solução brise

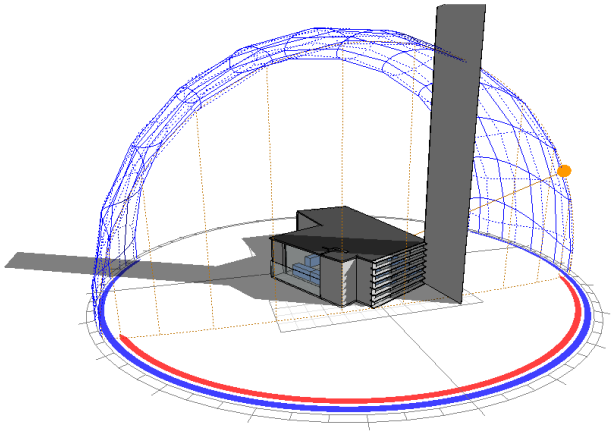


Fonte: Projeto desenhado pelo autor no Solar Tool 2.0 (2014)

2.3 Estudo de iluminação natural

Após a escolha da solução mais adequada, a sala foi modelada em 3D no programa Sketchup e importada para o programa Ecotect Analysis (Figura 5). O modelo 3D foi desenvolvido com a proteção solar (brises) de forma que pudesse ser inserido ou retirado das simulações para obtermos os resultados nas duas situações.

Figura 5 – Perspectiva sala com brise no Ecotect Analysis



Fonte: Projeto desenhado pelo autor no Solar Tool 2.0 (2014)

Foi representado em modelo 3D, também, um layout interno para analisarmos a iluminação no local de trabalho proposto. No programa Ecotect os revestimentos foram considerados da seguinte forma, com suas respectivas unidades de absortância: as paredes em pintura branca (0,276AU), o teto em concreto (0,728AU), o piso em cerâmica branca (0,276AU), a porta em madeira (0,682AU) e nos móveis fórmica azul (0,413AU). Nas janelas vidro claro 4mm com transparência de 86% sem absortância solar.

O estudo comparativo foi realizado no dia 21 de julho no horário de 12h. A escolha da data e horário foi dada dentre as medições padrão (09h, 12h e

15h do solstício de verão e inverno, e equinócio de primavera e outono) a situação que fosse considerada como pior. Neste dia o sol está mais ao norte e às 12h pois às 15h a esquadria já passa à ser protegida pelo volume vertical ao oeste.

Através do plugin Radiance 2.0 beta foram geradas dois tipos de imagens para representar o nível de iluminância no interior da sala. Em uma, a luz é representada na cor branca e conforme diminui a iluminância se aproxima da cor preta. E na outra imagem é representada através do tipo configuração do software denominado de "false-colour" em que a cor vermelha representa a maior iluminância e a cor azul escuro menor.

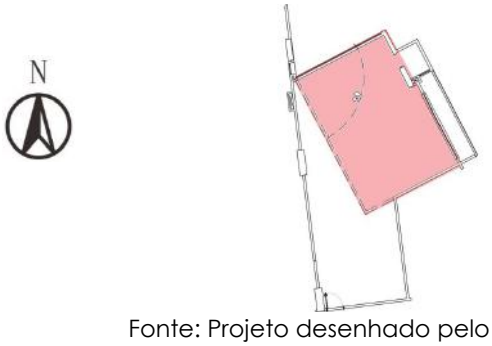
2.4 Estudo do consumo de ar-condicionado

Para análise da eficiência energética nos mecanismos de ventilação e resfriamento (ar-condicionado) foi utilizado o software Comfen5.

Para conseguir realizar o estudo, houve a necessidade de delimitar um formato retangular a partir da sala original, levando em consideração as limitações do software, conforme está representado na Figura 6. Esta limitação de espaço não terá impacto em relação ao estudo no item iluminação natural, pois a área que está sendo considerada é a zona de trabalho, em que essa se encontra dentro da área delimitada no consumo de ar-condicionado.

Em ambas as salas na simulação foram considerações os materiais: concreto com 10 cm de espessura para parede da fachada e vidro claro de 4 mm para a abertura.

Figura 6 – Área considerada para estudo Comfen5



Fonte: Projeto desenhado pelo autor (2014)

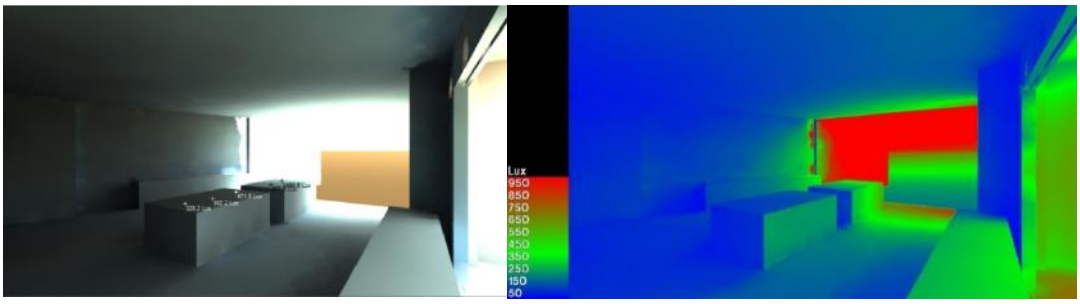
3 DISCUSSÕES

3.1 Iluminação natural

Com as imagens geradas pela simulação, é possível perceber que na sala sem a proteção solar (Figura 7) a iluminância que se tem próximo da abertura é muito alta. De acordo com dados do programa essa claridade na área de trabalho (em cima da mesa logo após a janela) chega a 1400lux. Mas ao penetrar na sala, logo essa quantidade de lux tem uma

decaída, ficando em torno de 400lux e 300lux. De acordo com a NBR 8995_1, a quantidade de lux, dependendo do trabalho realizado, pode incomodar e até mesmo causar ofuscamento.

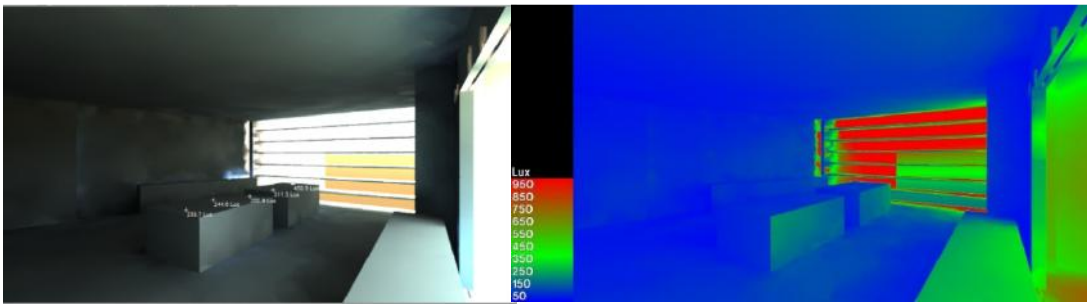
Figura 7 - 3D de iluminância da sala na situação original



Fonte: Radiance (2014)

No caso com proteção solar (Figura 8) percebe-se que a claridade na proximidade da abertura diminui consideravelmente em relação a sala original, chegando a 450lux, mas ao penetrar na sala a que da iluminância não é tão se mantém muito próximo à sala sem proteção solar, o que não viria a impactar na qualidade de iluminação natural interna à sala. De acordo com dados obtidos no programa, permanecendo entre 300lux a 200lux.

Figura 8 - 3D de iluminância da sala com brises

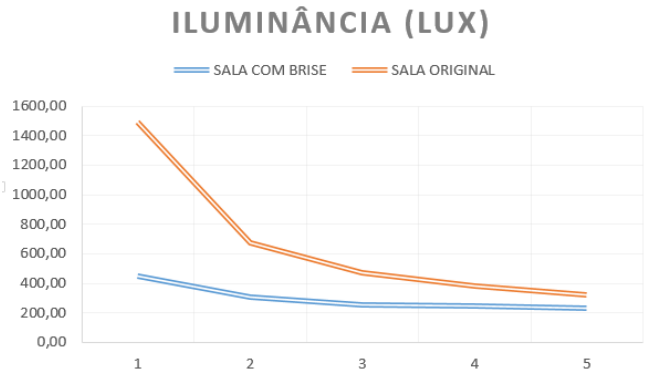


Fonte: Radiance 2.0 beta (2014)

A maior diferença entre as salas se dá próximo à janela (Figura 9) pois às 12h o sol não tem inclinação suficiente para que a luz adentre o ambiente. Como a sala tem orientação noroeste, mas há uma barreira na lateral oeste da sala, mesmo nos horários da tarde durante quase todo o ano, o sol não terá inclinação para incidir de forma mais profunda na sala.

Na figura 9 os dados de iluminância foram baseados nos cincos pontos marcados conforme se encontram na imagem acima com altura de medição, em relação ao chão, de 75cm (área de trabalho).

Figura 9 – Comparação iluminância entre as salas



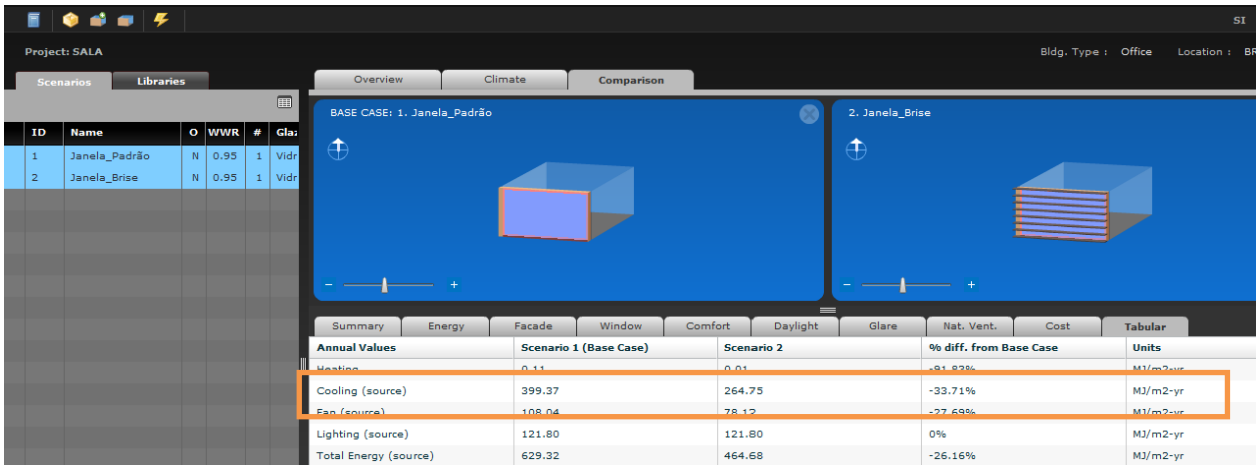
Fonte: Gráfico gerado com dados obtidos no Ecotec

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: interior, a iluminação própria para ambientes de escritório de trabalho é de 500lux. Com isso, em ambos os casos a iluminância na área de trabalho não é suficiente para realizar a atividade, fazendo-se necessário a utilização de luz artificial para suprir e manter a iluminação em níveis mínimos e adequados.

3.2 Consumo de energia

Os resultados do consumo de energia artificial estão representados na Figura 10. Na imagem, o retângulo de cor laranja está demarcando os resultados à serem levados em consideração para o estudo: ventilação (fan) e de resfriamento (cooling). Os dados

Figura 10 – Resultado sala original e sala com brise para fan e cooling

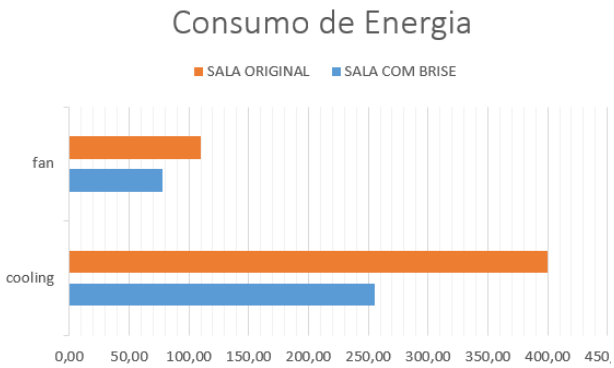


Fonte: Comfen5 (2014)

No Senário 1 estão os resultados referentes à sala sem a proteção solar e no Senário 2 à sala com proteção solar. O consumo de refrigeração (cooling) e de ventilação (fan), respectivamente, no Senário 1 é de 399,37MJ/m²-yr e de 108,04MJ/m²-yr. Enquanto no Senário 2 é de 264,75MJ/m²-yr e de 78,12MJ/m²-yr. Na coluna seguinte, o software representa a redução de

cada equipamento em porcentagem. A redução do uso de equipamentos artificiais para manter o conforto térmico interno às salas foi de 33% para resfriamento e 27% para ventilação. Na figura 11 podemos ver claramente a redução no consumo energético de cada equipamento ao ser comparado ambas as salas.

Figura 11 – Gráfico comparativo do consumo de ar-condicionado



Fonte: Gráfico gerado com dados obtidos no Comfen5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando ponderadas as análises comparativas chegou-se a conclusão que a utilização dos brises como proteção solar foi eficiente.

Ao analisar a iluminação natural, nota-se que os brises reduzem a incidência direta na proximidade da janela, mas sem diminuir tanto ao comparar o nível de iluminação interna. Percebe-se ainda que em ambos os casos a luminância interna do ambiente construído não é considerada suficiente para a realização do trabalho de um escritório padrão. Desta forma, o uso da iluminação artificial é indispensável em ambos os casos, tornando nulo na diminuição do uso da energia elétrica. Considera-se então que o desempenho da abertura com brises não foi prejudicado para o devido fim proposto. Este pode evitar iluminação direta indesejada.

Ao analisar o uso de ar-condicionado, conseguimos obter resultados significativos em relação ao custo de energia. A redução de 33% e de 27% no resfriamento e ventilação, respectivamente, é um resultado positivo para a redução do uso de ar-condicionado durante o dia, ou seja, o consumo de energia elétrica.

Não sendo prejudicado, consideravelmente, a iluminação natural e reduzindo a diferença da temperatura interna da sala, diminuindo proporcionalmente, o uso de condicionamento de ar, o acréscimo dos brises na fachada da sala em estudo foi eficiente para a finalidade proposta.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO/CIE-8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho- Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

BEN Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de janeiro EPE, 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2016.

LABAKI, C. L.; GUTIERREZ, G. C. R. **Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira.** ENCAC – ELACAC 2005. Maceió, AL, 2005. Disponível em: < http://www.arq.ufmg.br/labcon/arquivos/ENCAC05_0874_881.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2016.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Eficiencia e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande.** In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ENCAC, 2001.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª. Ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986.

SILVA, Joene Saibrosa da. **Estratégias para luz natural: sistemas convencionais e brise-soleil como elemento de controle.** Periodico n3: Paranóa – Cadernos de Arquitetura e urbanismo, Universisidade de Brasília, Brasília, 2014.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONTÊINER[1]

RANCURA, Raquel Leticia (1); ALVES, Vinicios Mendonça (2)

(1) METROCAMP-DEVRY BRASIL, e-mail: rrancura@metrocamp.edu.br; (2) METROCAMP-DEVRAY BRASIL, e-mail: vma@outlook.com.br.

RESUMO

Em busca de renovação, economia e sustentabilidade, os contêineres, utilizados costumeiramente para transporte de carga marítima, vêm sendo aproveitados como almoxarifados, alojamentos e, aos poucos, introduzidos em projetos residenciais em meio à busca de eficiência energética, redução de custos e desperdícios, visando construções mais rápidas e sustentáveis. Dentro deste contexto, foi o objetivo deste trabalho de conclusão de curso verificar se a real diferença de temperatura interna comparada à externa de uma edificação feita a partir de contêineres atende ao índice mínimo de conforto térmico, publicado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma Brasileira (NBR) 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho. A metodologia teve como base medições de temperatura coletadas em uma semana de verão com auxílio de conjuntos *Data Loggers*. Os conjuntos foram posicionados no interior de duas salas e no exterior de uma edificação de contêiner previamente conhecida. Nos dias avaliados, as salas apresentaram temperatura interna superior à externa, com diferença média de 8°C. Embora as salas estudadas não tenham atendido à norma todos os dias, o uso de contêineres foi avaliado como viável, desde que outros requisitos sejam aplicados. Conhecer e melhorar o desempenho térmico de edificações que reutilizam contêineres pode incentivar seu uso como sistema construtivo.

Palavras-chave: Contêiner. Desempenho térmico. Conforto.

ABSTRACT

In search of renewal, economy and sustainability containers customarily used for maritime cargo transport, have been utilized as storerooms, living quarters and gradually introduced in residential projects to pursuit of energy efficiency, reduce costs and waste, aiming at more rapid and sustainable buildings. In this context, to verify if the actual internal temperature difference compared to outside meets the minimum ratio of thermal comfort published by the Brazilian Association Standards Techniques (ABNT) in the Brazilian Standard (NBR) 15575: 2013 - Building Housing - Performance, was the objective of this term paper. The methodology was based on humidity and temperature measurements collected on a summer week with sets Data Loggers. The sets were placed inside two rooms in and outside of a previously known container building. In the days evaluated the rooms had temperature higher than the outside, with a mean difference of 8 °C. Although the study rooms have not met the standard every day, the use of containers was assessed as feasible as long as other requirements are applied. To know and improve the thermal performance of building reusing containers can encourage its use as a building system.

[1] RANCURA, Raquel Leticia; ALVES, Vinicios Mendonça. Avaliação de desempenho térmico de edificações em contêiner. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Container. Thermal performance. Confort.*

1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira tem investido em estudos e pesquisa científica, para trazer uma modernização do setor que ainda tem gerado muitos resíduos de construção civil (RCC) e resíduos de construção e demolição (RCD). Estes altos índices de desperdício diferem de países considerados de primeiro mundo, onde a maioria das edificações é construída com materiais ecológicos, dispensando ou diminuindo o uso dos materiais comuns como areia, brita, ferro e cimento. Segundo Milaneze et al. (2012, pág. 2), os contêiners são produzidos a partir de materiais metálicos e não biodegradáveis para o condicionamento e transporte de cargas, mas, após dez anos de uso são dispensados formando uma montanha de lixo no contexto urbano das cidades portuárias.

Moura (2014) e Milaneze et al. (2012) afirmam que melhorias e adaptações precisam ser feitas para a utilização de contêineres para fins habitacionais, entre elas, verificar se todos os requisitos do projeto e a real diferença de temperatura interna comparada com a externa atendem ao índice mínimo de conforto, devido ao desempenho térmico do contêiner, publicado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 15575:2013. Tal necessidade de verificação de temperatura também é afirmada por Buges et al. (2014), que, além de corroborar o conhecimento sobre os benefícios do uso de contêineres na construção civil, devido à sua boa capacidade estrutural, resistência a diversas intempéries – como chuva e fogo, entre outros – não deixa de expor a necessidade de uma análise de desempenho energético dos contêineres para fins residenciais.

O intuito deste trabalho foi contribuir com essas novas questões, a fim de se avançar no conhecimento desse sistema construtivo, que pode ser considerado "novo" no Brasil, se comparado com outros países. Tal qual já afirmado por Paula e Tibúrcio (2012), o uso de contêineres na construção civil já é prática consolidada na Holanda e no Japão.

Os ambientes internos analisados não atenderam, todos os dias, o mínimo de desempenho estabelecido pela NBR 15575:2013, provavelmente por não ter ocorrido troca de ar durante o período das medições, pois as aberturas se mantiveram fechadas. Contudo, foi considerado viável o uso do contêiner.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 Contêineres na construção civil

Aguirre et al (2008) verificou a possibilidade de se usar contêineres na Habitação de Interesse Social (HIS), como alternativa para sanar o sério problema habitacional de países em desenvolvimento. Percebeu que a HIS projetada a partir do uso de contêineres é apropriada desde que a sustentabilidade e a adequação bioclimática sejam pensadas desde a concepção do projeto. A possibilidade de substituir casas de alvenaria por

contêineres na HIS também foi pesquisada por Lima e Silva (2016), cujo trabalho avaliou os aspectos técnico, financeiro, geográfico, temporal e jurídico. Dentro da questão "geográfica", o fator determinante é a adaptação do contêiner ao clima, aproveitando condições locais e minimizando fatores naturais com isolamento.

Uma das dúvidas mais comuns na utilização de contêineres como sistema construtivo diz respeito ao seu desempenho térmico, que pode influenciar no desempenho energético. Guedes e Buoro (2015), para atestar a sua viabilidade em termos de eficiência térmica e energética, desenvolveram um projeto que foi simulado no software Domus Eletrobras e constataram que o aproveitamento de contêineres na construção civil é viável, desde que com a combinação adequada de materiais à sua envoltória (isolantes), alcançando grande capacidade de isolamento térmico e acústico.

Carbonari e Barth (2016) confirmam que o maior desafio na utilização e construções com contêineres é assegurar o conforto térmico. Em seu estudo, constataram que existe uma crescente utilização de contêineres em prédios comerciais no sul do Brasil, entretanto as principais dificuldades técnicas e construtivas estão relacionadas à falta de conhecimento das adequações necessárias dos contêineres, principalmente na escolha de materiais eficazes para melhorar a temperatura interna.

Sobre a utilização de contêineres em canteiros de obras, na substituição do tradicional depósito de materiais, Costa e Prado (2014) fizeram avaliação de desempenho, conforto térmico e IBUTG de contêineres metálicos para canteiro de obras. O contêiner metálico se difere do contêiner marítimo, que foi o objeto de todos os estudos aqui citados anteriormente, na composição e espessura das paredes. O contêiner marítimo é confeccionado em aço *corten* na espessura de 1,3 mm e o contêiner metálico é confeccionado em aço galvanizado na espessura de 0,65 mm. O estudo feito com contêiner metálico também demonstrou que sua envoltória sem tratamento térmico não é eficiente nos itens acima propostos.

2.2 NBR 15575:2013 – "Edificações habitacionais – Desempenho"

A NBR 15575:2013 define níveis mínimos de desempenho, que, obrigatoriamente, devem constar nas novas edificações. Ela se divide em requisitos gerais, sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidros-sanitários. Ela faz exigências mínimas construtivas, com soluções técnicas adequadas e economicamente viáveis. A NBR 15575:2013 não visa condicionamento artificial, garantindo, assim, eficiência energética e sustentabilidade. As formas de avaliação de desempenho da NBR 15575:2013 comportam ensaios para análise de diversas envoltórias, por meios computacionais, através de software, ou avaliação *in loco*. A importância da normatização, suas diretrizes e a observação da mesma nos projetos para obtenção de um melhor desempenho é citado por Bogo (2008, pág. 1):

> O desenvolvimento da normalização de produtos em geral colabora para a melhoria da qualidade dos mesmos, com a uniformização de processos de fabricação e de avaliação, possibilitando melhorias destinadas ao consumidor final. Isto vale também para as edificações, seus materiais e sistemas construtivos, como já existente em diferentes áreas da construção civil, como é o caso da normalização sobre desempenho térmico de edificações.

Os critérios definidos para a diferença de temperatura mínima satisfatória para os dias quentes e sua classificação de desempenho térmico contam podem ser observados nas tabelas das Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Critério para classificação de desempenho térmico para o verão.

Nível de desempenho	**Critério**	
	Zona 1-7	**Zona 8**
Mínimo	Ti, máx. ≤ Te, máx.	Ti, máx. ≤ Te, máx.
Intermediário	Ti, máx. ≤ (Te, máx. - 2ºC)	Ti, máx. ≤ (Te, máx. - 1ºC)
Superior	Ti, máx. ≤ (Te, máx. - 4ºC)	Ti, máx. ≤ (Te, máx. - 2ºC) e Ti, mín. ≤ (Te, mín. +1ºC)
Legenda	Ti, máx. É o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em ºC.	
	Te, máx. É o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em ºC.	
	Ti, mín. É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em ºC.	
	Te, mín. É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em ºC.	

Fonte: NBR15575 (2013).

Tabela 2: Critério para classificação de desempenho térmico no inverno.

Nível de desempenho	**Critério**
	Zona 1-5
Mínimo	Ti, mín. ≥ (Te, mín. +3ºC)
Intermediário	Ti, mín. ≥ (Te, mín. +5ºC)
Superior	Ti, mín. ≥ (Te, mín. +7ºC)
* As Zonas 6-8 não possuem critério.	

Fonte: NBR15575 (2013).

3 METODOLOGIA

3.1 Delimitação do Campo de Pesquisa

A pesquisa deste trabalho aconteceu na cidade de Indaiatuba/SP. A escolha da cidade se deve ao fato de ter ela ser sede de uma construção feita a partir de contêineres, objeto deste estudo. Outras cidades foram consultadas, mas Indaiatuba foi também escolhida pela sua proximidade em relação à faculdade Metrocamp – Devry (Brasil) de Campinas/SP, considerada a dificuldade de deslocamento dos equipamentos cedidos para a pesquisa. A cidade de Indaiatuba está localizada no interior do Estado de São Paulo, distante aproximadamente 110 km da capital, sob as seguintes coordenadas geográficas: latitude 23°05'25" sul, longitude 47°13'05" oeste e altitude de 624 metros.

O clima é tropical de altitude, com temperatura média anual de 22°C, de inverno seco e verão chuvoso. A média anual do índice pluviométrico está entre 1.110 - 1.300 mm; 30 mm no mês mais seco e 300 mm no mês mais chuvoso.

3.2 Caracterização do Ambiente de Pesquisa

O prédio em questão é o de uma filial da construtora HCon Engenharia. Está localizada na Avenida Engenheiro Fabio Roberto Barnabé, 2.478 – Jd. Esplanada 2, como indica a Figura 1.

Figura 1: Localização da HCon Engenharia de Indaiatuba-SP

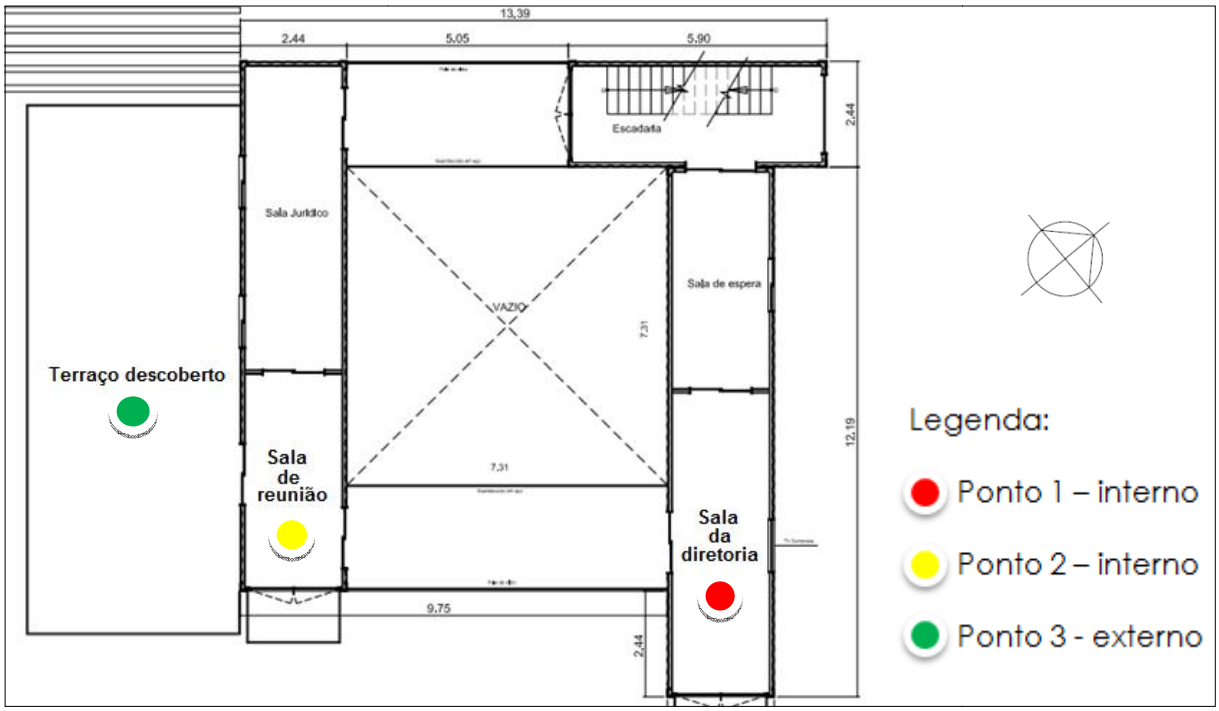


Fonte: Google Earth (2016).

3.2.1 Escolha dos Pontos de Medição

Três ambientes foram escolhidos para a coleta de dados, sendo duas salas internas e um jardim externo, conforme demarcação na Figura 2. O principal critério adotado na escolha das salas internas foi a climatização artificial. Como se trata de um prédio de atividade comercial, as únicas salas isentas de climatização eram a sala de reunião e a sala da diretoria. Outro critério foi o fluxo de pessoas, que poderiam acidentalmente esbarrar no equipamento, mudar sua locação ou mesmo interferir na temperatura. Este fluxo foi resumido somente à faxineira na semana das medições.

Figura 2: Planta baixa com locação dos pontos de medições



Fonte: Os autores

A sala da diretoria se caracteriza por um contêiner suspenso, fora da cobertura geral da edificação e possui fechamento de vidro em duas fachadas. As duas paredes de fechamento interno possuem isolante térmico, lã de rocha, cuja espessura não foi informada. O contêiner utilizado foi o de 40' e está sinalizado em vermelho nas Figuras 3 e 4.

Figura 3: Fachada lateral da sala da Diretoria



Fonte: Os autores

Figura 4: Fachada frontal da sala da diretoria



Fonte: Os autores

A sala de reunião apresenta os mesmos isolantes térmicos que a sala da diretoria, e está totalmente coberta e posicionada ao lado de um telhado verde, conforme as Figuras 5 e 6.

Figura 5: Fachada frontal da sala de reunião



Fonte: Os autores

Figura 6: Fachada lateral da sala de reunião



Fonte: Os autores

O terceiro ponto escolhido, o terraço descoberto (externo), que é um telhado verde, localizado ao lado da sala de reunião, proporciona fácil acesso para locação dos equipamentos e abertura suficiente para captação de temperatura, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7: Terraço descoberto



Fonte: Os autores

3.3 Equipamentos e Instrumentos de Medição

Foram utilizados na medição três registradores de temperatura da marca TESTO, conforme Figura 8, que pertencem ao Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade Metrocamp – Devry.

Figura 8: Equipamento para medição de temperatura e umidade da *Testo Data Loggers*



Fonte: Os autores

- 02 aparelhos são do modelo 175-H1, que possui dois canais

(temperatura e umidade relativa).

- 01aparelho do modelo 175-T2, com dois canais de temperatura.

Ambos são portáteis (medem aproximadamente 5 x 3 x 1,5 cm). Foram fixados em tripés para facilitar o posicionamento no ponto de coleta. O registrador externo foi montado em um abrigo meteorológico de pratos múltiplos.

Conectados a um computador através de cabo USB, foram configurados utilizando o software Confort Basic, da TESTO, com intervalo de medição de 10 em 10 minutos para uma melhor precisão da curva de temperatura.

A Figura 9 mostra os equipamentos posicionados nos pontos.

Figura 9: Equipamentos posicionados



Fonte: Os autores

3.4 Coleta dos Dados

As medições ocorreram em março de 2016, verão, durante os dias 08, 09, 10, 13 e 14, os dias 11 e 12 não foram considerados "dias típicos". Os Aparelhos ficaram posicionados coletando dados internos e externos. Dois aparelhos coletaram temperatura interna e o outro, temperatura e umidade externa, todas as coletas realizadas em um intervalo de dez em dez minutos. Os dados coletados pelos aparelhos foram descarregados pelo *Comsoft Soft Basic*, da TESTO.

3.5 Método de Análise

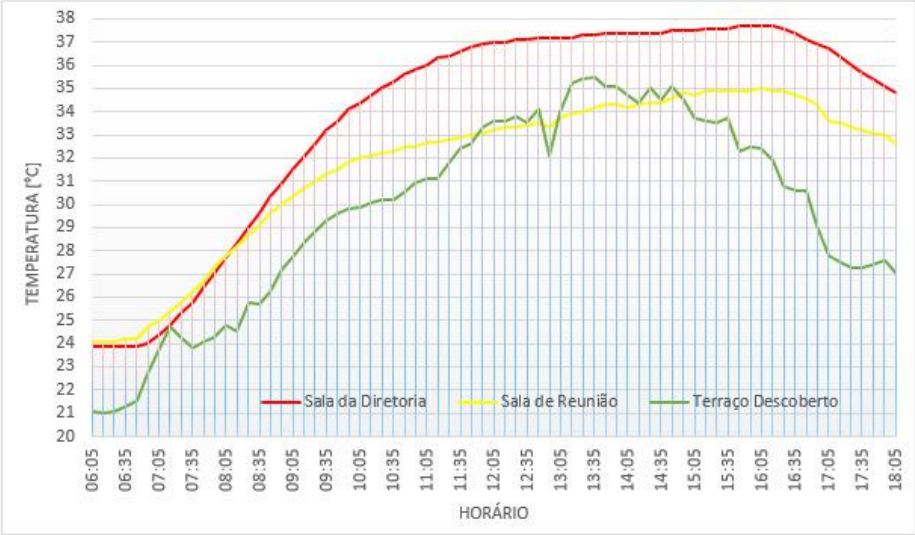
Devido à alta quantidade de dados registrados pelos termômetros, analisou-se os períodos mais críticos, quando houve maior incidência de calor, ou

seja, pela manhã e à tarde. Em seguida, foram elaborados gráficos com médias horárias e planilhas no Microsoft Excel para auxiliar a visualização da diferença de temperatura externa e interna. Depois, foram realizadas comparações das altas temperaturas diárias dos períodos analisados, verificando se atendem ou não o mínimo de desempenho descrito pela NBR 15575:2013, conforme Tabelas 1 e 2 apresentadas neste trabalho.

4 RESULTADOS

O que se pode perceber, pelo gráfico da Figura 10, é que no dia 8 de março de 2016 a temperatura externa se manteve abaixo das temperaturas internas durante quase todo o período avaliado, com amplitude térmica máxima de 8 °C, observada, por volta das 18h, entre o terraço descoberto e a sala da diretoria.

Figura 10: Gráfico de temperatura – 08/03/2016.

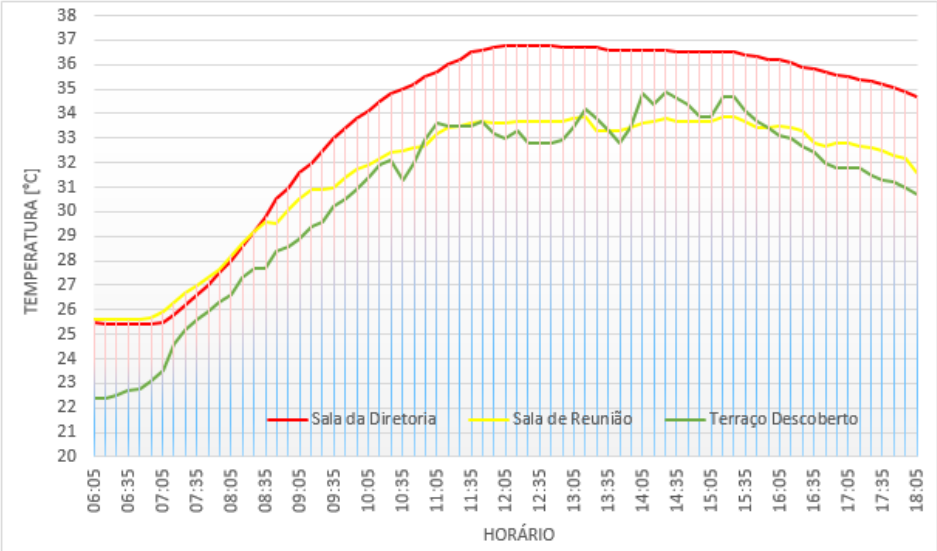


Fonte: Os autores

A sala da diretoria foi a sala identificada com partes da sua fachada em vidro. Considera-se que a diferença observada entre as salas pode ser resultado de três fatores: o primeiro deles, o fato de a sala da diretoria ter duas fachadas de vidro, que não recebeu material isolante, diferentemente da sala de reunião que recebeu o material isolante em todas as fachadas. O ganho de calor e, portanto, de temperatura, também pode ser atribuído à orientação das salas, a sala da diretoria tem sua fachada de vidro orientada a leste, recebendo sol durante todo o período da manhã. O vidro também favorece o efeito estufa dentro da sala por ser de material transparente, que permite a passagem de onda infravermelha de curto comprimento de onda. Dentro da sala, as superfícies e móveis absorvem essa onda e são aquecidos. Por estarem aquecidos, reemitem outra onda infravermelha com comprimento de onda longo e, por isso, a onda não consegue sair da sala, favorecendo o efeito estufa. Já a sala de reunião, por sua vez, tem sua maior fachada na orientação sul, ou seja, esteve sombreada durante todo o dia.

Um comportamento semelhante também pode ser observado nos gráficos do dia 09 de março de 2016 conforme apresentado na Figura 11.

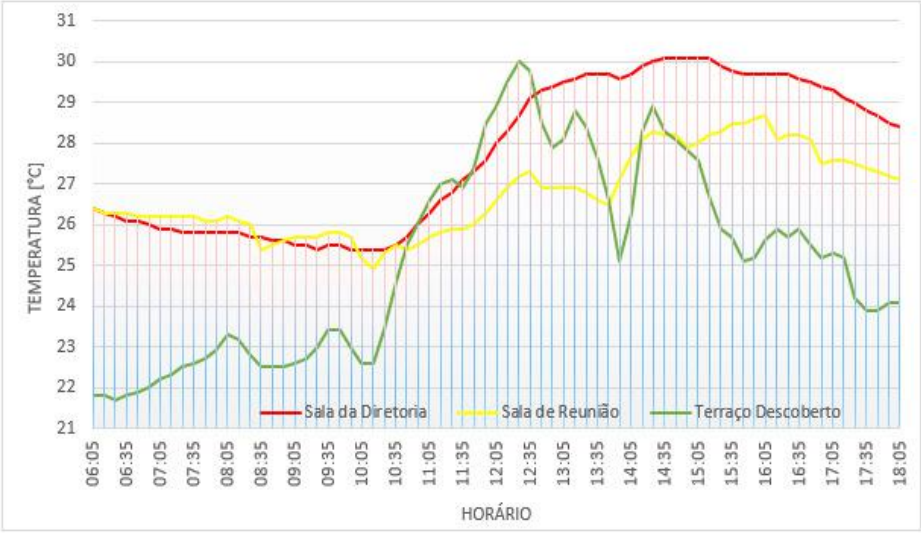
Figura 11: Gráfico de temperatura – 09/03/2016.



Fonte: Os autores

O dia 10 de março apresentou uma temperatura externa máxima de 30°C e a sala da diretoria apresentou uma temperatura máxima de 30,10°C, conforme Figura 12.

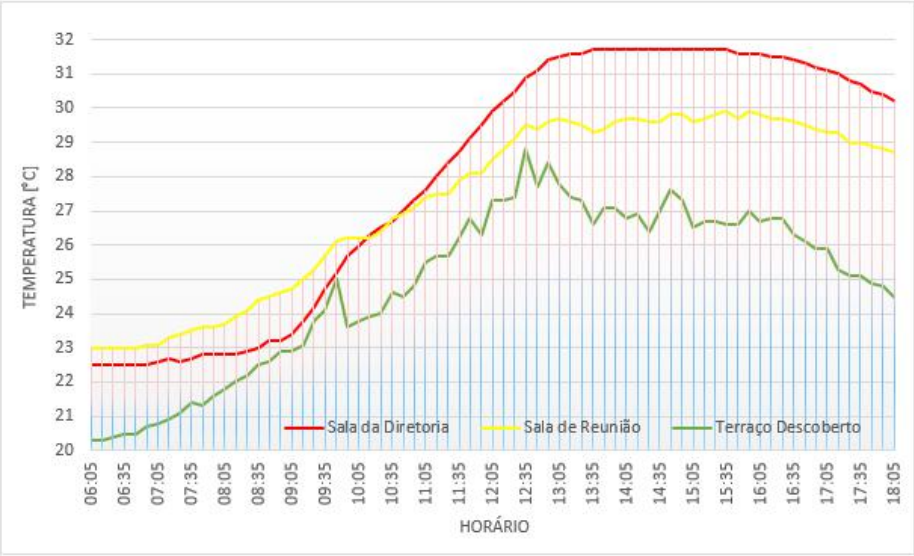
Figura 12: Gráfico de temperatura – 10/03/2016.



Fonte: Os autores

O dia 13 de março apresentou uma amplitude térmica próxima aos 6 °C, às 18 horas, e um comportamento diferente no período da manhã, quando o aumento de temperatura se deu de forma quase linear, com pouca dispersão e com curvas parecidas entre os ambientes, conforme gráfico da Figura 13.

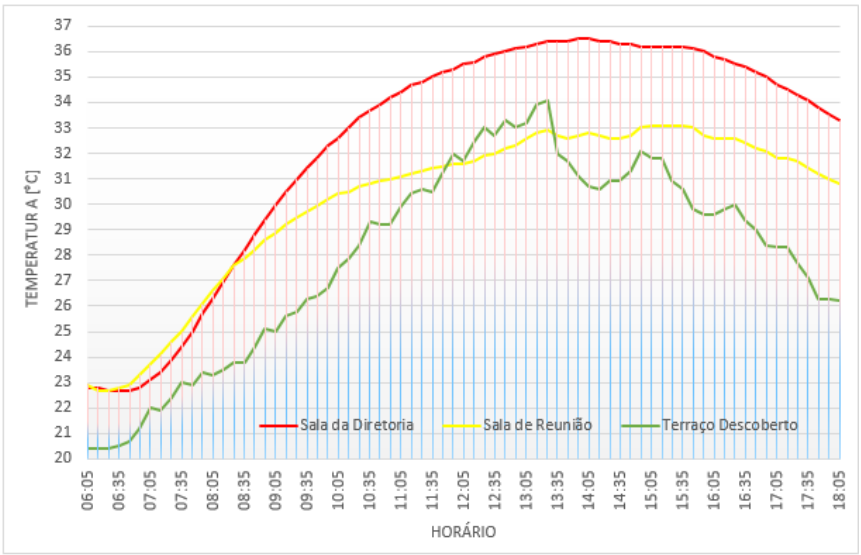
Figura 13: Gráfico de temperatura – 13/03/2016.



Fonte: Os autores

As amostras foram deixaram de ser colhidas ao fim do dia 14 de março, sendo possível observar o comportamento do período crítico desse dia na Figura 14. O gráfico apresentou uma amplitude térmica de 7 °C entre a sala da diretoria e o terraço externo, às 18 horas.

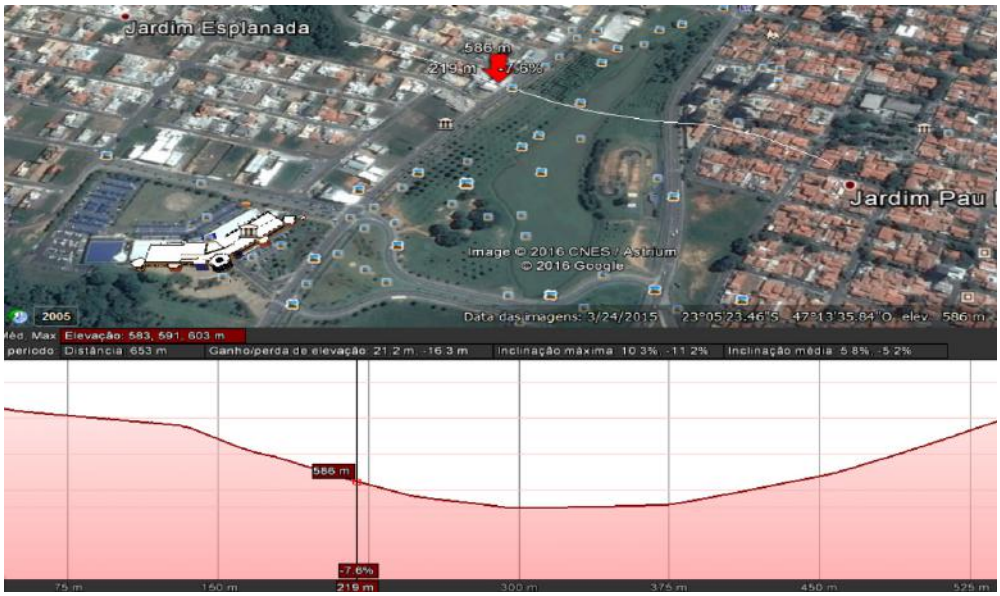
Figura 14: Gráfico de temperatura – 14/03/2016.



Fonte: Os autores

Um fator que pode ter influenciado a grande diferença entre as temperaturas internas e externa, sendo as internas, na maior parte da avaliação, mais altas do que a externa, foi a velocidade do vento. Embora esta variável climática não tenha sido medida, é possível observar conforme Figura 15, que mostra o perfil da elevação da área de estudo, que a edificação avaliada fica à margem de um "fundo de vale", local sem obstáculos para o vento.

Figura 15: Perfil da elevação da área de estudo.



Fonte: Google Earth (2016).

Outras observações referentes às análises das temperaturas (internas e externas) máximas, mínimas, médias e variações, tanto para o período escolhido quanto para as 24 horas do dia, foram expressas nas Tabelas 3 e 4, nas quais se verificou a máxima temperatura da sala da diretoria (37,70 °C) e a máxima do terraço (35,50 °C), uma diferença de quase 2 °C no dia 08 de março.

Tabela 3: Análise de temperatura na sala da diretoria.

Local:	**Sala da Diretoria**							
Período:	**06:05 as 18:05 horas**				**00:01 as 23:59 horas**			
Data	**Máx. °C**	**Min. °C**	**Var. °C**	**Méd. °C**	**Máx. °C**	**Min. °C**	**Var. °C**	**Méd. °C**
08/mar	37,7	23,9	13,8	33,85	37,7	23,9	13,8	30,93
09/mar	36,8	25,4	11,4	33,57	36,8	25,4	11,4	31,33
10/mar	30,1	25,4	4,7	27,72	30,1	25,3	4,8	27,43
13/mar	31,7	25,7	6	28	31,7	22,5	9,2	26,5
14/mar	36,5	24,7	11,8	32,4	36,5	22,7	13,8	29,52
Soma	172,8	125,1	47,7	155,54	172,8	119,8	53	145,71
Média	34,56	25,02	9,54	31,108	34,56	23,96	10,6	29,142

Fonte: Os autores

Tabela 4: Analise de temperatura no terraço descoberto.

Local:	Terraço Descoberto							
Período:	06:05 as 18:05 horas				00:01 as 23:59 horas			
Data	Máx. ºC	Min. ºC	Var. ºC	Méd. ºC	Máx. ºC	Min. ºC	Var. ºC	Méd. ºC
08/mar	35,5	21	14,5	29,75	35,5	21	14,5	26,52
09/mar	34,9	22,4	12,5	30,78	34,9	22,4	12,5	28,13
10/mar	30	21,7	8,3	25,16	30	21,7	8,3	24,43
13/mar	28,8	20,3	8,5	24,86	28,8	19,8	9	23,12
14/mar	34,1	22,7	11,4	28	34,1	20,1	14	25,09
Soma	163,3	108,1	55,2	138,55	163,3	105	58,3	127,29
Média	32,66	21,62	11,04	27,71	32,66	21	11,66	25,458

Fonte: Os autores

A classificação do desempenho térmico foi apresentada pela comparação entre a temperatura máxima diária da sala da diretoria* e temperatura máxima diária do terraço descoberto** conforme Tabela 5. Notou-se que a sala da diretoria não atendeu o minimo de desempenho térmico estabelecido pela NBR15575: 2013 (conforme Tabela 1).

Tabela 5: Classificação de desempenho.

Data	** Máx. ºC	* Máx. ºC	Atende a NBR 15575:2013
08/mar	35,5	37,7	NÃO
09/mar	34,9	36,8	NÃO
10/mar	30	30,1	NÃO
13/mar	28,8	31,7	NÃO
14/mar	34,1	36,5	NÃO

Fonte: Os autores

Neste sentido, de acordo com a NBR 15575:2013 a sala de reunião* atendeu o mínimo de desempenho nos dias 8, 9, 10 e 14 de março devido a sua máxima temperatura estar mais baixa que a temperatura do terraço descoberto**. Além disso, a diferença de temperatura média entre o ambiente interno e externo foi de aproximadamente 4°C, mas demostrou isolamento de aproximadamente 1°C a mais que a sala da diretoria, além de variar menos que os outros ambientes, conforme apresentado na Tabela 6 e classificado na Tabela 7.

Tabela 6: Analise de temperatura na sala de reunião.

Local:	Sala de Reunião							
Período:	06:05 as 18:05 horas				00:01 as 23:59 horas			
Data	Máx. °C	Min. °C	Var. °C	Méd. °C	Máx. °C	Min. °C	Var. °C	Méd. °C
08/mar	35	24,1	10,9	31,69	35	24,1	10,9	29,54
09/mar	33,9	25,6	8,3	31,56	33,9	25,6	8,3	29,87
10/mar	28,7	24,9	3,8	26,75	28,7	24,9	3,8	26,7
13/mar	29,9	23	6,9	27,29	29,9	23	6,9	26,25
14/mar	33,1	22,7	10,4	30,12	33,1	22,7	10,4	28,03
Soma	160,6	120,3	40,3	147,41	160,6	120,3	40,3	140,39
Média	32,12	24,06	8,06	29,482	32,12	24,06	8,06	28,078

Fonte: Os autores

Tabela 7: Classificação de desempenho.

Data	** Máx. °C	*Máx. °C	Atende a NBR 15575:2013
08/mar	35,5	35	SIM
09/mar	34,9	33,9	SIM
10/mar	30	28,7	SIM
13/mar	28,8	29,9	NÃO
14/mar	34,1	33,1	SIM

Fonte: Os autores

5 CONCLUSÃO

As análises realizadas demonstraram que os ambientes internos analisados não atenderam, todos os dias, o mínimo de desempenho estabelecido pela NBR 15575:2013, provavelmente por não ter ocorrido troca de ar durante o período das medições, pois as aberturas se mantiveram fechadas. Contudo, foi considerado viável o uso do contêiner, devido à possibilidade de ganhar desempenho quando observadas as estratégias normativas que indicam os índices de isolamento térmico mínimo e outras estratégias para a Zona Bioclimática de referência dispostas na NBR 15220:2008 e citadas pela NBR15575:2013.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Paulo Roberto dos Santos, coordenador do curso de Engenharia Civil da Faculdade Metrocamp – Devry Brasil, e ao Prof. Obadias Pereira da Silva Junior.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Lina de Moraes; OLIVEIRA, Juliano; BRITTO CORREA, Celina. Habitando o Container. **7º SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU 2008** – Espaço Sustentável – Inovações em Edifícios e Cidades, São Paulo: NUTAU-USP 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: "Edificações Habitacionais - Desempenho". Rio de Janeiro, 2013.

BOGO, Amilcar José. Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias Bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social. **Nucleo de pesquisa e Técnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (NUTAL)**. 2008. Disponível em: <http://www.usp.br/nutau/CD/30.pdf>. Acesso em: 30 de março de 2016, 20:27:00

BUGES, Nathalya Luciano et al. A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído,** Maceió-AL, p.183-192, 11 nov. 2014.

CARBONARI, Luana Toralles; BARTH, Fernando. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 255-265, dez. 2015.

COSTA, Débora Cristina R. F. da, PRADO,Raciane Tadeu A.. Avaliação de desempenho, conforto térmico e IBUTG em contêineres metálicos para canteiros de obras. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído,** Maceió-AL, 11 nov. 2014.

GOOGLE. Google Earth. Versão 2013. Indaiatuba. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 26 de abril de 2016.

GUEDES, Rita; BUORO, Anarrita Bueno. Reuso de containers marítimos na construção civil. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, vol 5, nº3, agosto de 2015.

LIMA, Luiz Felipe de.; SILVA, José Wilson J.. A substituição de casas populares de alvenaria, feitas pelo governo federal, por casas containers: uma medida possível. **Janus**, América do Norte, 1223 03 2016.

MILANEZE, Giovana Leticia Schindler et al. A UTILIZAÇÃO DE CONTAINERS COMO ALTERNATIVA DE HABITAÇÃO SOCIAL NO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA/SC. **Rev. Técnico Científica (IFSC): 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul,** [s. L.], p.615-624, 2012.

MOURA, Gisele. **CASA CONTAINER MAIS BARATA E SUSTENTÁVEL.** 2014. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/morar/bioarquitetura/166-casa-container-mais-barata-e-sustentavel>. Acesso em: 20 abr. 2016.

PAULA, Kênia Alves de; TIBÚRCIO, Túlio Márcio de S.. ESTRATÉGIAS INOVADORAS VISANDO A SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO SOBRE O USO DO CONTAINER NA ARQUITETURA. **XIV Entac - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído,** Juiz de Fora, p.1850-1855, out. 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO DE *SHEDS* CAPTADORES DE LUZ NATURAL QUANTO A SUA CURVATURA[1]

RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa; BASTOS, Orestes Mesquita Kunze (2); CABÚS, Ricardo Carvalho (3)

(1) UFAL, e-mail: pedrovsribeiro@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: orestesmkb@gmail.com; (3) UFAL, e-mail: r.cabus@ctec.ufal.br

RESUMO

Elementos como o *shed* são comumente encontrados em diversos projetos arquitetônicos como uma solução reconhecida na exaustão de ventilação e na captação de iluminação natural. Atualmente tal estrutura tem ganhado lugar na construção de galpões em estrutura metálica ou em pré-moldados. Este trabalho busca analisar a relação entre o desempenho da iluminação zenital proveniente de *sheds* e a curvatura do elemento. Foram analisados os parâmetros de média global e uniformidade de iluminância com a variação da curvatura do elemento *shed*. Utilizando o software TropLux, foi gerado um modelo de galpão com 5 metros de largura por 15 metros de comprimento e 5 metros de altura, com *sheds* localizados ao longo da maior dimensão, variando entre modelos de 3 e 5 peças, mantendo a mesma área de abertura, composto de dois arcos espelhados em relação ao eixo, onde foram propostas 5 variações de curvatura. Os resultados mostram que há uma redução na iluminância média em torno de 35% e um aumento da uniformidade em até 25% com o aumento da curvatura do elemento. O modelo de curvatura intermediária atingiu os melhores valores nos dois parâmetros estudados, mostrando que a curvatura gera significativas alterações na iluminação natural do ambiente.

Palavras-chave: Conforto Luminoso. *Shed*. Iluminação Natural

ABSTRACT

Devices like the shed are generally found in many architectural projects as a solution for Wind exhaustion and daylighting capture. Recently this structure has gained ground in construction of warehouses with metallic structure or precast. This article seeks to analyze the ratio between the performance of zenithal lighting provided by sheds and the curvature of said elements. The global average and uniformity parameters were analyzed with the variation of the curvature of the shed. Using the software TropLux, a model of a warehouse, with 5 meters of width by 15 meters of length and 5 meters of height, was generated with the sheds along the largest dimension, ranging between models with 3 and 5 parts, keeping always the same opening area, composed by two arcs mirrored with respect to an axis, where there are 5 variations in curvature. The results show a reduction in the average illuminance of around 35% and an increase in the uniformity of up to 25% with the increase of the curvature of the element. The model with intermediate curvature got the best values in both of the studied parameters, showing that the curvature creates significant changes in the daylighting of the environment

[1] RIBEIRO, Pedro Vítor Sousa; BASTOS, Orestes Mesquita Kunze; CABÚS, Ricardo Carvalho. Análise do desempenho luminoso de sheds captadores de luz natural quanto a sua curvatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

Keywords: Lighting Comfort. Shed. Daylight.

1 INTRODUÇÃO

O uso de formas arquitetônicas que busquem a inserção, no espaço construído, dos elementos ambientais como forma de promoção de conforto ao usuário é de fundamental importância no desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Autores que possuem trabalhos extensos sobre a questão da sustentabilidade nas edificações, como Edwards (2008), apontam que diversos profissionais já colocam como diretriz inicial da edificação o aproveitamento eficiente dos recursos naturais não apenas como agente de conforto, mas como motor para a eficiência energética das edificações.

A adoção de estratégias que buscam essa interação entre externo e interno, e o aproveitamento dos recursos naturais requer que o profissional possua conhecimento dos elementos naturais e arquitetônicos que permitem suas aplicações. Bittencourt (2015) enfatiza que a compreensão dos princípios que regem a relação entre ambiente construído e natural é o suporte fundamental para a adoção de tipologias construtivas adequadas às particularidades climáticas locais.

Para a iluminação natural a estratégia de aberturas laterais traz consigo algumas desvantagens, como o excesso de lux próximo à janela e a dificuldade em iluminar ambientes mais profundos (BAKER e STEEMERS, 2002). Uma estratégia eficiente de iluminação natural é a que se utiliza de aberturas zenitais, onde a luz penetra no ambiente verticalmente. Nesse tipo de janela a área iluminada apresentará uma melhor uniformidade de luz, mas deverá ser pensada de forma a minimizar os ganhos luminosos e térmicos relativos à luz direta do sol (CABÚS, 1997).

O *Shed* é um dos elementos que promovem a iluminação zenital, sendo constituído de uma abertura vertical resultante da defasagem vertical de dois planos de telhado. Sua funcionalidade como elemento que proporciona ventilação natural nos ambientes é bastante documentada e atestada por diversos autores (BITTENCOURT, CANDIDO, BATISTA, 2003) (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2013).

Uma obra arquitetônica importante como exemplo de sucesso de uma arquitetura bioclimática com o uso de *sheds* é o conjunto de edifícios projetados pelo arquiteto João Figueiras Lima, o Lelé. Em seus projetos a motivação para o uso dos elementos naturais perpassa a do conforto visual, pois busca promover a humanização dos espaços pelo condicionamento natural dos ambientes (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2013).

A utilização do *shed*, e consequente aproveitamento da iluminação natural zenital, pode ser vista em diversas edificações, a exemplo dos centros de compras, lugares onde a ideia da passagem do tempo é amenizada pelo uso predominante de luz artificial, tem sido modificada para ambientes amplos e abertos à luz natural tem adotado a iluminação zenital como solução (GARROCHO E AMORIM, 2004).

Outro grande potencial do uso dos *sheds* é em galpões comerciais ou industriais. Os grandes vãos abertos deste tipo de edificação permitem que as aberturas possam ser posicionadas de forma a iluminar naturalmente o ambiente na maior parte do dia. Outro atrativo importante é que as estruturas, comumente pré-moldadas, em aço ou concreto, permitem que se execute formas em *shed* nas cobertas com grande facilidade e sem acarretar grandes custos ao construtor (POZZI, 2004).

Algumas metodologias permitem que tais elementos sejam analisados e testados antes de serem construídos, a fim de verificar a forma e o posicionamento que resultara em uma melhor captação de luz, ou de ventilação. Nesse sentido os softwares de simulação computacional prestam um importante trabalho, como ferramenta para que arquitetos e engenheiros possam melhor analisar as possibilidades de soluções para as edificações.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do artigo é analisar a influência da curvatura do *shed* no desempenho luminoso do elemento. Como objetivos específicos são buscados:

- Comparar o desempenho dos parâmetros de média e uniformidade com a variação da curvatura do elemento *shed*.
- Avaliar se há ganho com o incremento da curvatura dos *sheds* se comparado ao modelo reto.
- Quantificar os ganhos ou perdas de iluminância e uniformidade com a variação da curvatura dos *sheds*

3 FERRAMENTAS E METODOS

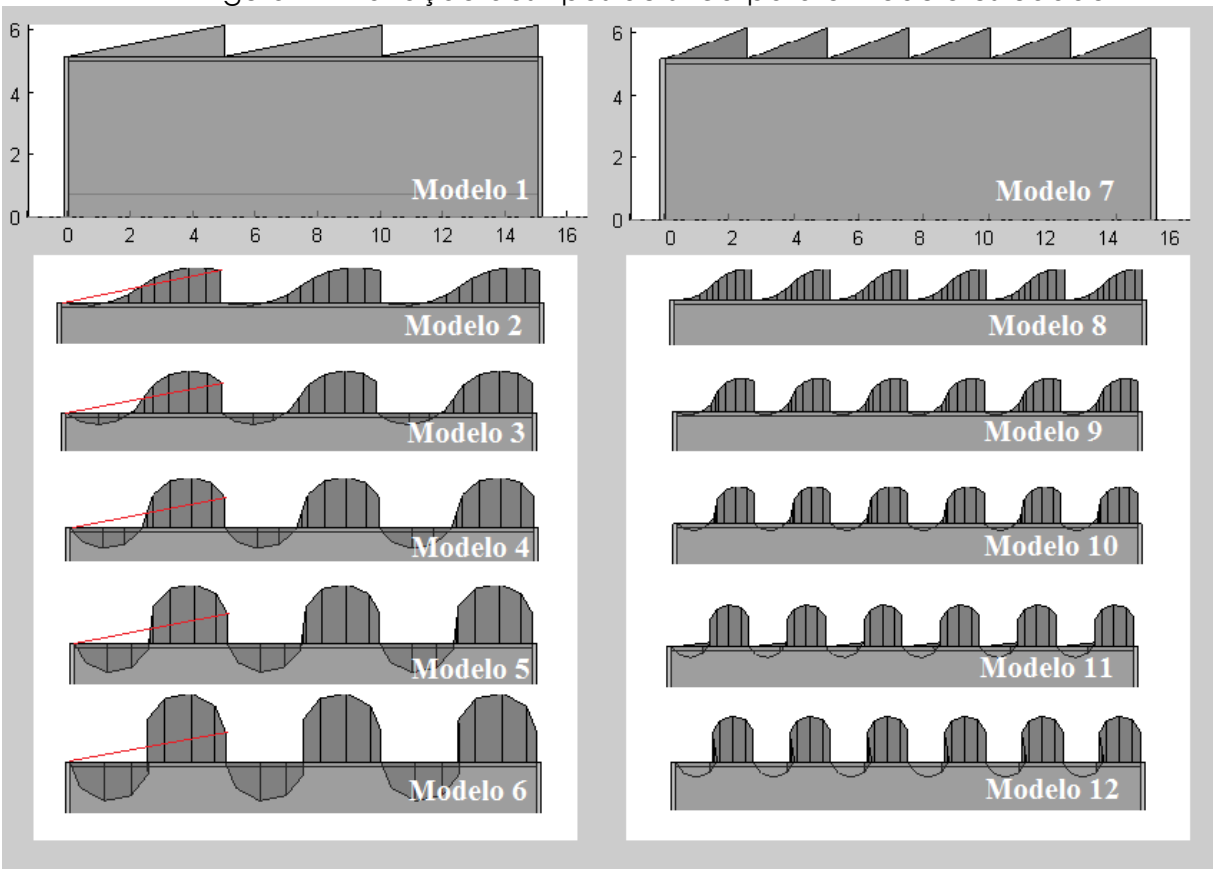
O estudo do desempenho dos elementos foi feito utilizando o software de simulação em iluminação natural TropLux, na versão 7. O TropLux 7.0 utiliza os métodos do raio traçado, os coeficientes de luz natural e o Monte Carlo para calcular a quantidade de luz natural disponível nos ambientes. Por permitir a inserção de geometrias complexas e o cálculo da iluminância de forma anualizada para diversos tipos de céus (CABUS, 2005) o software foi escolhido para ser utilizado nesta análise.

Para tanto foi gerado um modelo que serviu como base para as demais geometrias. Utilizando uma relação dimensional semelhante à do ambiente adotada na tese em que Lukiantchuki (2015) analisa o desempenho do elemento quanto à ventilação natural, o modelo base possui 5 metros de largura, 15 metros de comprimento e 5 metros de pé-direito. Os elementos foram posicionados com as aberturas voltadas para a menor dimensão da coberta.

Foram propostas 5 variações de curvatura do elemento, tomando sempre como base o *shed* reto. A curvatura do *shed* define-se a partir de dois segmentos de arco espelhados em relação ao eixo (*shed* reto). Para melhor

entendimento das variações a figura exemplifica os modelos com 3 elementos. A linha vermelha na figura 1 mostra o eixo do elemento, onde em cada variação aumentou-se distância entre o arco e o eixo, da posição inicial, zero, até a posição final, com uma meia circunferência cujo raio é a quarta parte do comprimento do *shed* reto.

Figura 1 – Variação dos tipos de *Shed* para o modelo estudado



Os elementos curvos foram discretizados em 10 planos devido à limitação do software em modelar superfícies curvas. As características de refletância das superfícies internas foram mantidas constantes, em 70%, a fim de variar apenas a curvatura do elemento. Sendo seis variações de tipos de elementos, foram ainda divididos em duas classes de modelos, uma com 3 *sheds*, de 1 a 6, e com 6 *sheds*, de 7 a 12, como mostrado na figura 1, mantendo a mesma área de abertura de um metro de altura. Os *sheds* são fechados lateralmente, resultando em uma abertura por elemento de 5 metros quadrados. Importante ressaltar que a área de abertura é mantida constante, em 15 m², para 3 elementos e de 30m² para 6 elementos.

Foram simulados todos os dias do ano, das 7h às 17h, nas orientações norte, sul, leste e oeste. Foram utilizados 3 tipos de céu conforme a CIE (2002), o encoberto (1), parcialmente nublado (10) e claro (14) além do céu com variação estatística para a cidade de Maceió (DN), conforme Cabús (2005), disponível no TropLux e denominado de dinâmico nas análises. Este último varia hora a hora o tipo de céu, entre os 3 citados anteriormente, conforme a probabilidade de ocorrência de cada um. O cálculo foi realizado

utilizando uma grade de pontos conforme o normatizado pela NBR ISSO-CIE 8995-1:2013, resultando em uma malha de 22x8 pontos.

A comparação entre modelos foi feita utilizando os parâmetros de média anual global e a uniformidade de iluminância (ABNT, 2013). Além disso os resultados foram estudados estatisticamente através das matrizes de correlação entre as variáveis.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

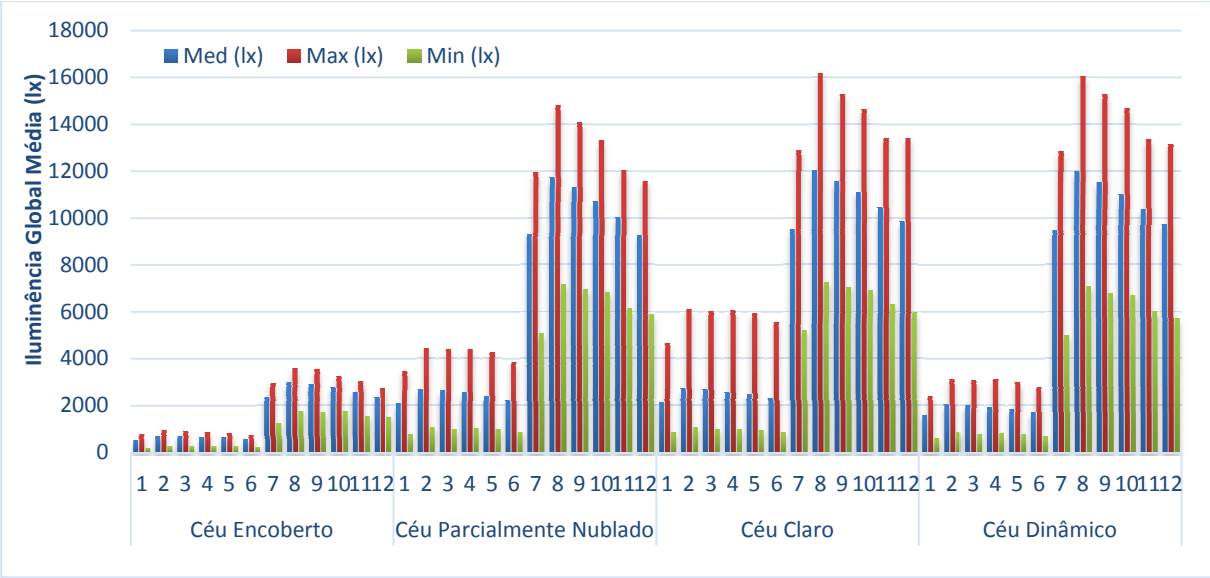
A análise dos resultados se dividiu em três partes, na primeira foram comparados os valores de iluminância anual global, média, máxima e mínima. Posteriormente foram analisados os valores de uniformidade para os modelos e por fim foram comparadas as correlações entre as variáveis envolvidas.

Inicialmente, comparando os valores de iluminância, é possível perceber que os modelos com 6 *sheds* obtiveram os maiores valores dentro do ambiente em decorrência da maior área de abertura. Nos dois conjuntos de modelos, com 3 e 6 *sheds*, foi observada a mesma tendência nos resultados. O *shed* reto foi o que apresentou os menores valores de iluminância média no plano de trabalho, com a mudança no formato houve um ganho expressivo em iluminância e ao passo que a curvatura aumenta a iluminância diminui até o ponto em que, em todos os modelos, praticamente retorna ao valor inicial, com o *shed* reto.

Em todos os modelos observou-se a entrada de sol direto decorrente do ângulo de visão de céu das aberturas. A entrada de luz advinda diretamente no sol aumentou consideravelmente os valores de iluminância para os modelos com aberturas orientadas a leste e oeste. Os menores valores de iluminância foram encontrados na orientação sul, para todos os tipos de céu estudados.

A figura 2 demonstra o comportamento dos resultados para a orientação norte, que é semelhante para as demais orientações.

Figura 2 – Iluminância Média Anual Global na orientação norte, para todos os modelos estudados, nos 4 tipos de céus propostos



A orientação, nos casos estudados, apresentou influência apenas nos coeficientes diretos, resultando em zonas de luz solar direta que podem ser minimizadas com o incremento horizontal dos elementos.

Observou-se que os ganhos máximos em iluminância aconteceram para o céu parcialmente encoberto, para todas as orientações. O ganho máximo observado para o valor médio, entre os modelos reto (1 e 7) e o modelo de menor curvatura (2 e 8), 30%, o ganho máximo para o valor mínimo foi de 29% e para o valor máximo de 50%.

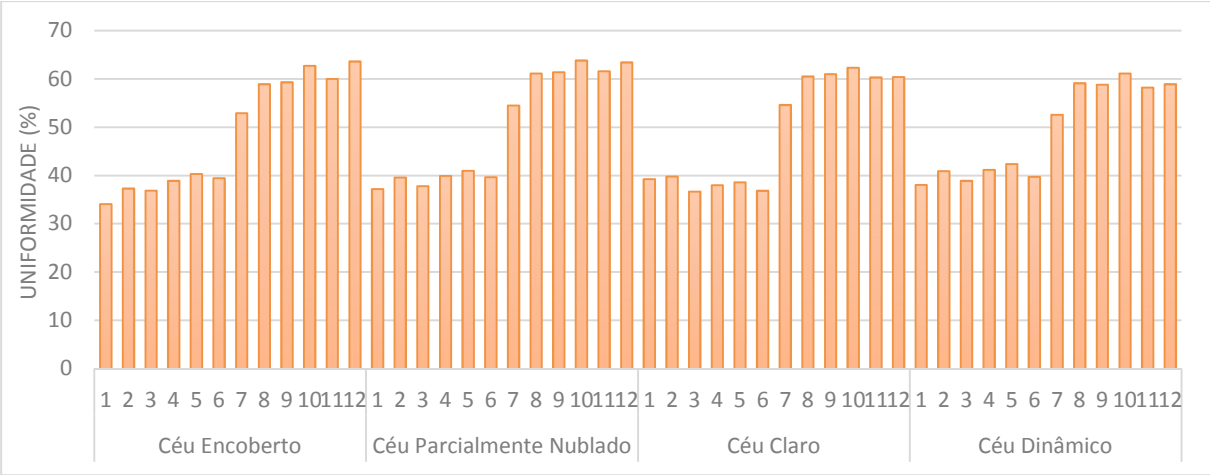
Ao comparar os ganhos percentuais entre modelos com 3 e 6 *sheds* observa-se que esse parâmetro não influi diretamente, tendo em vista que a diferença entre eles foi pouco expressiva.

Ao analisar os valores de uniformidade da iluminância observou-se um comportamento distinto da iluminância. Os modelos com 6 *sheds* obtiveram maiores valores de uniformidade se comparados com os modelos de 3 *sheds*, entretanto apenas alguns modelos voltados a sul, onde os valores de iluminância foram menores, a uniformidade atingiu os 70% preconizados pela NBR ISSO/CIE 8995 (ABNT, 2013)

A diferença entre o comportamento da iluminância e da uniformidade encontra-se no fato de que com o incremento da curvatura do elemento, a uniformidade segue uma tendência contínua de crescimento, chegando a um patamar, nos modelos 4 e 10, onde o crescimento não é mais expressivo e em alguns casos, começa a decrescer. Essa tendência de comportamento da uniformidade pôde ser verificada em todas as orientações estudadas.

A figura 3 apresenta os resultados da uniformidade para a orientação sul, que apresentou valores acima do recomendado em norma. As demais orientações apresentaram comportamento semelhante ao mostrado.

Figura 3 – Uniformidade na orientação sul, para todos os modelos estudados, nos 4 tipos de céus propostos



Os ganhos em uniformidade encontrados nos modelos foram de até 20% para céu encoberto, 28% para céu parcialmente nublado, 25% para céu claro e 22% para o céu dinâmico. Importante notar que os valores máximos apontados foram encontrados para os modelos com 6 *sheds* nos três primeiros céus citados, para o céu dinâmico tal comportamento se inverte, estando os maiores valores nos modelos com 3 *sheds*.

Outro aspecto importante de observar é que os modelos com 3 *sheds* apresentam uma gradativa redução nos ganhos ao passo que o céu se torna mais claro, chegando a casos em que há uma redução da uniformidade nos modelos. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que os modelos com 3 *sheds* possuem uma maior visão de céu pela abertura que os com seis, ocasionando uma maior entrada de sol direto no interior do ambiente.

Como última análise foi feita a verificação da matriz de correlação entre as variáveis estudadas, apresentada na tabela 1. Os dados apontam que há uma correlação linear forte entre a quantidade de *sheds* e a iluminância média, máxima, e a uniformidade de iluminância para os modelos estudados. A curvatura não apresentou valores de correlação significativos na matriz de dados estudada, evidenciando que a relação entre as variáveis não é linear, mas de outra natureza, a julgar pelas relações encontradas nas análises realizadas anteriormente.

Tabela 1 – Matriz de correlação global entre variáveis estudadas

	Quantidade	*Curvatura*	*Céu*	*Orientação*	*Med. (lx)*	*Max (lx)*	*Min (lx)*	*Uniformidade (%)*
Quantidade	1,000							
Curvatura	0,000	1,000						
Céu	0,000	0,000	1,000					
Orientação	0,000	0,000	0,000	1,000				
Med. (lx)	0,781	-0,025	0,436	-0,022	1,000			
Max (lx)	0,679	-0,022	0,551	0,078	0,971	1,000		
Min (lx)	0,826	0,021	0,376	-0,031	0,985	0,932	1,000	
Uniformidade (%)	0,883	0,160	-0,032	-0,029	0,625	0,499	0,730	1,000

Posteriormente as variáveis de céu, orientação e quantidade de peças foram isoladas de forma a verificar as diferenças de correlação para os parâmetros estudados. Quando analisados os resultados com a variável céu isolada percebe-se que a correlação da uniformidade aumenta para um máximo de 0,2 no parcialmente encoberto, mas a iluminância permanece com valores muito baixos.

Ao isolar o parâmetro de orientação percebe-se o mesmo comportamento na correlação entre ele e a iluminância. Os valores de correlação para uniformidade foram melhores com as aberturas voltadas a sul, onde houve menor incidência de luz solar direta, e consequentemente menores níveis de iluminância.

Tabela 2 – Matriz de correlação, para os modelos com 6 peças, entre variáveis estudadas

	Curvatura	*Med. (lx)*	*Max (lx)*	*Min (lx)*	*Uniformidade (%)*
Curvatura	1				
Med. (lx)	-0,054	1			
Max (lx)	-0,044	0,979	1		
Min (lx)	0,047	0,97	0,938	1	
Uniformidade (%)	0,526	-0,203	-0,244	0,018	1

A análise das matrizes de correlação para os modelos com 3 e 6 peças mostrou que a relação entre curvatura e uniformidade é mais próxima da relação linear em modelos com 6 peças, mas que mesmo diante disso os valores de iluminância não apresentaram relação linear expressiva com a curvatura.

Os resultados da análise de correlação combinados com os demais apontam que a relação entre as variáveis estudadas é linear apenas entre número de peças e os dados de saída. A relação entre curvatura e dados de saída, observada na análise de iluminância e na de uniformidade, deve tomar uma forma polinomial ou exponencial.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas é possível inferir que, para os modelos estudados, há uma relação entre quantidade de luz no plano de trabalho, e uniformidade de distribuição, e a curvatura dos elementos. As relações mais expressivas foram observadas sob condição de céu parcialmente nublado e para o céu dinâmico de Maceió. Os resultados apontam a importância de que tais elementos sejam corretamente

projetados e que haja proteção solar adequada, protegendo o ambiente interno da entrada de luz solar direta, fonte de desconforto térmico e ofuscamento.

Os modelos com maior quantidade de *sheds* obtiveram maiores ganhos em iluminância e uniformidade ao passo que a curvatura aumenta. Importante notar que a iluminância possui comportamento diferente da uniformidade. Com o aumento da curvatura do *shed* a iluminância tende a decrescer, enquanto que a uniformidade aumenta até o ponto em que se estabiliza.

Para os modelos estudados, e o formato de *shed* utilizado, os melhores resultados combinados foram para os modelos 4 e 10, onde a distância entre o eixo do *shed* original e o arco corresponde a 1/8 do comprimento total do *shed* reto. Com o aumento na curvatura há um ganho máximo de até 35% na iluminância e de 25% na uniformidade da luz natural no ambiente. A orientação das aberturas mostrou-se de grande importância nos ganhos de uniformidade, resultando em melhores valores na orientação sul.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO/CIE 8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho, Parte 1: Interiores, 2013

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Daylight Design of Buildings**. Londres: James & James, 2002

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares. Diretrizes para Arquitetos**. Maceió: EDUFAL, 2015

BITTENCOURT, L.S.; CANDIDO, C. M.; BATISTA J. O. A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula. In: III **Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações** – COTEDI/ENCAC 2003, 2003, Curitiba. Anais do COTEDI/ENCAC 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. P. 177 a 184

CABÚS, Ricardo Carvalho. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. 1997. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 1997.

CABÚS, R. C. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: **Encontro Latino-Americano, 4. Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído**, 8., 2005, Maceió, Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2005. 1 CD-ROM

CIE, Commission Internationale de l'éclairage. **Spatial distribution of daylight -CIE standard general sky**. Vienna, 2002

EDWARDS, Brian. Contexto Ambiental, educacional e profissional. In: EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona. Ed. Gustavo Gilli, 2008. p. 4 a 45.

GARROCHO, Juliana Saiter. AMORIM, Cláudia Naves David. Luz natural e projeto de arquitetura: Estratégias para iluminação zenital em centros de compras. In: **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído**. 2004, São Paulo-SP.

LUKIANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M.. Análise do conforto térmico na obra de João Figueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. In: XII ENCAC - **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2013, Brasília – DF.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. **Sheds Extratores e Captadores de Ar para Indução de Ventilação Natural em Edificações**. 2015. 385 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo- SP, 2015.

MONTEIRO, Leonardo Marques; BITTENCOURT, Leonardo. YANNAS, Simon. Arquitetura da adaptação. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 28 a 55.

POZZI, Marion Divério Faria. Iluminação Zenital em Ambientes Industriais: O Caso Dana Albarus RS. In: **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído**. 2004, São Paulo-SP.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONTRIBUIÇÃO DA MESA D'AGUA NA ANÁLISE DA GEOMETRIA DE SHEDS EXTRATORES E CAPTADORES DE AR PARA VENTILAÇÃO NATURAL[1]

RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa; BITTENCOURT, Leonardo Salazar

(1) UFAL, e-mail: pedrovsribeiro@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: lsb54@hotmail.com

RESUMO

O uso de sheds para iluminação e ventilação natural tem sido visto em diversos projetos, mas ainda carece de estudos sobre as implicações da forma e posicionamento sobre sua eficiência. Softwares de simulação permitem tal análise, mas outras ferramentas, como a mesa d'agua, permitem análises compatíveis com a realidade e de forma simplificada. Este artigo tem como objetivo analisar o comportamento de diferentes formas de sheds, o seu posicionamento quanto a incidência de vento e o dimensionamento para proteção solar. Foram confeccionados oito modelos em escala reduzida de cortes verticais para realização de ensaios com o equipamento da mesa d'agua para estudar o fluxo de ar nos ambientes. Os resultados mostraram que o shed possui melhor desempenho quando posicionado como extrator de ar, com abertura contrária ao sentido do fluxo de ar, pois gera zonas de baixa pressão tais que o ar percorre o ambiente no nível do usuário na maioria dos casos. Na posição de captador o vento tende a permanecer próximo ao telhado, funcionando melhor como renovador do ar quente que se acumule nessa região.

Palavras-chave: Mesa d'agua. Shed. Ventilação Natural.

ABSTRACT

The use of sheds for natural lighting and ventilation has been seen in so many projects, but others studies are needed to analyses the implications of shape and positioning of the element efficiency. Methodologies such as simulation software's, allow for appropriate analysis, but there are simple tools such as water table, allowing for analysis consistent with reality. This article aims to analyze the behavior of different sheds configuration as the form of the element, the relative position with respect to the wind incidence and the implications regarding solar protection. Eight scale models were made of vertical sections of the building, and the equipment used to analyses the airflow was the water table. The results showed that the shed has better performance when positioned as air extractor with opening contrary to the airflow direction, went generates low-pressure zones such that the air goes through the environment at the user level in most cases. The opposite position the wind tends to pass though near the roof, working better to renew the hot air that accumulates in this region.

***Keywords**: Water Table. Shed. Natural Ventilation.*

1 INTRODUÇÃO

A utilização de elementos arquitetônicos que busquem a integração entre

[1] Ribeiro, Pedro Vítor Sousa. BITTENCOURT, Leonardo Salazar. Contribuição da mesa d'agua na análise da geometria de sheds extratores e captadores de ar para ventilação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

meio ambiente e conforto ambiental do usuário tem se tornado um aspecto importante na definição de projetos em diversos âmbitos. Vários arquitetos vêm desenvolvendo projetos em que a utilização dos recursos naturais é uma de suas diretrizes, orientando as decisões tomadas para que se tenha um melhor aproveitamento dos elementos naturais na promoção de conforto ao usuário e na geração de energia para a edificação (EDWARDS, 2013).

Grande parte dos climas oferecem potencial para a utilização da ventilação natural dentro das edificações, em algum período do ano. Para tanto é importante que hajam referências de conforto térmico inseridas nas realidades regionais ao qual a edificação se insere, permitindo que os projetistas possam incorpora-las em seus trabalhos. (GONÇALVES et al, 2015).

A ventilação natural como estratégia para resfriamento passivo das edificações possui grande importância. Permite manter a qualidade do ar no ambiente, renovando-o, promove o conforto térmico dos ocupantes por acelerar os processos de evaporação do corpo humano e ainda consegue resfriar a massa construída do edifício (GIVONI, 1976).

Elementos associados à coberta, a exemplo do shed, funcionam como captadores de luz e ventilação natural pelo topo do ambiente. Tais elementos proporcionam melhora no fluxo e na intensidade de ar no ambiente, possuindo um grande potencial para edificações em que a estratégia bioclimática seja diretriz de projeto importante (BITTENCOURT, CANDIDO, BATISTA, 2003). Os desafios das tecnologias que buscam um melhor aproveitamento dos recursos naturais, quando incluem também a iluminação natural, é manter a qualidade na distribuição luminosa sem provocar efeitos de ofuscamento (LECHNER, 2001).

Um conjunto de projetos que se destaca pela utilização dos sheds como estratégia de ventilação e iluminação natural é a obra do arquiteto João Figueiras Lima, o Lelé. Para ele a principal motivação para a utilização de tais elementos em seus projetos perpassa a do conforto visual, pois busca promover a humanização dos espaços pelo condicionamento natural dos ambientes (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2015).

Os sheds desenvolvidos por Lelé em seus projetos variam, inicialmente aparecem mais frequentemente os retos, pela dificuldade de execução de formatos mais curvilíneos, posteriormente a combinação de tamanhos e a adoção de perfis mais aerodinâmicos, a partir do uso de estruturas metálicas de suporte (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2013).

Alguns fatores devem ser considerados durante a fase de implantação da edificação para que seja possível um melhor aproveitamento das componentes ambientais. Para a ventilação natural é importante que o edifício esteja posicionado de forma a incidir sobre suas aberturas e elementos de fachada o vento predominante na região (CORBELLA E YANNAS, 2003).

Ferramentas de análise simplificadas, como a mesa d'agua, e simulação por

computador permitem que o projetista submeta seu projeto a situações semelhantes ao real, analisado as potencialidades e possibilidades de melhoria quanto a incorporação dos elementos naturais de luz e ventilação para promoção do conforto ambiental em seus projetos.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento de diferentes modelos de sheds e definir quais desses possuem melhor desempenho quanto à ventilação natural na edificação

São objetivos específicos:

- A influência do formato do shed sobre a captação e exaustão da ventilação natural;
- A influência do dimensionamento associado à proteção solar na captação e exaustão da ventilação natural;
- A influência do posicionamento das aberturas na captação e extração de ventilação natural na edificação;

4 METODOLOGIA

Para o estudo foi utilizado o equipamento da mesa d'agua. Esse consiste em dois tanques de água interligados superiormente por uma placa horizontal e inferiormente por um sistema de bombeamento de tal forma que, quando ligada, o nível de água se eleva em um dos tanques até a cota do plano horizontal, transbordando pela placa horizontal até o outro tanque, formando uma lâmina d'agua. A inserção de algum componente químico surfactante, com a função de indicador, gera bolhas no sistema, permitindo a visualização do fluxo.

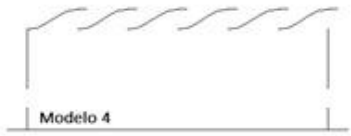
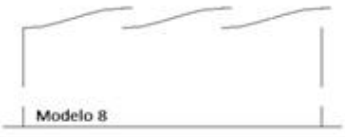
A mesa d'agua possibilita, com a inserção de um modelo em escala, que se observe o fluxo de ar de forma simples e didática, tendo tanto função elucidativa quanto prática para análise da influência da ventilação em edificações (TOLEDO; PEREIRA, 2003). Uma das limitações do equipamento utilizado é a impossibilidade de análise em três dimensões do fluxo, permitindo que se analise por vez apenas corte ou planta baixa da edificação (TOLEDO; PEREIRA, 2003).

Alguns trabalhos onde foram estudados os sheds como extratores e captadores de ventilação natural não comtemplaram a análise total das aberturas no nível do usuário e sua influência no conjunto geral. Estudos como os de Lukiantchuki et al (2015) ou Araújo (2011) posicionam a abertura no nível do usuário à barlavento ou a sotavento, mas não verifica outros casos, como a inexistência de tais aberturas.

Os modelos foram feitos em poliestireno com 2mm de espessura em escala de 1:50 e corresponde ao corte vertical de um galpão com 15 metros de comprimento por 5 de altura. Os sheds possuíam abertura de tamanho fixo, com um metro de altura, e em alguns modelos foi incluído um incremento

horizontal correspondente a proteção solar de 35º em relação ao zênite. As variações são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos analisados e suas variações

Modelo	Nº	Nº De Aberturas	Formato do Shed	Proteção Solar
	1	6	Reto	Não
	2	6	Curvo	Não
	3	6	Reto	Sim
	4	6	Curvo	Sim
	5	3	Reto	Não
	6	3	Curvo	Não
	7	3	Reto	Sim
	8	3	Curvo	Sim

Os modelos possuíam duas janelas, posicionadas uma em cada lateral, com um metro de peitoril e um metro de altura, que podiam ser abertas ou fechadas durante o ensaio, permitindo que fossem combinados aos oito modelos quatro formas de abertura: janela a barlavento aberta, sotavento aberta, ambas abertas e nenhuma aberta, nas posições de captação e exaustão de ar, totalizando 64 ensaios.

Para análise dos resultados as discussões serão divididas em quatro partes, cada uma delas correspondente a um tipo de fechamento das aberturas

inferiores utilizado nos modelos. Nessa divisão, o conjunto de oito modelos será analisado com as aberturas dos sheds voltadas para o fluxo de ar, como captadores, e outra com eles em sentido contrário, como extratores.

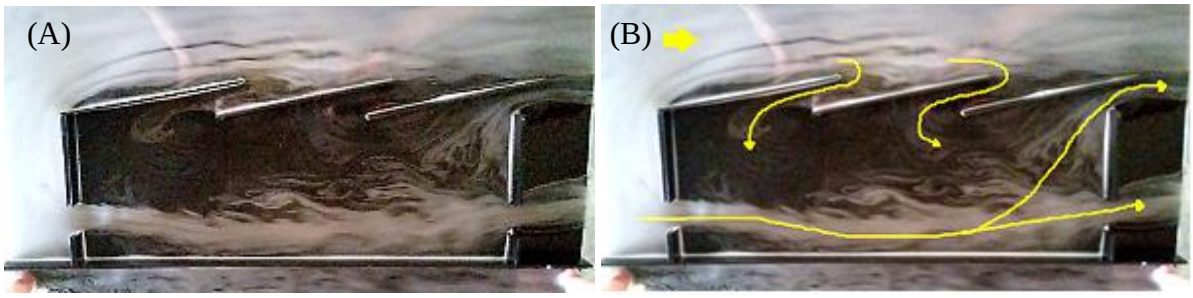
Para facilitar a visualização dos fluxos de ar pelos modelos foi observado seu comportamento durante os ensaios e posteriormente através de vídeos. Os fluxos predominantes foram desenhados nas imagens utilizando setas direcionais.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Ambas as Janelas Inferiores Abertas

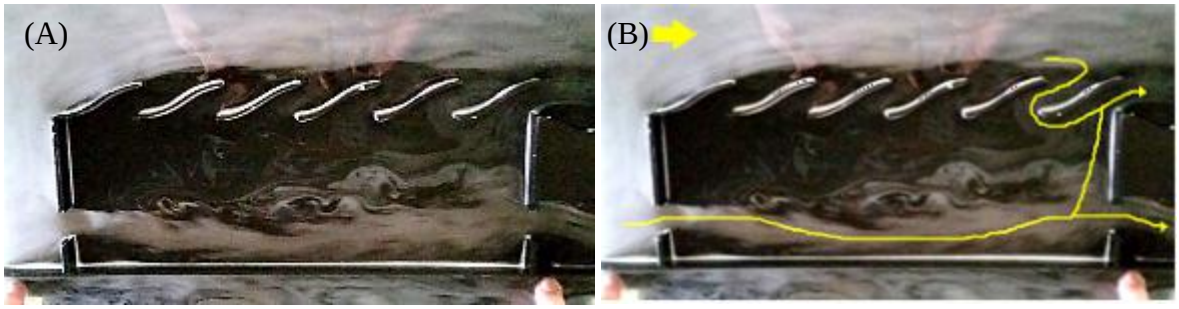
A situação com janelas a barlavento e sotavento abertas produzem um grande fluxo de ar no interior da edificação. Para sheds extratores esse fluxo tende a permanecer na altura do usuário desde a abertura de entrada até a de saída, havendo uma saída de ar em menor intensidade pela abertura do último shed. A forma do elemento teve pouca influência sobre os resultados, já o incremento de comprimento devido à proteção solar resultou em uma pequena entrada de ar superior, mostrada na Figura 1.

Figura 1 - (A) Escoamento do vento no modelo 3, com ambas as janelas abertas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



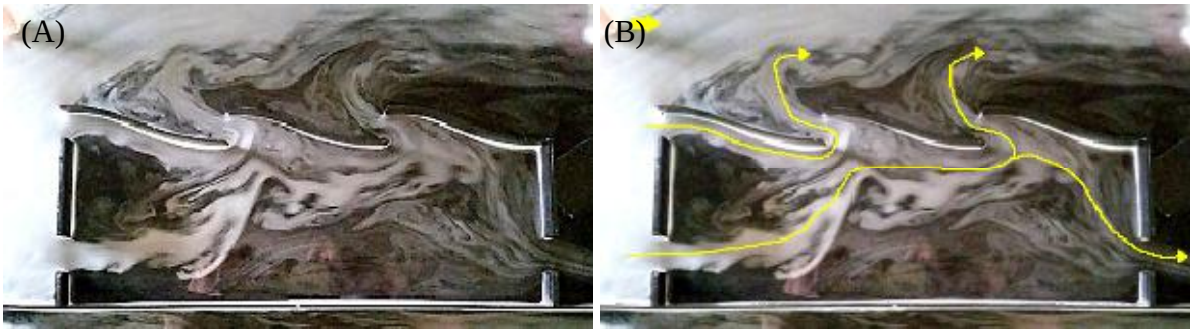
O fator que apresentou maior influência sobre os resultados foi a inclinação do elemento. Para inclinações maiores inclinações do shed, seja ele reto ou curvo, houve uma tendência de que o primeiro funcionasse como barreira, elevando o nível do fluxo de ar, e impossibilitando a entrada de ar através dos elementos. A Figura 2 mostra um modelo com elemento curto, sem proteção solar, para demostrar tal efeito.

Figura 2 - (A) Escoamento do vento no modelo 2, com ambas as janelas abertas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



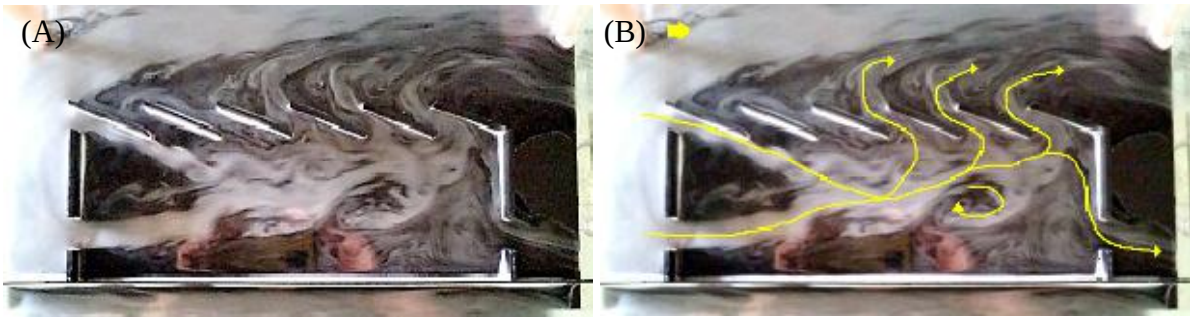
Quando o modelo é posicionado como captador de vento o comportamento do ar é diferente. Como há duas entradas de ar voltadas para a incidência do vento e apenas uma do lado oposto há uma grande zona de pressão positiva que será liberada nas aberturas mais próximas, as superiores, fazendo com que o fluxo de ar ao entrar no ambiente procure sair pelas aberturas dos sheds. Tal cenário é mostrado na Figura 3, em que apenas a abertura do primeiro shed funciona como captadora, e as demais como extratores.

Figura 3 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com ambas as janelas abertas e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Os parâmetros de forma e tamanho dos sheds tiveram influência direta nos resultados, os que possuíam superfície reta e com maior inclinação tenderam a direcionar o fluxo de ar para o nível do usuário, enquanto que os curvos mantiveram o fluxo de ar próximo ao telhado da edificação. A Figura 4 mostra o efeito dos sheds retos. Não foi observada nenhuma alteração nos resultados com a variação do incremento no comprimento para proteção solar.

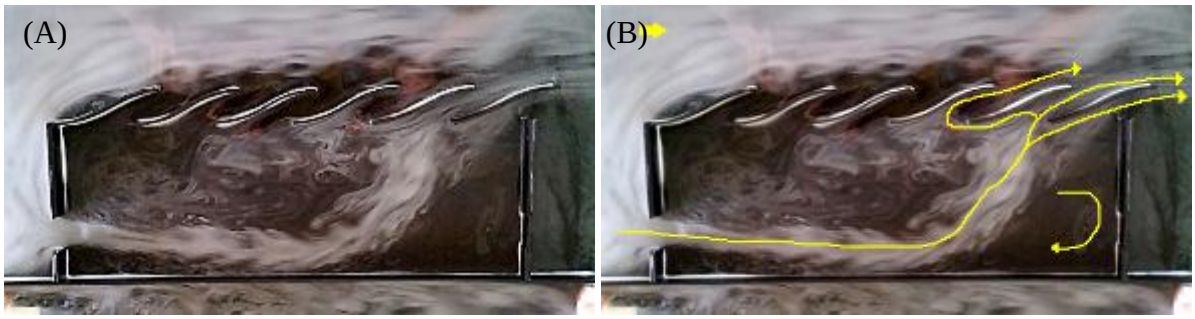
Figura 4 - (A) Escoamento do vento no modelo 1, com ambas as janelas abertas e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



5.2 Janela a barlavento aberta

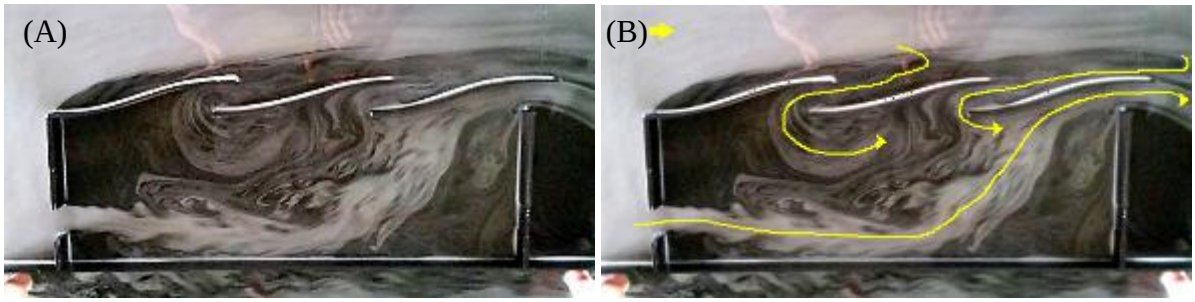
Ao fechar a abertura de sotavento verificou-se pouca alteração no comportamento do vento dentro da edificação em relação à situação anterior. Para o modelo posicionado como extrator do ar a zona de baixa pressão passa situar-se na abertura do último shed, lugar por onde o vento que entra no ambiente tende a sair. O fluxo de ar no nível do usuário tende a subir para a abertura de saída no ultimo terço do ambiente, resultando em uma circulação de ar sem renovação nessa região, mostrada na Figura 5.

Figura 5 - (A) Escoamento do vento no modelo 4, com a janela a barlavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Os modelos com incremento do comprimento para proteção solar resultaram em uma saída mais lenta do ar se comparados aos modelos sem incremento. O modelo com shed longo e incremento para proteção solar apresentou um comportamento de sucção do ar através do shed, não observado nos demais modelos, como mostra a Figura 6. Os modelos de shed curtos tenderam a redirecionar o fluxo de ar para longe do shed, quanto que os mais longos tiveram efeito contrário, mantendo o nível do fluxo próximo ao telhado.

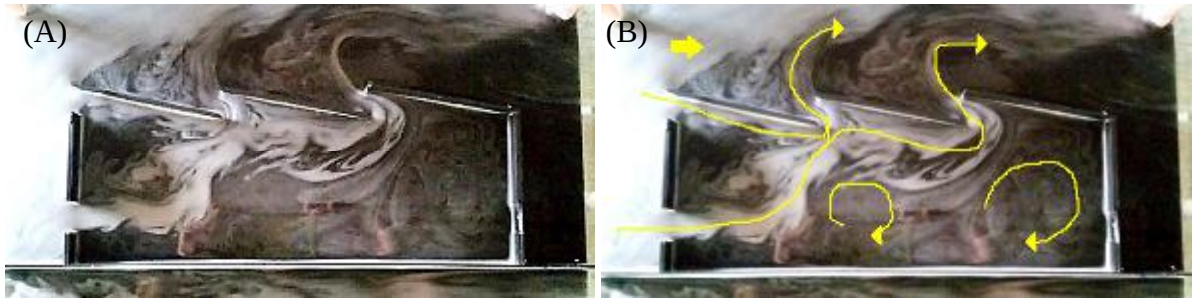
Figura 6 - (A) Escoamento do vento no modelo 8, com janela a barlavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Esse pequeno fluxo de ar observado nos sheds curvos com incremento de comprimento possuem baixa velocidade se comparados ao principal, mas foram constantes durante todo o ensaio.

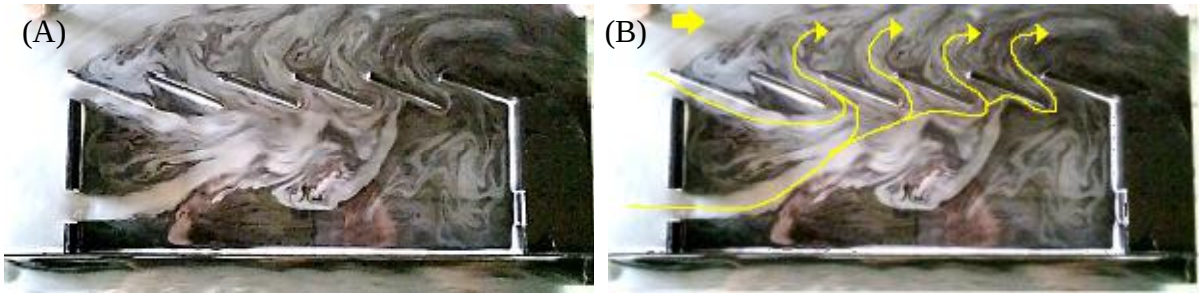
Ao analisar os modelos na posição de captação do ar os resultados mostraram que o vento tende a subir rapidamente ao entrar no ambiente, permanecendo ao nível do usuário no máximo ao primeiro terço do comprimento total. Essa saída promove uma zona de leve circulação sem renovação do ar no fundo do ambiente, sendo mostrados na Figura 7. O fluxo de ar que entra pela janela e pela abertura do primeiro shed rapidamente sobe saindo pela zona de baixa pressão criada a partir do segundo shed. O fundo da sala, por não possuir aberturas, tem ventilação natural comprometida.

Figura 7 - (A) Escoamento do vento no modelo 5, com janela a barlavento aberta e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Nessa posição a inclinação dos sheds nos modelos curtos e longos não foi suficiente para direcionar o fluxo de ao para o nível do usuário, mesmo assim resultaram em um comportamento ligeiramente diferente, como apresentado na Figura 8. Nesse caso, apenas o primeiro shed funciona como captador, estando os outros na função de extrator, sendo o incremento para proteção solar o fator que menos afetou os resultados.

Figura 8 - (A) Escoamento do vento no modelo 1, com janela a barlavento aberta e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo

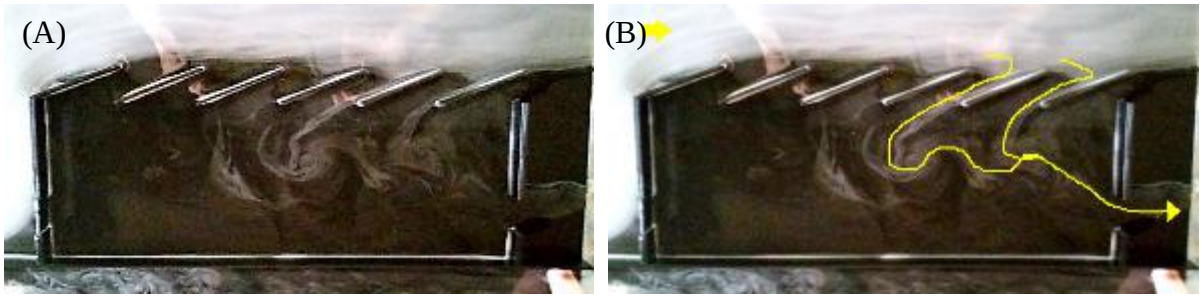


Importante notar que a posição de captação, em sheds onde há ao menos uma abertura inferior fechada, faz com que o nível do fluxo de ar se eleve muito acima da edificação após seu término, criando uma sombra de vento alta sobre a edificação, potencialmente prejudicial à ventilação natural de possíveis edifícios adjacentes.

5.3 Janela a sotavento aberta

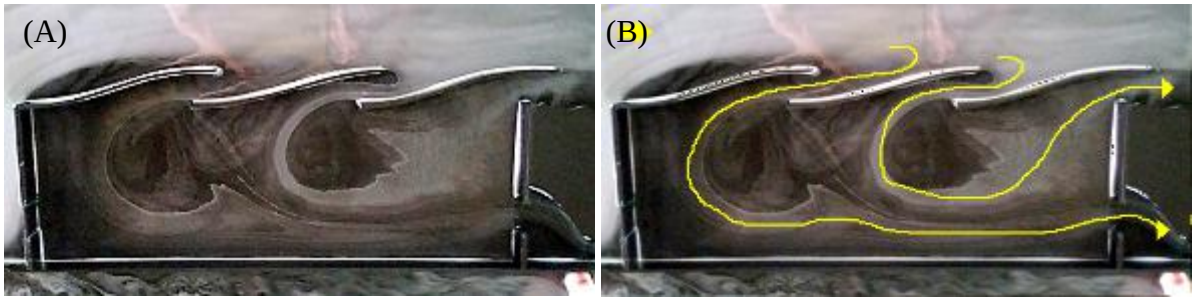
Na posição em que a janela de barlavento está fechada o principal fluxo de ar que percorre o ambiente é o proveniente das aberturas em shed. Quando essas estão voltadas para o sentido contrário do vento, como extratores, há muito pouca entrada de ar. Nos modelos com shed curto o primeiro elemento redireciona o fluxo de ar para cima, fazendo com que a maioria dele passe sobre a edificação sem entrar, apenas uma pequena quantidade entra pelos elementos finais, como mostrado na Figura 9. Como a diferença de pressão entre aberturas dos sheds e janela inferior não é grande, havendo um pequeno fluxo de ar entre esses dois pontos.

Figura 9 - (A) Escoamento do vento no modelo 1, com janela a sotavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



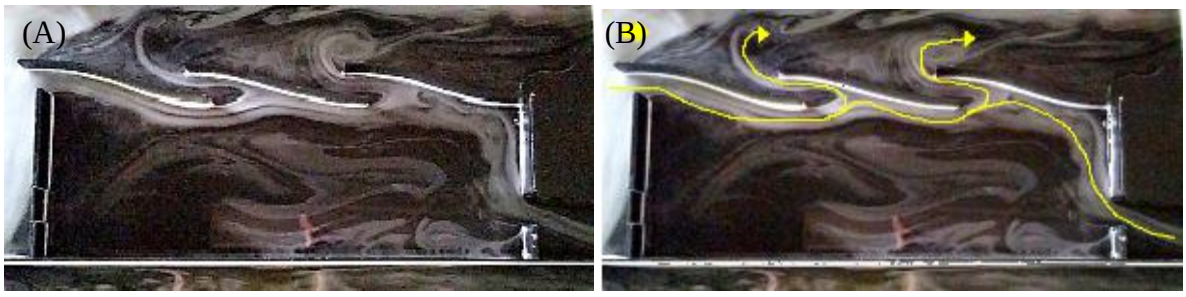
A combinação de sheds longos e curvos com proteção solar resultou num melhor fluxo de ar ao nível do usuário, se comparado aos demais tipos. Nesse caso há entrada de ar através dos sheds, com saída pela abertura inferior. A Figura 10 mostra tal comportamento, em que o formato do shed cria uma zona de baixa pressão em sua parte inferior, trazendo o ar para dentro.

Figura 10 - (A) Escoamento do vento no modelo 8, com janela a sotavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



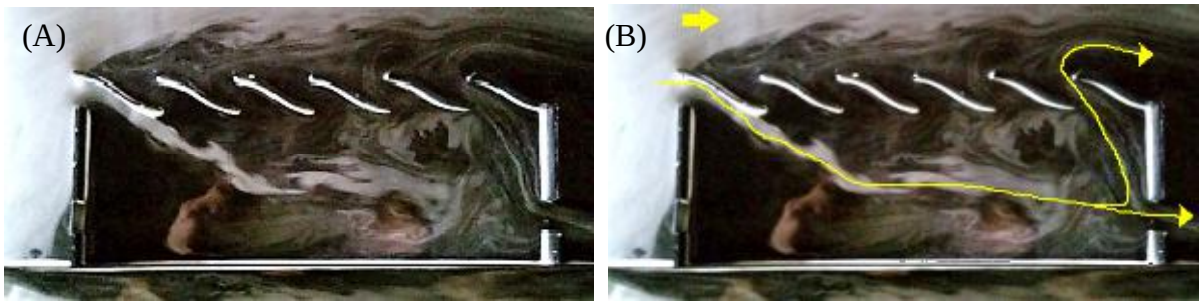
Quando o modelo é posicionado na situação de captação dos ventos através do shed, também se observa pouco fluxo de ar chegando ao nível do usuário. O fluxo permanece próximo ao telhado e a maior parte do ar que entra, unicamente pela primeira abertura, percorre o ambiente pelo topo, saindo na janela a sotavento. Esse comportamento é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - (A) Escoamento do vento no modelo 8, com janela a sotavento aberta e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Novamente o efeito de elevar o nível do fluxo de ar que passa por cima da edificação é observado e o incremento para proteção solar não mais apresentou relevância nos resultados. Os modelos de shed curto foram os que resultaram em melhores fluxos no nível do usuário, pois redirecionam para baixo o ar que entra, e que depois sai pela janela a sotavento, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com janela a sotavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo

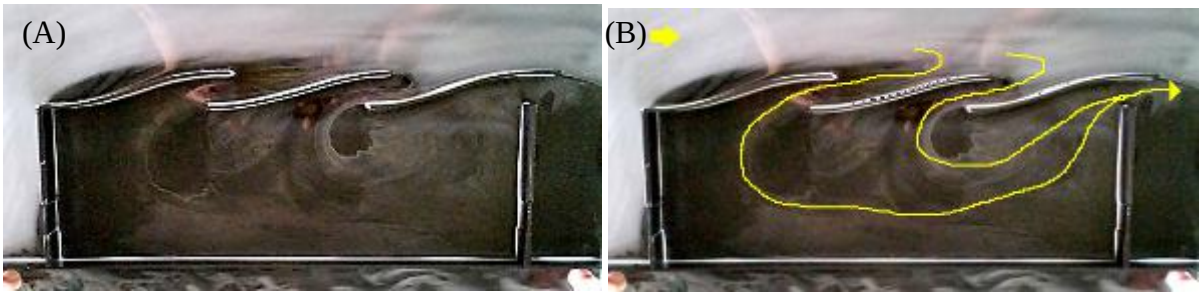


5.4 Ambas as janelas inferiores fechadas

A pior situação para a entrada de ventilação natural encontrada foi a com ambas as janelas, a barlavento e sotavento, fechadas. Quando posicionado como extrator de ar, o shed reto não conseguiu fazer com que o ar entrasse na edificação, mas passasse por cima sem nenhum redirecionamento.

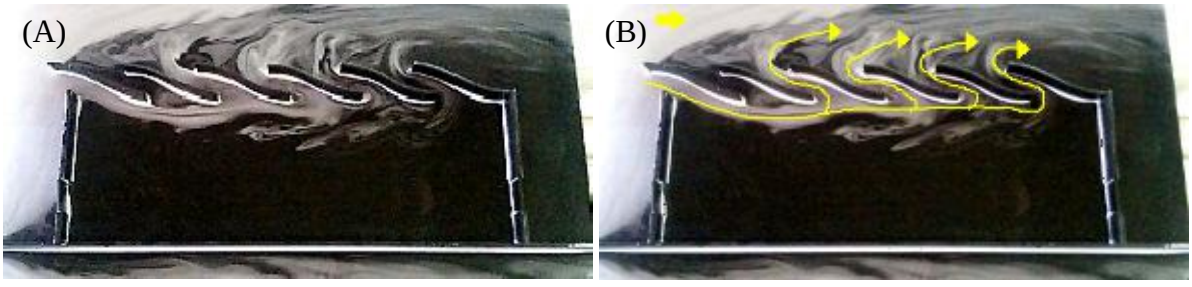
Um comportamento que já havia sido observado anteriormente foi novamente visto neste caso. O shed longo, curvo e com incremento para proteção solar gerou diferença de pressão tal, que o ar entrou no ambiente pelos dois primeiros, e saindo pelo último, como apresenta a Figura 13. Este fato pode ser observado apenas nessa situação e, mesmo sendo um fluxo de ar lento, é favorável ao usuário se comparado aos demais, sem nenhum fluxo de ar dentro do ambiente.

Figura 13 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com ambas as janelas fechadas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Por fim, a análise com o shed voltado a barlavento, atuando como captador, apresentou resultados semelhantes, com grande aumento do nível do fluxo de ar acima da edificação e entrada de ar que não chega ao nível do usuário. A grande pressão positiva gerada na entrada do primeiro shed, combinada às pressões negativas geradas nos demais, faz com que o fluxo entre na edificação e logo saia pelos sheds que seguem, como mostram a Figura 14.

Figura 14 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com ambas as janelas fechadas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



6 CONCLUSÃO

Para o estudo a mesa d'agua conseguiu reproduzir com facilidade o fluxo de ar na edificação em um tempo curto se comparada a métodos computacionais da mecânica dos fluidos. A principal limitação do equipamento é permitir a análise em apenas uma dimensão por vez, mesmo assim apresentando resultados conclusivos.

Na posição de captador de ar o shed se mostrou pouco eficiente para ventilação natural ao nível do usuário nos modelos estudados. O vento incidente no primeiro shed faz com que uma zona de baixa pressão se crie nos sheds seguintes fazendo com que o ar que entra no ambiente logo saia por eles, criando também uma sombra de vento elevada sobre o edifício, que prejudicaria inclusive a ventilação natural de edificações adjacentes.

O fluxo de ar nessa situação permanece sempre próximo ao telhado retirando o ar quente que esteja acumulado no topo. A melhor configuração foi com ambas as janelas abertas, pois o vento tende a passar ao nível do usuário, mesmo assim obtendo resultado menos expressivo que na outra posição analisada.

Como extrator de ar os sheds apresentaram resultados bem melhores que os anteriores. Nessa posição o fluxo de ar que entra pela janela a barlavento percorre todo o ambiente ao nível do usuário, para sair na última abertura. Os sheds curvos e longos apresentaram os melhores resultados, pois permitiram que o fluxo de ar permanecesse próximo ao telhado. Ao adicionar à geometria citada, o incremento para proteção solar observou-se a entrada do ar pelos sheds superiores, descendo até o nível do usuário e saindo pelo último shed. Tal comportamento foi encontrado inclusive no modelo com ambas as aberturas fechadas.

Conclui-se que o shed, para os modelos estudados, mostrou resultados melhores na função de extrator de ar. Caso seja utilizado como captador deverá possuir aberturas ao nível do usuário a barlavento para garantir a renovação do ar nesse nível. No uso como extrator deverá haver ao menos uma abertura, podendo essa se posicionar a barlavento ou sotavento para movimentação do ar, entretanto faz-se ideal que estejam presentes as duas janelas. A geometria curva facilita o fluxo de ar e permite a entrada em algumas situações, e o incremento para proteção solar além de proteger dos raios solares diretos gera um efeito de reentrada benéfico ao usuário.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. V. de A.. **Análise de componentes arquitetônicos para potencialização da ventilação natural com ênfase em captadores de vento**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BITTENCOURT, L.S.; CANDIDO, C. M.; BATISTA J. O. A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula. In: III **Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações** – COTEDI/ENCAC 2003, 2003, Curitiba. Anais do COTEDI/ENCAC 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. P. 177 a 184

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simons. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

EDWARDS, Brian. **Contexto Ambiental, educacional e profissional**. In: EDWARDS, B. O guia básico para a sustentabilidade. Barcelona. Ed. Gustavo Gilli, 2008. p. 4 a 45.

GIVONI. B. **Man, climate and architecture**. Londres: Applied Science Publishers, 1976.

GONÇALVES, J. C. S.; PEREIRA, M.; CAVALERI, M. **Ventilação natural em edifícios de escritórios: mito ou realidade?** In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). Edifício Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 57 a 78.

LECHNER, Norbert, (2001). **Heating, cooling and lighting: Design methods for architects**. USA: John Wiley & Sons, 2001.

LUKIANTCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A. P. ; MARQUES, da silva F. ; CARAM, R. M. Sheds extratores e captadores de ar: análise da influência da geometria na ventilação natural. In: XIII **Encontro nacional de conforto no ambiente construído e IX Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2015, Campinas.

LUKIANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M.. Análise do conforto térmico na obra de João Figueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. In: XII ENCAC - **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2013, Brasília – DF.

TOLEDO, A. M. ; PEREIRA, F. O. R. . O potencial da mesa d´água para visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: VII **Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído/ III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações**/ II Workshop IBPSA-Brasil, 2003, Curitiba. ENCAC 2003.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INFLUÊNCIA DO CONFORTO TÉRMICO NA SAÚDE DOS IDOSOS: ESTUDO DE CASO EM UNIDADES HABITACIONAIS DO RESIDENCIAL AGRESTE – ARAPIRACA-AL[1]

RODRIGUES, Esteffany R. S. (1); SILVA, Maria Jailza (2); SOUZA, Nathália K. (3); SILVA, Mônica F. (4); BARBOSA, Ricardo V. R. (5)

(1) UFAL, e-mail: esteffany.ufal@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: jailza.arq@gmail.com; (3) UFAL, e-mail: nthlsouza@hotmail.com; (4) UFAL, e-mail: monica_fers@hotmail.com; (5) UFAL, e-mail: rvictor@arapiraca.ufal.br

RESUMO

A arquitetura deve estar alinhada às necessidades humanas de forma a promover a satisfação dos usuários no ambiente construído proporcionando condições favoráveis ao conforto térmico. Entretanto, esse fato apresenta-se como um desafio maior quando destinadas ao usuário idoso, devido às condições peculiares do sistema de termoregulação. Diante deste cenário, a pesquisa objetivou analisar as condições térmicas de unidades habitacionais de conjunto popular construído nos padrões do Programa Minha Casa Minha Vida com vistas a avaliar sua adequação às necessidades de conforto térmico de usuários idosos, em cidade de clima semiárido. Para tanto, tomou-se como estudo de caso duas unidades habitacionais do Residencial Agreste, na cidade de Arapiraca-AL. Os procedimentos metodológicos consistiram em análises qualitativa e quantitativa de conforto térmico das unidades habitacionais selecionadas. Os resultados encontrados mostraram que as unidades habitacionais não atendem as condições de conforto de usuários idosos, uma vez que as elevadas temperaturas no período vespertino exige esforço adicional do organismo para manter-se em equilíbrio térmico.

Palavras-chave: Conforto térmico. Idoso. Habitação de Interesse Social. Semiárido.

ABSTRACT

The architecture must promote user satisfaction in the built environment providing favorable conditions for thermal comfort. However, it is a greater challenge when the buildings are intended for the elderly due to the peculiar conditions of the thermoregulatory system. Thus, the research aimed to analyze the thermal conditions of public housing built in patterns of "Minha Casa Minha Vida" program to assess the adequacy of the house to thermal comfort needs of the elderly in the city of semiarid climate. Therefore it was taken as a case study two buildings in the city of Arapiraca-Brazil. The methodological procedures were qualitative and quantitative analysis of thermal comfort of selected buildings. The results showed that the buildings do not meet the thermal comfort conditions of the elderly, since the high temperatures in the afternoon requires additional efforts to keep the body in thermal equilibrium.

***Keywords**: Thermal comfort. Elderly. Social housing. Semi-arid climate.*

[1] RODRIGUES, Esteffany R.S.; SILVA, Maria Jailza SOUZA, Nathália K.; BARBOSA, SILVA, Mônica F., Ricardo V.R. Influência do conforto térmico na saúde dos idosos: estudo de caso em unidades habitacionais do residencial Agreste – Arapiraca-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura deve estar alinhada às necessidades humanas de forma a promover a satisfação dos usuários no ambiente construído por meio do atendimento aos requisitos de conforto, segurança e bem-estar. As habitações, como produto da Arquitetura, deve cumprir sua função enquanto abrigo proporcionando condições favoráveis ao conforto térmico. Para tanto, as habitações devem ser projetadas de forma que as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente construído ocorreram sem esforço adicional do organismo humano. Ou seja, sem proporcionar estresse térmico (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Entretanto, cabe destacar que o conforto térmico é uma sensação subjetiva, definido como "(...) a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico" (ASHRAE, 2010). Nesse sentido, a percepção de conforto é dada frente a variáveis ambientais, comportamentais e fisiológicas. Entre as variáveis fisiológicas, podemos destacar a idade do usuário.

À medida que o corpo envelhece, há uma tendência natural na diminuição das atividades físicas realizadas pelo idoso, favorecendo consequentemente a uma redução da atividade metabólica do organismo. Além disso, com o avanço da idade, a sensibilidade humana em detectar variações de temperatura diminui gradativamente. Assim, o idoso torna-se mais vulnerável aos estados de hipotermia ou hipertermia, devido à dificuldade de perceber quando seu corpo está excessivamente exposto ao frio ou ao calor.

Nesse contexto, observa-se que a arquitetura voltada ao idoso apresenta-se com um desafio peculiar: compensar o desgaste do sistema de termoregulação do corpo humano, de maneira a proporcionar espaços que garantam condições favoráveis de conforto térmico (BARBOSA, 2015).

Frente a esta questão, surge um desafio. Sabe-se que os projetos arquitetônicos de conjuntos habitacionais é concebido para um usuário genérico, com idade indefinida. Porém, o Estatuto do Idoso (2003) determina que nos programas habitacionais públicos ou subsidiados com recursos públicos, o idoso deve gozar de prioridade na aquisição de imóvel para moradia própria, devendo existir uma reserva de 3% das unidades residenciais para atendimento aos idosos.

Diante deste cenário, a presente pesquisa objetivou analisar as condições térmicas de unidades habitacionais de conjunto popular construído nos padrões do Programa Minha Casa Minha Vida com vistas a avaliar sua adequação às necessidades de conforto térmico de usuários idosos, em cidade de clima semiárido. Para tanto, tomou-se como estudo de caso unidades habitacionais do Residencial Agreste, na cidade de Arapiraca- AL.

2 JUSTIFICATIVA

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2014), estima-se que entre 2007 e 2050, a parcela da população com 60 anos ou mais deve

duplicar, podendo atingir um número de 2 bilhões em 2050. Além disso, acredita-se que até a referida data, o número de pessoas com mais de 80 anos chegará a 400 milhões, distribuídos em diversas partes do mundo. O Brasil segue a tendência mundial apresentando aumento contínuo da população com idade superior a 60 anos. Entretanto, o perfil econômico do brasileiro idoso é preocupante.

O último Censo Demográfico (IBGE, 2010), registrou que cerca de 75% da população com 60 anos ou mais possui renda mensal de até dois salários mínimos. No Brasil, esta parcela da população está enquadrada na classificação de famílias de baixa renda e ajudam a compor os índices do déficit habitacional brasileiro. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2013) divulgou que esse déficit habitacional era de 5,4 milhões casas, em 2011, correspondendo a 8,8% do total das habitações do país.

Com o intuito de combater o déficit de habitações, o Governo Federal tem viabilizado programas de Habitação de Interesse Social (HIS). Os programas atendem às famílias de baixa renda, buscando promover o acesso à moradia em áreas urbanas e áreas rurais (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015). Entretanto, o que tem-se observado são habitações padronizadas construídas em série, reproduzindo um programa arquitetônico padrão para usuários genéricos, desconsiderando as condicionantes ambientais e o perfil dos futuros moradores – informações imprescindíveis para a escolha das estratégias bioclimáticas a serem adotadas na habitação. Essa tem sido uma prática na produção de habitações de interesse social em todo o país.

Com o intiuito de melhorar a qualidade habitacional de HIS no país, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) revisou nos últimos anos duas Normas com impacto direto na produção habitacional brasileira: a NBR 15220 (ABNT, 2008), que trata de desempenho térmico de edificações, cuja parte 3 define o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e apresenta diretrizes construtivas para habitações de interesse social; e a NBR 15575 (ABNT, 2013), que apresenta requisitos e exigência para o desempenho de edificações habitacionais.

A produção habitacional de casas destinadas à população de baixa renda foi impulsionada, nos últimos anos, com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Em Alagoas pode-se observar a construção de inúmeros empreendimentos dentro deste programa habitacional, sendo alguns deles construídos em cidades do interior do Estado, a exemplo da cidade de Arapiraca onde foram construídos três empreendimentos do PMCMV nos últimos quatro anos.

A cidade de Arapiraca está localizada na mesorregião do agreste alagoano, de clima semiárido. Seu perfil climático é caracterizado pela existência de um período *úmido*, no qual as temperaturas do ar são menos elevadas, alta a umidade relativa do ar e pequena amplitude térmica diária; e um período *seco*, com temperaturas do ar elevada, baixa umidade relativa do ar e alta amplitude térmica diária (SILVA, 2015).

Com relação ao perfil populacional, Arapiraca é a segunda cidade mais

populosa do Estado. De acordo com o Censo Demográfico (IBGE, 2010), a cidade possui um pouco mais de 214.000 habitantes, sendo observado aumento da população idosa nos últimos anos. Em 2000, a população idosa correspondia a 4,84% da população total da cidade. Em 2010, esse percentual aumentou para 6,19%.

Assim como ocorre no cenário brasileiro, os idosos compõe uma parcela significativa da população que está enquadrada na classificação de famílias de baixa renda e tem sido contemplada pelos programas habitacionais de interesse social implantados em Arapiraca nos últimos anos. Essa constatação motivou o desenvolvimento desta pesquisa, procurando averiguar a adequação dessas habitações às necessidades de conforto térmico do morador idoso.

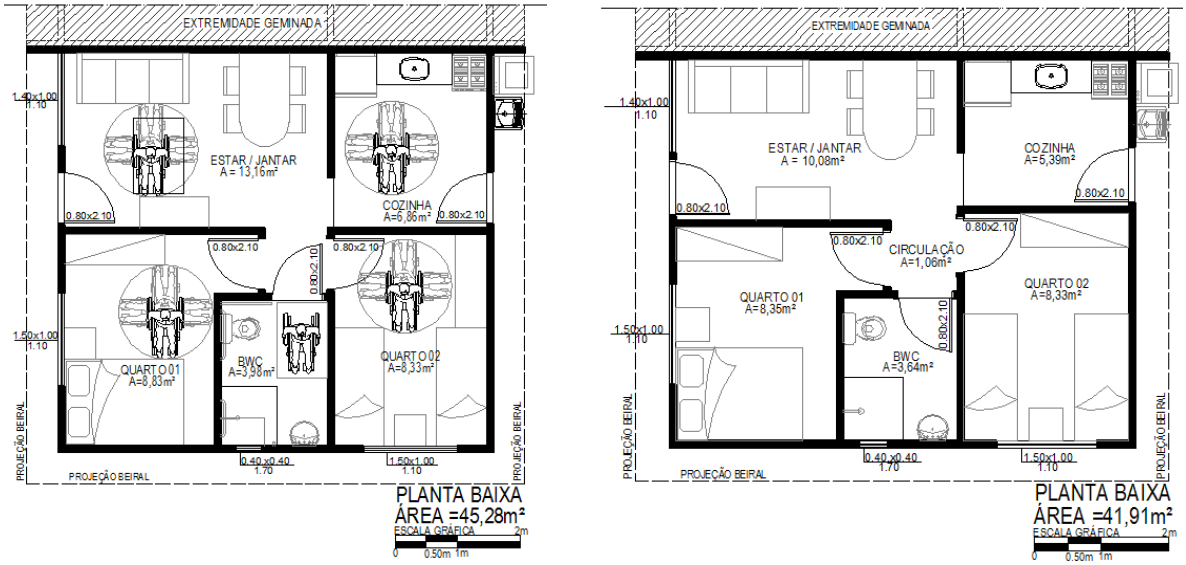
2 ESTUDO DE CASO: RESIDENCIAL AGRESTE

O conjunto habitacional Residencial Agreste está localizado na Fazenda Velha, no limite do perímetro urbano da cidade de Arapiraca. O conjunto possui 999 unidades habitacionais de Interesse Social, que acomoda 497 famílias, sendo 29 delas destinadas às pessoas com deficiência. No entanto, o número exigido de unidades habitacionais destinadas à população idosa, correspondendo a 3% do total de unidades, não foi contemplado neste empreendimento.

As casas são geminadas em uma das laterais e possuem recuo de 1,50 m na outra lateral. A unidade destinada às pessoas com deficiência possui área construída de 45,28m² (Figura 1a), enquanto a casa padrão tem uma área correspondente a 41,91m² (Figura 1b). Ambas possuem dois dormitórios, sala de estar/jantar, banheiro e área de serviço coberta apenas pelo beiral do telhado.

Figura 1 – Planta baixa das unidades habitacionais do Residencial Agreste: (a) unidade adaptada à portadores de deficiência física e (b) unidade padrão.

(a) (b)



Fonte: os autores.

As unidades habitacionais do Residencial Agreste foram construídas com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos, rebocados com espessura de 2 centímetros nas duas faces, e pintados interna e externamente com tinta branca. As casas possuem também cobertura em telha cerâmica e forro em PVC e o piso é revestido com cerâmica. As esquadrias são constituídas de janelas de alumínio e vidro e portas de madeira pintadas de esmalte sintético branco.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa consitiu em 3 etapas distintas, descritas a seguir.

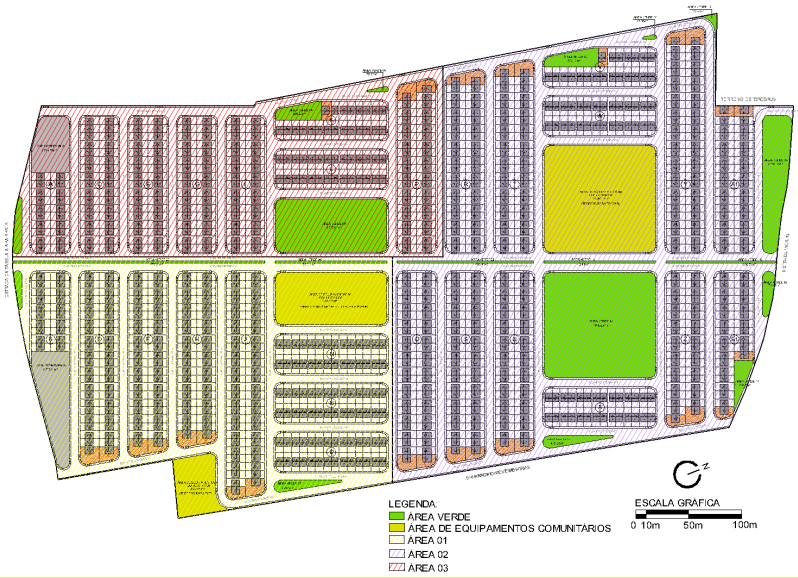
3.1 Identificação das unidades habitacionais com moradores idosos e escolha das unidades amostrais

A primeira etapa da consistiu na identificação das unidades habitacionais com moradores idosos. Foram considerados "idosos" os moradores com idade igual ou superior a 60 anos, conforme classificação etária do IBGE.

Essa etapa foi realizada por método exploratório, com campanhas às residências dos moradores questionando sobre a existência de morador nesta faixa etária. Todas as campanhas foram realizadas aos sábados, no período vespertino, pela facilidade de encontrar os moradores em suas residências. Como a campanha faz parte de uma pesquisa maior, o questionário preliminar consistiu na identificação de outros parâmetros, como pessoas com deficiência e grau de reforma realizada na edificação, entre outros.

Devido ao número elevado de unidades habitacionais existentes no empreendimento, optou-se por dividir o conjunto habitacional em 3 áreas (Figura 2).

Figura 2 – Divisão das áreas de estudo do Residencial Agreste



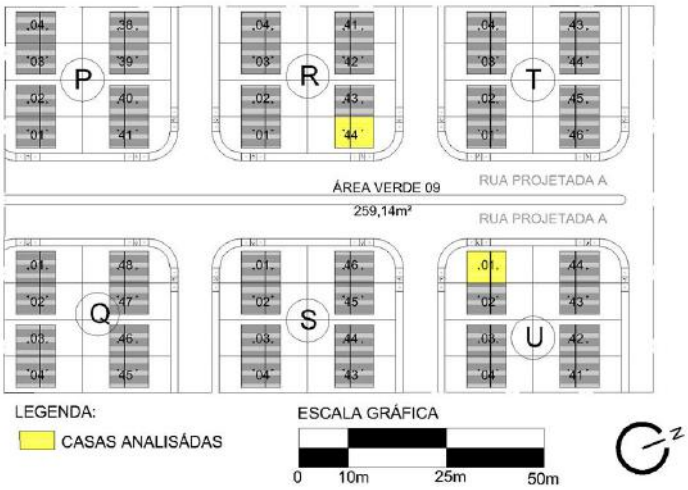
Fonte: Adaptado do projeto urbanístico do Residencial Agreste.

As unidades habitacionais com moradores idosos foram destacadas na planta do conjunto residencial para posterior análise de sua localização no conjunto.

Na etapa de identificação das unidades habitacionais com moradores idosos, observou-se que muitas edificações já passaram por reformas, apesar do empreendimento ter sido concluído a um pouco mais de um ano. Dessa forma, adotou-se como critério de escolha das unidades amostrais as habitações que mantinham as características originais do projeto, sem realização de qualquer reforma, e que tivessem orientação distintas.

Nesse sentido, foram escolhidas duas unidades habitacionais: uma localizada na quadra R, que será aqui chamada de Casa R; e outra localizada na quadra U, que será denominada Casa U (Figura 3).

Figura 3 – Em destaque, as unidades habitacionais analisadas (Casa R e Casa U).



Fonte: Adaptado do projeto urbanístico do Residencial Agreste.

3.2 Análise qualitativa do conforto térmico

A etapa posterior da pesquisa consistiu na análise qualitativa do conforto térmico nas duas unidades amostrais escolhidas. Para tanto, foi feito estudo da incidência de radiação solar nas fachadas das duas edificações, com auxílio da Carta Solar da localidade.

Em seguida, foi realizada análise sobre o atendimento às diretrizes construtivas para habitações de interesse social estabelecidas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), especificamente para a Zona Bioclimática 8, na qual está situada a cidade de Arapiraca.

Verificando que a ventilação cruzada é a estratégia bioclimática mais indicada para a região, foi feito análise sobre o posicionamento das aberturas da edificação com relação à direção dos ventos predominantes.

3.3 Análise quantitativa do conforto térmico

A última etapa dos procedimentos metodológicos consistiu em pesquisa experimental, na qual foi realizado um monitoramento do comportamento higrotérmico das duas unidades amostrais escolhidas. O registro dos valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram feitos com registradores de temperatura do ar e umidade relativa do ar (*dataloggers*) da marca Hobo®, modelo UX100-003.

Foram instalados 3 registradores em cada unidade habitacional: sala, quarto 1 e cozinha. Os equipamentos foram colocados no centro geométrico dos ambientes, localizados a 1,50 cm do piso. O mesmo foi pendurado por um barbante no forro de PVC.

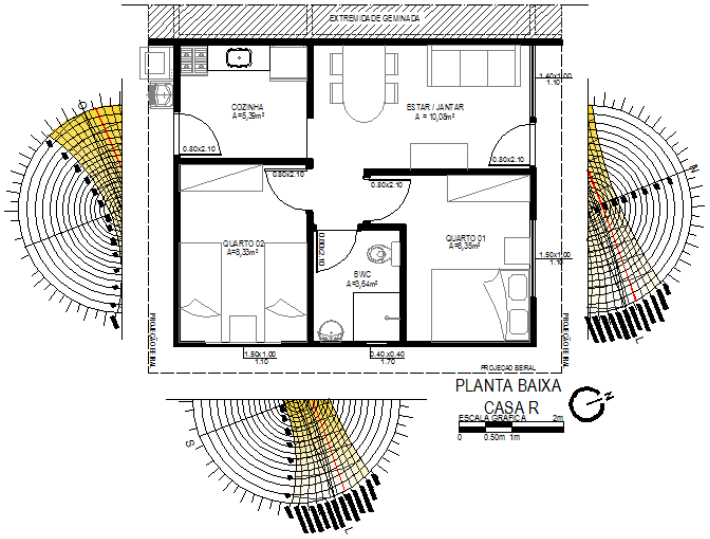
Os *dataloggers* foram programados para registrar dados contínuos em intervalos horários e monitorou os protótipos por 36 dias, no período de um mês. Entretanto, para o presente trabalho foram considerados os dados de uma semana, escolhida por apresentar os dias mais quentes registrados no período de monitoramento. A semana escolhida compreende os dias 28/08/2015 a 03/09/2015. Por fim, os dados foram plotados na Carta Bioclimática de Givoni, com auxílio do *software* Analysis Bio, a fim de identificar o percentual de conforto térmico em cada ambiente das unidades amostrais R e U.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1.1 Resultado da análise qualitativa

A primeira análise realizada foi sobre a incidência de radiação solar direta nas fachadas das duas edificações escolhidas. A análise foi feita a partir da Carta Solar para a cidade de Arapiraca, com base na orientação dos lotes de cada residência (Figuras 4 e 5).

Figura 5 – Estudo da incidência de radiação solar direta nas fachadas para o período de agosto/setembro.



Casa R



Casa U

Fonte: Adaptado do projeto Minha Casa, Minha Vida 2, 2011

Podemos observar que, na casa R, o quarto 1 e a sala são os ambientes mais favorecidos em relação à radiação solar direta, recebendo insolação predominantemente no período da manhã. Apenas no período de verão, a fachada nordeste recebe radiação solar durante todo o dia.

Na casa U a situação é inversa. O quarto 2 e a cozinha são os ambientes mais favorecidos em relação à radiação solar direta. O quarto 1 e a sala, nesta edificação, recebe radiação solar predominantemente no período vespertino, quando a temperatura do ar está mais elevada.

Em ambas as casas, a sala e a cozinha possuem apenas uma fachada para o exterior, uma vez que a edificação é geminada na fachada que limita esses ambientes. Dessa forma, a sala da casa R recebe radiação apenas na fachada nordeste, predominantemente pela manhã, e a sala da casa U recebe radiação solar predominantemente no período vespertino. Destaca-se que as casas não possuem dispositivos de proteção solar em nenhuma fachada.

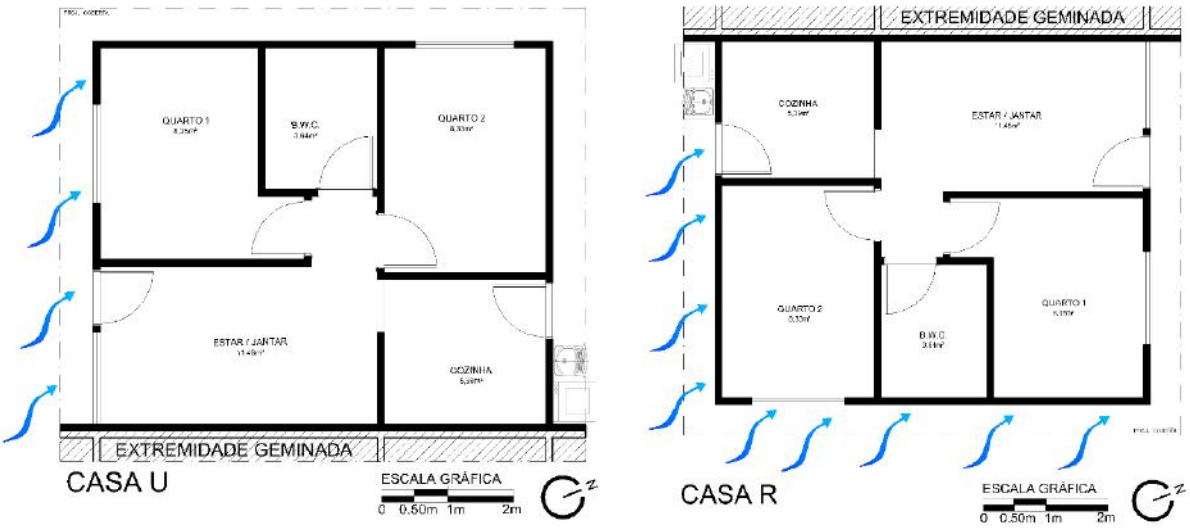
Assim, os ambientes com tendência a um maior aquecimento são quarto 2 e cozinha, na casa R, e quarto 1 e sala, na casa U. Vale destacar que a sala é o local de maior permanência durante o dia em ambas as casas.

Com relação à ventilação natural, a análise considerou a direção predominante dos ventos em Arapiraca que, de acordo com Nunes (2015), os ventos predominantes provêm das orientações Leste e Sudeste na maior parte do ano, incluindo o período de agosto e setembro.

Arapiraca está situada na Zona Bioclimática 8, segundo a NBR 15220-3/2005. Assim, para a cidade em questão recomenda-se grandes aberturas para ventilação (correspondente a 40% da área do piso), as quais devem ser devidamente sombreadas, e ventilação cruzada como estratégia bioclimática preponderante. Os diagramas abaixo (figura 6) mostram a análise esquemática da ventilação natural.

Figura 6 – Entrada de ventilação voltada para a zona de maior pressão na casa U (a) e casa R (b).

(a) (b)



Fonte: Autores, 2016

Foi observado que as aberturas das unidades habitacionais em estudo não possuem o percentual mínimo de 40% da área do piso, valor recomendado pela NBR 15220-3/2005, exceto nos banheiros. Na casa R, as aberturas da sala, bem como a janela do quarto 01, estão voltadas para o nordeste; a porta da cozinha está situada a sudoeste, e as janelas do banheiro e quarto

02 estão voltadas para o sudeste. Neste caso, estes últimos são os que mais se beneficiam com a ventilação natural (Figura 6a).

Na casa U, as aberturas da sala, como a janela do quarto 01 estão voltadas para o sudoeste, enquanto as janelas do quarto 02 e banheiro são situadas a noroeste e a porta da cozinha voltada para o nordeste. Neste caso, não há ambiente que se beneficie com a ventilação natural (Figura 6b).

4.1.2 Resultado da análise quantitativa

Nesta etapa, foi realizado monitoramento higrotérmico das unidades habitacionais com registradores automáticos (*dataloggers*) da marca HOBO, instalados em três cômodos de cada casa: sala, quarto 1 e cozinha (Figura 7).

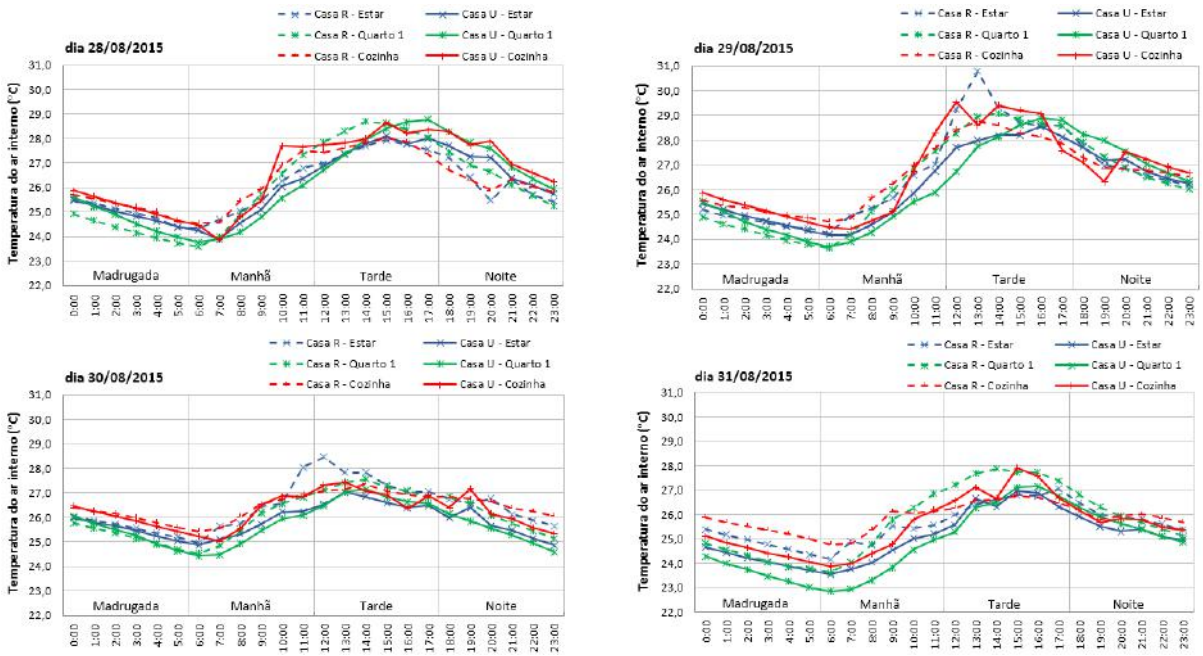
Figura 7 – Posicionamento dos *dataloggers* no interior das edificações

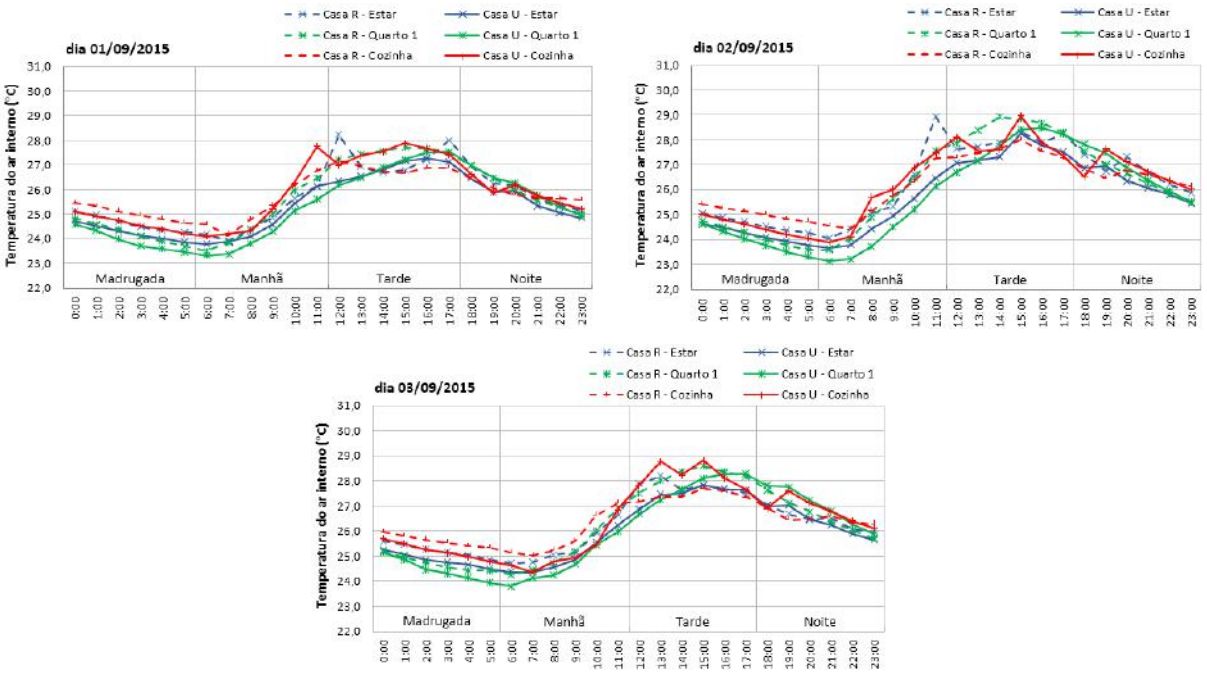


Fonte: Autores, 2016

Os gráficos abaixo mostram os dados registrados no período de 28/08/2015 a 03/09/2015.

Gráfico 1 – Temperatura do ar interno dos ambientes das casas R e U, no período de 28/08/2015 a 03/09/2015.





Os valores de temperatura do ar dos ambientes das casas R e U, indicam que, no período de análise, as duas unidades habitacionais apresentou comportamento térmico semelhante, com temperaturas internas amenas no período da manhã e aquecimento elevado no período vespertino, mantendo aquecido durante o período noturno. Durante a manhã a temperatura do ar nos ambientes ficou entre 24°C e 26°C, porém no período vespertino a temperatura do ar em todos os ambientes elevou-se para, em média 29°C.

O Quadro 1 apresenta a síntese do comportamento térmico observado nos ambientes monitorados, destacando as temperaturas médias ($T_{med.}$), máximas ($T_{max.}$) e mínimas ($T_{min.}$) do ar, para cada ambiente, das duas casas estudadas, no período analisado.

Quadro 1 – Temperaturas médias ($T_{med.}$), máximas ($T_{max.}$) e mínimas ($T_{min.}$) do ar, para cada ambiente, das duas casas estudadas., no período de 28/08/2015 a 03/09/2015.

	Casa R			Casa U		
	T_{med}	T_{min}	$T_{max.}$	T_{med}	T_{min}	$T_{max.}$
Sala	26,1	23,9	30,8	25,7	23,9	28,6
Quarto 01	26,0	23,6	29,1	25,7	22,9	28,9
Cozinha	26,2	24,6	28,7	26,2	23,9	29,0

Desta forma, durante o período de análise, não houve registro de temperatura que indicasse sensação de desconforto para o frio ou para o calor. No entanto, como já foi visto, o período de incidência solar, obtido através do estudo da carta solar em cada residência também foi analisado,

indicando a influência direta no aumento das temperaturas internas dos ambientes.

Assim, na maioria dos ambientes das duas casas, os dados de incidência solar para cada período do dia, obtidos no estudo da carta solar, coincidem com o aumento de temperatura interna registrado pelos *dataloggers*, como pode ser visto no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 – Síntese de correspondência dos dados obtidos com o estudo da carta solar e dos dados obtidos com o monitoramento dos *dataloggers*.

	AMBIENTE	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	PERÍODO DE INCIDÊNCIA SOLAR (CARTA SOLAR)	DATALOGGER DO AMBIENTE	PERÍODO DE AUMENTO DE TEMPERATURA (DATALOGGER)
CASA R	Sala	Nordeste	Manhã toda e início da tarde	PR1	Fim da manhã, durante toda tarde e início da noite
	Quarto 1	Uma parede voltada para sudeste e a outra para nordeste	Manhã toda e início da tarde	PR2	Fim da manhã, durante toda tarde e início da noite
	Cozinha	Sudoeste	Tarde toda	PR3	Fim da manhã, durante toda tarde e início da noite
CASA U	Sala	Sudoeste	Tarde toda	PU1	Fim da manhã, durante toda tarde e início da noite
	Quarto 1	Uma parede voltada para sudoeste e a outra para o noroeste	Fim da manhã e durante toda tarde	PU2	Fim da manhã, durante toda tarde e início da noite
	Cozinha	Nordeste	Manhã toda e início da tarde	PU3	Fim da manhã, durante toda tarde e início da noite

Fonte: Autores, 2016

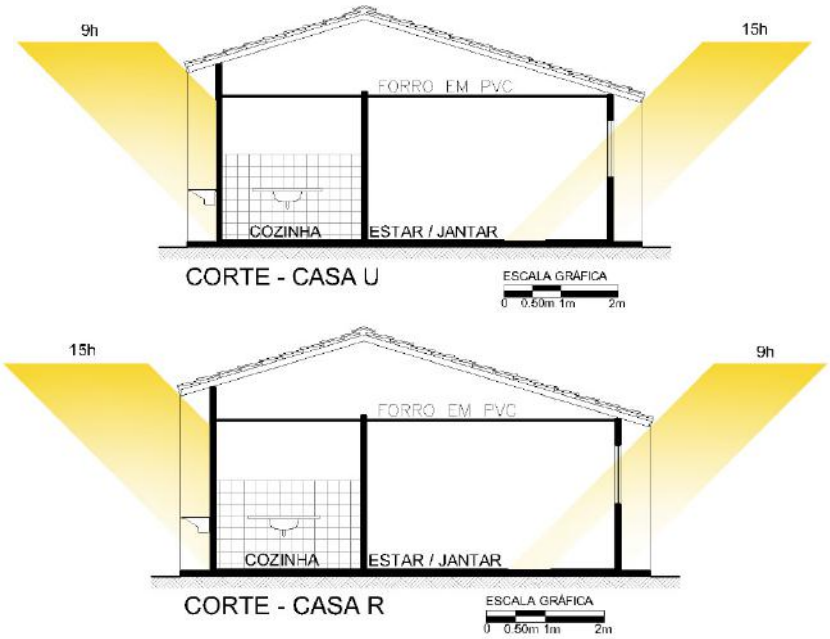
A análise dos dados permitiu observar que o material usado na envoltória da edificação (tijolo cerâmico rebocado e superfície tinta acrílica fosca na cor branco neve, com coeficiente de absorção de 19,4) favoreceu o atraso térmico. Assim, apesar da sala e do quarto 01 da casa R, bem como a cozinha da casa U, receberem insolação durante toda a manhã até o início da tarde, o aumento da temperatura do ar nesses ambientes foi observado a partir do fim da manhã. A temperatura nesses ambientes permaneceu elevada durante todo o período vespertino até o início da noite.

Observou-se, também, que a incidência solar sobre o telhado influenciou diretamente na variação da temperatura interna dos ambientes. Segundo Holanda (1976), o telhado de uma casa térrea recebe três vezes e meia mais radiação solar que os elementos verticais, como paredes e esquadrias. Além disso, as unidades habitacionais do Residencial Agreste possuem forro em PVC, como citado anteriormente, e no ático formado por este forro e o telhado não há abertura que possibilite a renovação do ar neste espaço, por convecção. Assim, a camada de ar quente, formada no ático, acaba influenciando na variação de temperatura interna de todos os ambientes das unidades habitacionais. Esse fato justifica o aumento de temperatura do ar na cozinha da casa R, como na sala da casa U, no fim da manhã, durante toda tarde e início da noite, uma vez que a análise solar mostrou que a

incidência de radiação solar nesses ambientes ocorre apenas no período vespertino.

Além disso, observou-se que no período de insolação, o beiral de 50cm existente nas residências não é suficiente para promover o sombreamento das aberturas, dessa forma, o sol incide diretamente nas paredes externas e nos ambientes por meio das aberturas envidraçadas (Figura 8).

Figura 8 – incidência de radiação solar nas fachadas frontal e posterior das casas R e U, respectivamente.



Fonte: Autores, 2016

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto, verificou-se comportamento térmico semelhante nas duas unidades habitacionais monitoradas. Apesar da diferença de incidência de radiação solar direta nas fachadas (orientação), os valores de temperatura do ar em todos os ambientes foram semelhantes, destacando a influência do telhado no aquecimento do ar interno. Nesse sentido, a existência do forro de PVC em toda a edificação sem ventilação do ático provavelmente favoreceu à elevação da temperatura do ar interno. Outro fator foi a inobservância da recomendação das áreas das aberturas. Com exceção do banheiro, todos os demais ambientes possuem área de aberturas inferiores a 40% da área do piso, recomendado pela NBR 15220-3/2013. Além disso, não há ventilação cruzada nos ambientes.

Os resultados encontrados mostram que as unidades habitacionais não atendem as condições de conforto de usuários idosos, uma vez que as elevadas temperaturas no período vespertino exige esforço adicional do organismo para manter-se em equilíbrio térmico.

Por fim, destaca-se que os resultados apresentados tratam-se de uma primeira aproximação. Pretende-se aprofundá-los, com a avaliação de

outras unidades habitacionais e outros períodos do ano, incluindo aplicação de questionário, para obtenção de resultados referentes à percepção de conforto térmico do usuário idoso.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, Ana Lúcia Góes. Espaços edificados para o idoso: condições de conforto. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura – Forum da construção. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=32&Cod=1325>. Acesso em: 28 nov. 2015.

BRASIL (2013). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (ipea). **Nota técnica estima o déficit habitacional brasileiro**. Brasília (DF): Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

BRASIL. (2003). Lei 10.741 de 1º outubro de 2003: **Estatuto do Idoso**. Brasília (DF): Senado Federal.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Habitação de Interesse Social**. Programa de repasses da OGU. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_de_repasse_do_OGU/habitacao_interesse_social.asp>. Acesso em: 29 nov. 2015.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 7. ed. – São Paulo: Studio Nobel: 2003.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste**. Recife-PE: Universidade Federal de Pernambuco – Mestrado em Desenvolvimento Urbano, 1976, 32p.

IBGE. Censo Demográfico 2010. **Características gerais da população**. Síntese de indicadores sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=242820>. Acesso em: 20 mar. 2016.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis-SC: LabEEE, 2011, 196p.

LEITE, Elizabeth Spengler Cox de Moura. **Stress térmico por calor:** estudo comparativo dos métodos e normas de quantificação. 2002. 129p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

NUNES, Ana Maria Laurindo André. **Análise do padrão de ventilação natural na cidade de Arapiraca-AL**. Projeto de Pesquisa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2014). **A ONU e as pessoas idosas**, 2014. Brasil. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/acao/pessoas-idosas/>. Acesso em: 28 nov. 2015.

SILVA, Mônica Ferreira da. **Diretrizes construtivas e urbanísticas para a cidade em clima semiárido: Estudo de caso em Arapiraca-AL**. Projeto de Pesquisa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC, 2015.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MODELOS DE REFERÊNCIA DE EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS: DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS E DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO[1]

RUPP, Ricardo F. (1); VIEIRA, Thamirys L. (2); FONSECA, Raphaela W. (3); BECK, Elisa O. (4); LAMBERTS, Roberto (5)

(1) UFSC, e-mail: ricardo.cb3@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: thamirys-mi@hotmail.com; (3) UFSC, e-mail: raphawf@gmail.com; (4) UFSC, e-mail: elisabeck@gmail.com; (5) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

No processo de simulação computacional de desempenho energético de edificações, um dos problemas recorrentes é a definição do modelo de edifício, o qual deve ser representativo da tipologia arquitetônica alvo de estudo. Este trabalho busca contribuir com a definição de modelos de referência de edificações educacionais. Os modelos foram definidos embasados em levantamentos de informações das edificações em base de dados de prefeituras e outros trabalhos, na base de dados de edifícios etiquetados pelo Inmetro por meio do RTQ-C e em pesquisas na internet. Três modelos de edificações educacionais foram definidos: Educação Infantil (área total=500m^2, um pavimento), Ensino Fundamental/Médio (área total=2500m^2, dois pavimentos) e Ensino Superior (área total=7000m^2, quatro pavimentos). A influência do clima foi estudada por meio da localização dos modelos nas oito zonas bioclimáticas brasileiras e as informações foram simuladas segundo o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que especifica requisitos para a avaliação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, classificando-as entre A (mais eficiente) e E (menos eficiente). Os consumos de energia dos modelos foram determinados por meio do simulador S3E (Simulador de Eficiência Energética de Edificações) e apresentados neste documento.

Palavras-chave: Consumo de energia. Eficiência energética. Edificações educacionais.

ABSTRACT

In the process of computer simulation of energy performance of buildings, one of the recurring problems is the definition of the building model, which must be representative of the architectural typology (aim of study). This work seeks to contribute to the definition of reference models of educational buildings. The models were defined grounded in the building information surveys in city halls database and other work in buildings database labeled by Inmetro through RTQ-C and internet searches. Three models of educational buildings were defined: Early Childhood Education (total area=500m^2, one floor), Elementary/Secondary (total area=2500m^2, two floors) and Higher Education (total area=7000m^2, four floors). The influence of climate was studied by placing the models in the eight Brazilian bioclimatic zones and the data were simulated according to the Technical Regulation on the Quality Level of Energy Efficiency of Commercial, Services and Public Buildings (RTQ-C), which specifies requirements for assessing the level of energy efficiency of

[1] RUPP, Ricardo F. *et al*. Modelos de referência de edificações educacionais: definição de tipologias e determinação do desempenho energético. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

commercial buildings, ranking them from A (most efficient) and E (less efficient). The energy consumption of the models were determined through S3E simulator (Energy Efficiency Simulator Building) and presented herein.

***Keywords**: Energy consumption. Energy efficiency. Educational buildings.*

1 INTRODUÇÃO

As edificações possuem um papel significativo no aumento do consumo de energia. De acordo com dados apresentados pela *International Energy Agency* (2010), considerando-se os setores residenciais, comerciais e de serviços públicos, o setor das edificações representam cerca de 52% do consumo total de energia elétrica. No Brasil, o consumo energético de edificações corresponde a 50% da demanda (EPE, 2015).

Wang, Yan e Xiao (2012), reiteram que o setor das edificações é o maior consumidor de energia, sendo que grande parte desse gasto energético tem origem em falhas na concepção das edificações em suas diversas etapas, desde o projeto, a construção e finalmente durante a fase de operação. Desse modo, regulamentos ou medidas visando uma maior eficiência energética das edificações apresentam-se como uma importante ferramenta no estabelecimento de padrões baseados em seu consumo energético.

O Inmetro, através do PROCEL-Edifica, determina o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) como ferramenta para a avaliação energética, especificando requisitos para categorias que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (BRASIL, 2010, 2012, 2013, 2014).

Sekki, Airaksinen e Saari (2015) apontam que o consumo energético em edificações educacionais costuma ser elevado, tendo impacto significativo sobre os gastos com energia por parte das instituições. Destacam como as decisões tomadas durante a fase de projeto e de construção afetam o desempenho energético das edificações educacionais quando comparadas às edificações similares do estoque construído. Os dados utilizados pelos autores foram obtidos através de auditorias e comparados com dados encontrados na literatura.

Tendo em vista conhecer os parâmetros atuais de consumo de energia das edificações educacionais existentes no Brasil e visando estabelecer padrões mínimos para otimizar os gastos com energia, foram desenvolvidos modelos de edificações educacionais. Estes modelos foram elaborados a partir de pesquisas em bases de dados e consultas à internet.

Após a conclusão dos modelos, foi possível realizar a simulação dos mesmos e a análise de seus consumos. Os resultados obtidos possibilitam futuras projeções de consumo, adequando-se as classificações de desempenho energético a futuras medidas de economia.

2 OBJETIVO

Este trabalho busca contribuir com a definição de modelos de referência de edificações educacionais para simulação termoenergética. Também visa determinar indicadores mínimos de eficiência energética (consumo de energia) de tais modelos.

3 MÉTODO

O método adotado neste estudo consistiu em determinar os parâmetros térmicos e geométricos de edificações educacionais no âmbito nacional. Esses parâmetros foram obtidos a partir de dados previamente apurados.

Para sua melhor caracterização, as edificações educacionais foram desmembradas em tipologias cuja a diferenciação das instituições de ensino foi obtida por sua finalidade, ou seja, pelo perfil da etapa de ensino. Essas tipologias foram especificadas a partir dos seus parâmetros térmicos e geométricos, suscitando, desta forma, os modelos de referência das edificações de ensino.

No último estágio, houve a determinação dos consumos dos modelos de referência. Estes foram obtidos a partir de simulações computacionais efetuadas numa ferramenta de simulação online chamada S3E.

A seguir serão detalhadas as etapas dos processos anteriormente citados até a etapa do consumo.

3.1 Levantamento de dados de edificações educacionais

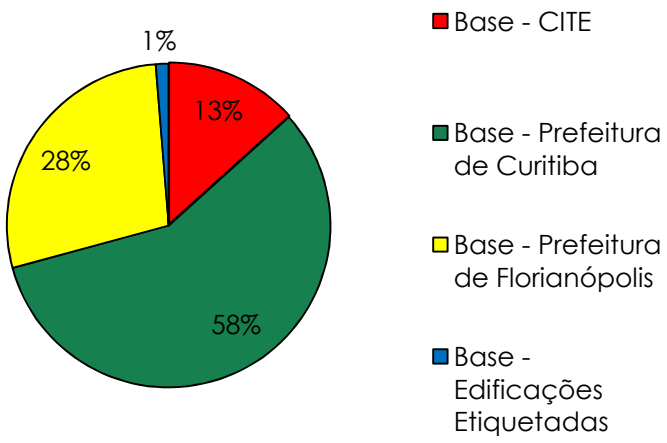
As edificações educacionais têm variantes quanto a geometria e aos métodos construtivos, sendo assim, não há um único modelo de referência previamente definido para caracteriza-las. Desta forma, para a obtenção de características que abranjam de modo generalizado essa tipologia, foram realizadas análises em bases de dados disponibilizadas ao CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações).

Foram utilizadas as seguintes bases de dados neste estudo:

- Base das edificações etiquetadas fornecida pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), a qual possuía, no total, 61 edificações, sendo 9 delas de escolas localizadas em duas Zonas Bioclimáticas Brasileiras (Zonas 2 e 3);
- Base da prefeitura de Florianópolis (195 edificações escolares – ZB3);
- Base da prefeitura de Curitiba (401 edificações escolares – ZB1);
- Base CITE (Classificador Inicial de Tipologias de Edificações) (CARLO; AMORIM, 2013), onde se encontram dados de 93 edificações escolares localizadas em Florianópolis (13 edificações - ZB3), Recife (6 edificações - ZB8), Belo Horizonte (59 edificações - ZB3) e São Paulo (15 edificações - ZB3).

A distribuição dos dados das quatro bases utilizadas está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição das bases de dados para as 698 edificações escolares consideradas neste estudo



As propriedades das edificações consideradas nesse estudo foram: área, número de pavimentos, ângulo de sombreamento horizontal (ASH), ângulo de sombreamento vertical (ASV), porcentagem de abertura de fachada (PAF), absortância das paredes e da cobertura (a), transmitância das paredes e da cobertura (U), fator solar (FS), densidade de potência em iluminação (DPI) e coeficiente de desempenho (COP) do sistema de ar-condicionado.

Os dados pertinentes às bases citadas foram agrupados em categorias, seus valores foram dissociados em intervalos e a frequência dos mesmos foram contabilizadas.

3.2 Definição de modelos de edificações educacionais

Os modelos de referência foram obtidos a partir das informações retiradas dos bancos de dados. Os modelos foram definidos de modo a considerar as edificações de educação infantil, ensino fundamental, médio e superior. Para cada modelo de referência foram consideradas configurações: de baixa eficiência energética (Menos eficiente) e de alta eficiência energética (Mais eficiente).

Considerou-se que as edificações educacionais têm elementos construtivos semelhantes, desta forma, os critérios de seleção de algumas características construtivas (transmitância térmica de paredes e coberturas, pé-direito, forma, dentre outros) foram adotados como o valor mais frequente do levantamento de dados.

3.2.1 Tipologias arquitetônicas de ambientes escolares

As tipologias arquitetônicas dos ambientes de edifícios escolares englobaram as seguintes características:

- Forma

A distribuição de frequência para a forma das edificações escolares contou com apenas uma base de dados, a base CITE. No total utilizaram-se 93 edifícios educacionais para a análise da distribuição da forma.

- Proporção Geométrica

Nenhuma das bases que continham edificações escolares dispuseram da informação proporção geométrica. Por este motivo, a informação foi obtida por outra metodologia. Uma amostra de 18 edificações escolares foi extraída da base de dados da Prefeitura de Curitiba. A partir desta, pesquisou-se as edificações via satélite, utilizando o recurso *Google Maps*, e capturou-se imagens dos edifícios. Com o auxílio do programa *Photoshop* as proporções das dimensões das fotos foram medidas e estas foram adotadas para as edificações.

Para utilizar este recurso foi considerado que as proporções das fotos seriam as mesmas das edificações, ou seja, assumiu-se que não houve distorções nas imagens.

- Percentual de Abertura da Fachada (PAF)

O percentual de abertura da fachada (PAF) das edificações escolares estava presente em duas bases de dados: base das edificações etiquetadas e base CITE. No total utilizaram-se 115 edifícios escolares para a análise da distribuição do PAF.

- Cor dos Vidros

A cor dos vidros das edificações escolares, contou com uma base de dados: a base CITE. No total utilizaram-se 93 edifícios escolares para a análise da distribuição da cor dos vidros.

- Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)

O ângulo horizontal de sombreamento (AHS) de edificações escolares contou com uma base de dados: a base das edificações etiquetadas. No total utilizaram-se 9 edifícios escolares para a análise do AHS.

- Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)

O ângulo vertical de sombreamento (AVS) de edificações escolares contou com uma base de dados: a base das edificações etiquetadas. No total utilizaram-se 9 edifícios escolares para a análise do AVS.

- Número de Pavimentos

O número de pavimentos das edificações escolares contou com todas as quatro bases de dados: a base das edificações, a base CITE, a base da Prefeitura de Curitiba e a base da Prefeitura de Florianópolis. No total utilizaram-se 659 edifícios educacionais para a análise da distribuição do número de pavimentos.

- Área por pavimento

A definição do número de pavimentos das edificações escolares contou com três bases de dados: a base das edificações etiquetadas, a base da Prefeitura de Curitiba e a base da Prefeitura de Florianópolis. No total utilizaram-se 549 edifícios educacionais para a análise da distribuição da área por pavimento.

3.2.2 Propriedades térmicas dos materiais

As propriedades térmicas dos materiais construtivos dos edifícios escolares englobaram as transmitâncias (W/m²K) e absortâncias térmicas da cobertura e das paredes, fator solar e capacidade térmica (J/m²K).

Para a determinação da transmitância térmica da cobertura e paredes pressupôs-se que todas as edificações educacionais fossem compostas pela mesma tipologia construtiva.

Apesar da absortância térmica da cobertura e das paredes de edificações escolares terem se mostrado presentes no levantamento de dados, os valores de absortância térmica da cobertura e das paredes utilizados para os modelos de referências foram extraídos das opções do S3E (valor mínimo e valor intermediário para a cobertura e, valor mínimo e máximo para as paredes).

Informações sobre o fator solar do vidro somente foram obtidas da base de dados das edificações etiquetadas. No total a base dispunha de 7 valores desta propriedade de um total de 9 edifícios educacionais.

3.2.3 Ocupação e Sistemas de Iluminação e Condicionamento de Ar

A ocupação e os sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar englobaram a densidade de potência de iluminação (DPI - W/m²), densidade de pessoas (m²/pessoa) e o equivalente numérico do condicionamento de ar (EqNumCA), conforme o RTQ-C, o qual depende do Coeficiente de Desempenho (COP) do sistema de ar-condicionado.

Para a DPI e o COP das edificações escolares, adotou-se para as simulações os valores do RTQ-C relativos aos níveis "D" e "A".

Nenhuma das bases que continham edificações escolares dispuseram da informação sobre densidade de pessoas. Dessa forma, utilizou-se de princípios fotogramétricos para a obtenção das dimensões e, a partir destas, encontrar o valor das áreas. O número de indivíduos foi considerado equivalente ao número de carteiras presentes nas plantas baixas dos projetos arquitetônicos. Na posse dos dados encontrados nas etapas anteriores (área e quantidade de indivíduos), foram calculados a densidade de pessoas nos modelos de cada tipologia (educação infantil, ensino fundamental e médio e, ensino superior) de sala de aula.

3.3 Simulações no simulador S3E

Após a definição dos modelos de referência de edificações educacionais, os consumos de energia dos modelos foram determinados por meio do simulador S3E - Simulador de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE, 2015), o qual utiliza o programa *EnergyPlus* como *core* de simulação. As oito zonas bioclimáticas brasileiras foram consideradas: ZB1 (Curitiba-PR), ZB2 (Santa Maria-RS), ZB3 (São Paulo-SP), ZB4 (Brasília-DF), ZB5 (Niterói-RJ), ZB6 (Campo Grande-MS), ZB7 (Cuiabá-MT) e ZB8 (Salvador-BA).

4 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho contemplam os modelos de referência de edificações educacionais e seus respectivos consumos de energia.

4.1 Modelos de referência de edificações educacionais

Com embasamento teórico na ASHRAE 90.1 (2013) e no levantamento de dados chegou-se a decisão de estabelecer três tipologias de edificações educacionais: 1) Educação Infantil, com 1 pavimento; 2) Ensino Fundamental e Médio, com 2 pavimentos; 3) Ensino Superior, com 4 pavimentos.

A forma retangular mostrou-se mais recorrente nos gráficos de distribuição de frequência bem como a proporção de 1,4. Assim estas características foram atribuídas aos modelos de referência.

A tipologia de referência 1 – Educação Infantil, conta com um pavimento e 500 m² por pavimento e proporção geométrica de 26,46m X 18,90m. A tipologia de referência 2 – Ensino Fundamental e Médio, com dois pavimentos e 1250 m² por pavimento e proporção geométrica de 41,83m X 29,88m e a tipologia de referência 3 – Ensino Superior, com quatro pavimentos e 1750 m² por pavimento com uma proporção geométrica de 49,49m X 35,36m. Para todos os modelos foi adotado um pé direito de 3,5m (de piso a piso).

Com relação as aberturas, o percentual de abertura da fachada (PAF) foi adotado em 40%. A cor dos vidros mais comum foi a transparente. A maior concentração de dados das variáveis ângulo horizontal de sombreamento e ângulo vertical de sombreamento, apontou para a inexistência de elementos de proteção solar. Pelos valores adaptados do S3E e pelos valores máximos e mínimos extraídos da frequência de dados, ficaram estipulados para representar os modelos de referência: o fator solar mais eficiente foi definido como 0,29 e o menos eficiente foi estabelecida como 0,82.

A Tabela 1 apresenta o resumo das características simuladas no S3E para cada uma das oito cidades estudadas.

4.2 Consumo de energia dos modelos de referência

Os resultados obtidos a partir das simulações no S3E disponibilizaram dados do consumo de energia e a etiqueta equivalente segundo o RTQ-C.

A Tabela 2 apresenta os consumos totais de energia (ar-condicionado, iluminação artificial e equipamentos) para os três modelos de referência de edificações educacionais. Na Tabela 2 também é mostrada a etiqueta pelo RTQ-C e a porcentagem de economia de energia entre a configuração com baixa eficiência energética (Menos eficiente) e a configuração com alta eficiência (Mais eficiente).

Tabela 1 - Dados utilizados nas simulações no S3E

	Menos Eficiente	Mais Eficiente
Geometria		
Forma	Retangular	
Dimensões	1 – Educação Infantil (26,46m X 18,90m); 2- Ensino Fundamental e Médio (41,83m X 29,88m); 3 - Ensino Superior (49,49m X 35,36m).	
Pavimentos	1 – Educação Infantil (1 pavimento); 2 - Ensino Fundamental e Médio(2 pavimentos); 3 - Ensino Superior (4 pavimentos).	
Orientação Solar	0°	
Pé-direito (piso a piso)	3,5m	
Aberturas		
PAF - Percentual de abertura na fachada	40%	
PAZ - Percentual de abertura zenital	0%	
Componentes Construtivos		
Parede Externa	argamassa interna 2,5cm - bloco cerâmico 9x14x24 cm - argamassa externa 2,5 cm (U=2,46W/m²K)	
Cor da Parede	Intermediária - absortância 0,5	Clara - absortância 0,3
Cobertura	laje maciça 10 cm - câmara de ar - telha fibrocimento (U=2,06W/m²K)	
Cor da Cobertura	Escura - absortância 0,8	Clara - absortância 0,3
Janela	vidro simples incolor 6mm (FS=0,82)	vidro de alto desempenho laminado incolor 8 mm (FS=0,29)
Piso entre Andares	Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) sem telhamento (U=2,95 W/m²K)	
Piso Térreo	Concreto maciço (U=3,29 W/m²K)	
Parede Interna	Parede interna de baixa inércia térmica	
Iluminação e ganhos		
Densidade de Potência - iluminação (W/m²)	15,5	10,7
Densidade de ocupação (m²/pessoa)	1,16	
Densidade de Potência - equipamentos (W/m²)	9,7	
Condicionamento de ar		
Refrigeração		
COP (W/W)	2,60	3,24
Temperatura Setpoint (°C)	24	
Aquecimento		
COP (W/W)	2,60	3,24
Temperatura Setpoint (°C)	18	

Tabela 2 – Consumo de energia dos modelos de referência de edificações educacionais

ZB	Modelo	Escola - Educação Infantil- 26,46m x 18,90m 1 pavimento			Escola - Ensino Fundamental - 41,83m X29,88m 2 pavimentos			Escola - Ensino Superior - 49,49m x 35,36m 4 pavimentos		
		Consumo Total (kWh/m²ano)	Economia (%)	Etiqueta	Consumo Total (kWh/m²ano)	Economia (%)	Etiqueta	Consumo Total (kWh/m²ano)	Economia (%)	Etiqueta
ZB1	Menos Eficiente	97,4	26,3%	E	96,4	30,0%	E	116,9	27,0%	E
	Mais Eficiente	71,8		B	67,5		A	85,3		A
ZB2	Menos Eficiente	113,0	26,2%	E	96,4	30,0%	E	133,6	27,5%	E
	Mais Eficiente	83,3		B	67,5		A	96,8		A
ZB3	Menos Eficiente	104,9	28,5%	E	107,3	30,8%	E	129,5	28,3%	E
	Mais Eficiente	75,0		A	74,2		A	92,8		A
ZB4	Menos Eficiente	95,9	17,4%	E	122,0	32,4%	E	145,1	28,7%	E
	Mais Eficiente	79,3		A	82,4		A	103,4		A
ZB5	Menos Eficiente	123,9	30,8%	E	131,9	31,6%	E	158,2	28,3%	E
	Mais Eficiente	85,7		A	90,3		A	113,4		A
ZB6	Menos Eficiente	140,8	30,4%	E	148,6	30,3%	E	173,5	27,5%	E
	Mais Eficiente	98,0		A	103,5		A	125,7		A
ZB7	Menos Eficiente	173,6	30,0%	E	184,1	29,3%	E	211,7	26,6%	D
	Mais Eficiente	121,5		A	130,1		A	155,3		A
ZB8	Menos Eficiente	173,3	30,9%	E	183,2	30,0%	E	211,1	27,2%	D
	Mais Eficiente	119,8		A	128,2		A	153,6		A

Para o modelo de Educação Infantil, os consumos totais de energia variaram entre 71,8 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e 173,6 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7). Para o modelo de Ensino Fundamental/Médio, os consumos de energia variaram entre 67,5 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e 184,1 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7). Para o modelo de Ensino Superior, os consumos de energia variaram entre 85,3 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e 211,7 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7). A diferença de consumo entre as cidades pode ser atribuída não somente ao clima, mas à adequação das tipologias e características construtivas adotadas à estes climas.

O uso de aquecimento somente foi necessário nas cidades de Curitiba (ZB1) e Santa Maria (ZB2). Porém, os consumos em aquecimento representaram menos de 5% de energia com relação ao consumo total.

As diferenças entre os consumos de energia das configurações com baixa e alta eficiência energética foram em média de 27,6% (Educação Infantil), 30,6% (Ensino Fundamental/Médio) e de 27,7% (Ensino Superior). De modo geral e considerando o mesmo clima, os modelos de referência de edificações educacionais classificados com a etiqueta A pelo RTQ-C consomem em média 29% a menos de energia que os modelos com etiqueta E.

A maioria dos modelos Menos eficiente foram classificados com a etiqueta "E" por meio do RTQ-C e a maioria dos modelos Mais eficiente receberam a etiqueta "A". Os modelos Menos eficiente ficaram muito próximos do limite inferior da classificação "D". Este resultado já era esperado, pois foram adotados valores de eficiência dos sistemas de iluminação e ar-condicionado referentes as classificações "D" e "A" e outros parâmetros térmicos foram considerados com base no banco de dados das edificações etiquetadas.

Os consumos de energia dos modelos de referência com baixa eficiência (Menos eficiente) podem ser utilizados como indicadores mínimos de eficiência energética para as edificações educacionais.

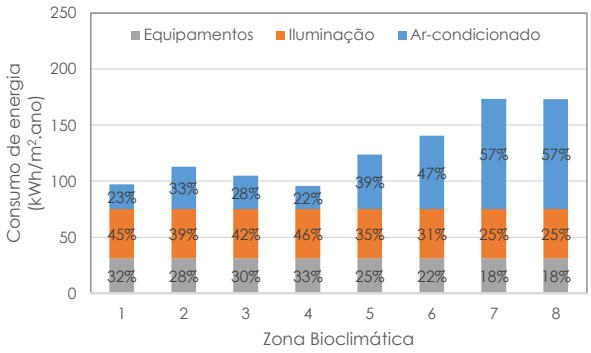
A Figura 2 mostra, os consumos de energia por uso final para os modelos de referência de Educação Infantil, Ensino Fundamental/Médio e Ensino Superior, para as configurações de baixa (Menos eficiente) e alta eficiência energética (Mais eficiente), em função das oito zonas bioclimáticas brasileiras.

Os consumos de energia aumentaram gradativamente entre a ZB1 e a ZB8. Entretanto, os maiores consumos foram atingidos para a cidade de Cuiabá (ZB7).

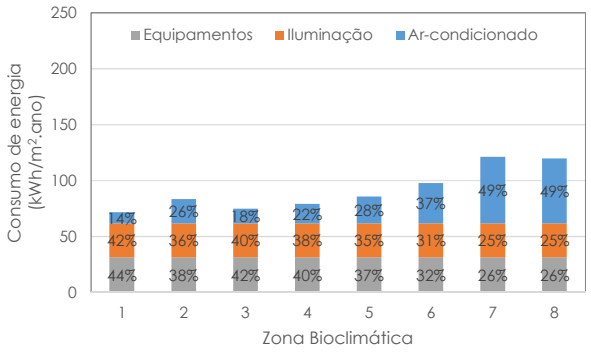
Os sistemas de ar-condicionado foram responsáveis por até 70% do consumo com relação ao total de energia consumida, no caso das zonas bioclimáticas 7 e 8 nas configurações com baixa eficiência energética.

Cada um dos seis gráficos apresentados na Figura 2, quando analisados separadamente, mostram que os consumos de energia em iluminação artificial e equipamentos são idênticos, sendo o consumo em sistema de ar-condicionado variável conforme a zona bioclimática. Assim, pode-se observar as variações percentuais que cada uso final exerce em cada configuração estudada. De maneira geral, por meio das melhorias realizadas na configuração com baixa eficiência energética, percebe-se que nas configurações com alta eficiência, os percentuais relativos a iluminação artificial permaneceram praticamente os mesmos, as parcelas de consumo em sistema de ar-condicionado diminuíram e as porcentagens do consumo total devido ao uso de equipamentos aumentaram.

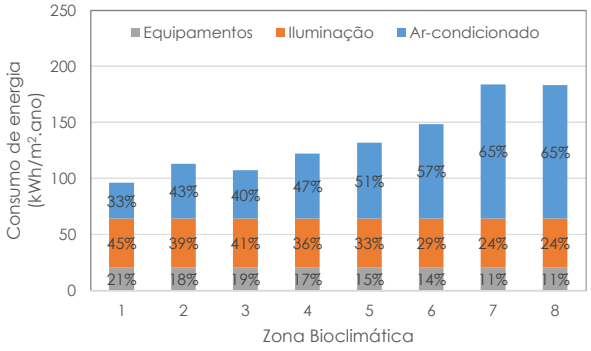
Figura 2 – Consumo de energia por uso final dos modelos de referência de Educação Infantil, Ensino Fundamental/Médio e Ensino Superior



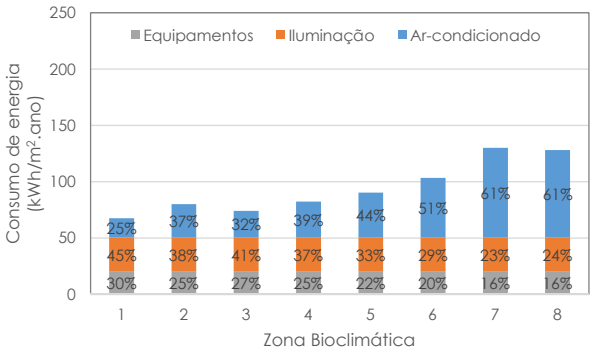
(a) Menos eficiente – Educação Infantil



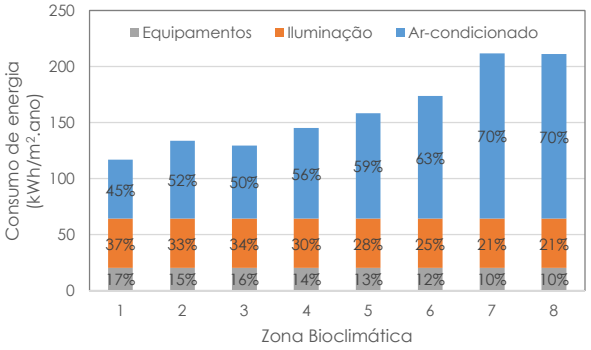
(b) Mais eficiente – Educação Infantil



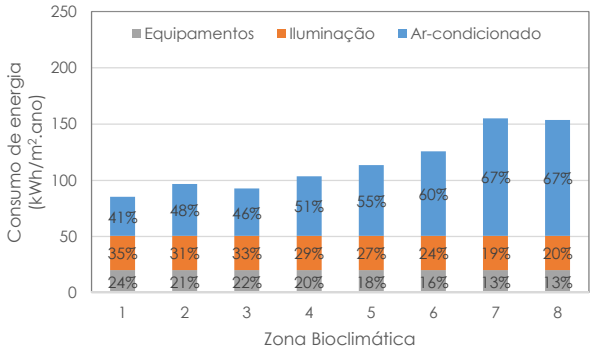
(c) Menos eficiente – Ensino Fundamental/Médio



(d) Mais eficiente – Ensino Fundamental/Médio



(e) Menos eficiente – Ensino Superior



(f) Mais eficiente – Ensino Superior

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, modelos de referência de edificações educacionais foram definidos para simulação termoenergética e seus consumos de energia foram determinados. Os modelos de referência definidos neste trabalho, com configurações de baixa eficiência energética, podem ser utilizados como indicadores mínimos de eficiência energética para as edificações educacionais brasileiras. Porém, estudos futuros poderiam definir tipologias específicas para cada zona bioclimática, considerando um maior banco de dados, a fim de representar mais precisamente o estoque nacional construído.

Três modelos de referência foram definidos: 1) Educação Infantil, com um pavimento e área total de 500m^2; 2) Ensino Fundamental e Médio, com dois pavimentos e área total de 2500m^2 e, 3) Ensino Superior, com quatro pavimentos e área total de 7000m^2. Tais modelos tiveram seus consumos de energia determinados em duas configurações: uma considerando parâmetros de baixa eficiência energética, porém, retratando a realidade das construções educativas brasileiras e outra considerando melhorias nos sistemas de iluminação e ar-condicionado, absortância de paredes e cobertura e vidros.

A variação observada nos resultados de consumo da Figura 2 mostra que uma edificação com as mesmas características formais e construtivas tende a se comportar de maneira diferente quando submetida a diferentes zonas bioclimáticas. Apesar disso, as tipologias encontradas pouco variaram de acordo com o contexto climático considerado, mostrando que existe sub-aproveitamento do potencial de economia de energia mediante o uso de estratégias bioclimáticas para cada caso.

Os consumos totais de energia variaram entre 67,5 kWh/m^2.ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e o modelo de Ensino Fundamental/Médio e, 211,7 kWh/m^2.ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7) e o modelo de Ensino Superior.

De modo geral, considerando o mesmo clima, um modelo de referência de edificação classificado com a etiqueta A pelo RTQ-C consome em média 29% a menos de energia que um modelo com etiqueta E.

Os resultados obtidos possibilitam futuras projeções de consumo, adequando-se as classificações de desempenho energético a futuras medidas de economia de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ASHRAE (2013). **ASHRAE 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning engineers. Atlanta, GA, EUA.

BRASIL. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria nº 372**, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

_____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria Complementar nº 17**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

_____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria Complementar nº 299**, de 19 de junho de 2013. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

_____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria Complementar nº 126**, de 18 de março de 2014. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

CARLO, J.; AMORIM, A.C. **Caracterização de Tipologias de Edifícios Comerciais.** Universidade Federal de Viçosa. [S.l], 2013.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2015**. Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. Brasília: ano base 2014. 2015, p.289.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Statistics Manual**. IEA Publications, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federalde Santa Catarina. **Simulador S3E** - Simulador de Eficiência Energética de Edificações. Disponível em: < http:// www.s3e.ufsc.br>. Acesso em set. 2015.

SEKKI, T.; AIRAKSINEN, M.; SAARI, A. Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 105–115, 2015.

WANG, S.; YAN, C.; XIAO, F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 873–888, 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

COBOGÓ COMPUTACIONAL – DA COMPUTAÇÃO MATERIAL E DA ATUALIZAÇÃO DE ELEMENTOS VAZADOS NA ARQUITETURA[1]

SANTANA NETO, Ernesto José de (1); SILVA, Robson Canuto da (2)

(1) UNICAP, e-mail: eneto.santana@gmail.com; (2) UNICAP, e-mail: robsoncanuto.arq@gmail.com

RESUMO

Buscando controle microclimático do ambiente interno foram desenvolvidos equipamentos elétricos que contribuíram para ampliar o consumo energético e construir um paradigma arquitetônico, a independência entre interior e exterior. Soluções arquitetônicas passivas praticamente desapareceram da arquitetura, evidenciando espaços fechados com temperatura homogênea. Estudos recentes demonstram que a atualização dessas soluções permite repensar esse paradigma valorizando espaços climaticamente heterogêneos e aprimorando capacidades performativas. Este artigo investiga estratégias de atualização de cobogós, com maior eficiência energética, fundamentando-se na Computação Material, técnica que busca maior desempenho através do estudo das propriedades do material, compreendendo quatro aspectos que estruturam o trabalho: Materialidade, Estrutura material, Desempenho material e Materialização. Observou-se que a cerâmica, um dos materiais mais utilizados na produção de cobogós, possui uma geometria microestrutural que segue uma lógica voronoi, ao incorporar essa lógica ao desenvolvimento de uma nova geometria de cobogó foi observado um leve aumento no desempenho térmico quando comparado a cobogós padrões de mercado.

Palavras-chave: Computação material. Cobogó. Eficiência energética.

ABSTRACT

In order to achieve a higher microclimatic control of the internal environment were developed electrical equipment that contributed to increase the energy consumption and build an architectural paradigm, the independence between interior and exterior. Passive architectural solutions nearly disappeared from architecture, giving way to closed spaces with homogeneous temperature. Recent studies shows that upgrading these solutions allows the rethinking of this paradigm valuing climatic heterogeneous spaces and improving performative capabilities. This paper investigates strategies of updating cobogós energy efficiency, based on material computation, a technique that seeks greater architectural performance through the investigation of material properties, comprising four aspects that structure the paper: Materiality, Material structure, Material performance and Materialization. Analysis in ceramic, the most common material in the manufacturing of cobogós, showed voronoi microstructure geometry in the material, incorporating this logic to the development of a new geometry of cobogó results a slight increase of its thermal performance comparing with standard cobogós.

***Keywords**: Material computation. Cobogó. Energy efficiency.*

[1] SANTANA NETO, E.J.; SILVA, R.C.. Cobogó Computacional – Da computação material e da atualização de elementos vazados na arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Investigações sobre controle microclimático do ambiente interno deram origem a equipamentos elétricos de refrigeração e calefação, ampliando o consumo energético. Segundo Hensel (2008), a invenção destes aparelhos partiu de uma relação dicotômica entre interior e exterior, gerando uma busca por espaços fechados de temperatura homogênea. Todavia, as atuais políticas de sustentabilidade para amenizar os impactos destes aparelhos abordam quase que exclusivamente estratégias de redução da perda energética utilizando tecnologias que também são eletroeletrônicas, ampliando a dicotomia originadora destes equipamentos.

> Consequentemente, e obviamente, esta abordagem reforça a estrita dicotomia entre interior e exterior que veio de mãos dadas com o surgimento destes dispositivos em primeiro lugar. Temos, portanto, herdado um incontestável paradigma espacial solipsista que é determinado e, por sua vez, determina a maneira como pensamos a modulação homogênea de ambientes quase hermeticamente fechados. (HENSEL, 2008, p. 49, tradução nossa)

Para contornar este efeito sem abdicar do conforto moderno, Hensel (2008) defende a atualização contemporânea de estratégias arquitetônicas, de controle ambiental, utilizadas anteriormente à invenção destes equipamentos, pois após sua chegada, elementos como pátios, galerias e varandas praticamente desapareceram do repertório espacial.

Neste cenário, a utilização do design computacional[2] destaca-se como uma ferramenta de desenvolvimento destas novas abordagens, pois através dos meios digitais podem-se ampliar as possibilidades de variação e desempenho de soluções tradicionais da construção civil. Como por exemplo, o cobogó, um sistema vazado utilizado na arquitetura moderna brasileira como elemento de vedação com o intuito de permitir a ventilação e filtrar a incidência solar. Na região Nordeste, a estratégia de vazar os muros com cobogós, defendida por Holanda (1976), mostrou-se como um instrumento de adaptação tropical das edificações.

> Combinemos as paredes compactas com os panos vazados para que filtrem a luz e deixem a brisa penetrar. [...] Desenvolvamos novos padrões, estudando a disposição dos septos e a relação dos cheios e vazios, em função da orientação dos locais onde serão empregados e dos níveis de iluminação e ventilação desejados de forma a valorizar o cobogó como elemento construtivo e expressivo de uma arquitetura aberta dos trópicos. (Holanda, 1976, p. 25-27).

O cobogó pode ter seu desempenho ampliado através do design computacional, pelo controle de seus aspectos formais. A atualização do cobogó através dessa abordagem pode ser um método eficiente de controle microclimático, minimizando o uso de aparelhos elétricos e reassumindo seu papel na integração visual e ambiental entre interior e exterior.

---

[2] Concepção projetual desenvolvida através da colaboração de processos computacionais. (AHLQUIST; MENGES, 2011)

2 COMPUTAÇÃO MATERIAL

A computação material é um campo do design computacional baseado no estudo das propriedades do material para orientar a concepção arquitetônica. Menges (2012) apresenta esta técnica como uma forma de aproveitamento da matéria, pois através dela as capacidades do material transformam-se em objeto de pesquisa para geração da forma.

> Uma alternativa de abordagem projetual que desdobra a forma (Gestalt) específica do material, e suas capacidades performativas relacionadas, pela reconciliação da geração da forma (Form) e a materialização física [...] integrando a informação do material como um processo gerador da concepção projetual. (Menges, 2012, p. 17, tradução nossa).

Segundo Menges (2014, informação verbal)[3], uma pesquisa de computação material é desenvolvida a partir de quatro aspectos acerca do material trabalhado:

- Materialidade – Estudo das características do material e de seus comportamentos, visando à integração de tais informações ao processo de concepção.
- Estrutura do material – Estudo das formas de organização da microestrutura material dentro de uma lógica construtiva, buscando alcançar um maior desempenho estrutural.
- Desempenho do material – Estudo da capacidade intrínseca do material através da análise de sua responsividade frente ao meio no qual está inserido.
- Materialização – Estudo dos meios de produção da forma arquitetônica, buscando conciliar o método de fabricação ao material trabalhado.

Embora em diferentes projetos um ou outro aspecto sobressaia-se frente aos demais, todos estão presentes dentro de uma investigação baseada neste conceito. Segundo Menges,

> Em um futuro não muito distante, os arquitetos não serão capazes apenas de aplicar a computação para integrar e modular o comportamento e as capacidades performativas de materiais existentes, mas também serão capazes de projetar a própria materialidade em si. (Menges, 2012, p. 21, tradução nossa).

Deste modo, o uso desta técnica na atualização do cobogó tem potencial de ampliar seu desempenho através da investigação de materiais e meios produtivos que possuam propriedades de alta eficiência energética.

[3] Informação fornecida por Achim Menges na palestra Rethinking Materiality Through Computation in Architecture realizada na Associação de Arquitetos de Estocolmo em Abril de 2014. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=PbgArau_4vI. Acesso em: Maio de 2015.

3 COBOGÓ COMPUTACIONAL

Diante do exposto, foi utilizada a computação material para a pesquisa de um cobogó que atendesse às expectativas contemporâneas, desenvolvendo uma estratégia projetual de um sistema vazado, baseada em uma investigação material, que propiciasse uma produção com desempenhos variados. Assim, foi desenvolvida uma metodologia baseada nos quatro aspectos da computação material.

- Materialidade – Estudo do material cerâmico, principal material utilizado na produção de cobogós e que possui alto desempenho térmico;
- Estrutura do material – Estudo das formas de organização microestrutural dos materiais cerâmicos, assim como suas propriedades térmicas;
- Desempenho do material – Estudos comparativos de desempenho entre os modelos de cobogó padrões de mercado e os protótipos desenvolvidos;
- Materialização – Estudo das formas de fabricação dos protótipos.

3.1 Materialidade

O cobogó foi desenvolvido em diversos materiais dentre os quais, a cerâmica merece destaque, pois possui propriedades térmicas que favorecem a finalidade de controle climático.

Segundo a ABCERAM (2015), "cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.", o material pode ter classificações diferentes segundo suas propriedades.

O tipo de cerâmica mais utilizada na produção de cobogós é a cerâmica vermelha. Esta cerâmica possui propriedades de isolamento térmico, durabilidade e resistência a altas temperaturas, e sua principal matéria-prima é a argila, material do qual deriva a argila expandida que possui um desempenho térmico ainda maior.

> A argila expandida é o produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila na temperatura em torno de 1200 °C. Próximo desta temperatura, uma parte dos constituintes do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que são incorporados por esta massa sinterizada, expandindo-a em até sete vezes o seu volume inicial. (W. G. Moravia et al., 2006, p. 193).

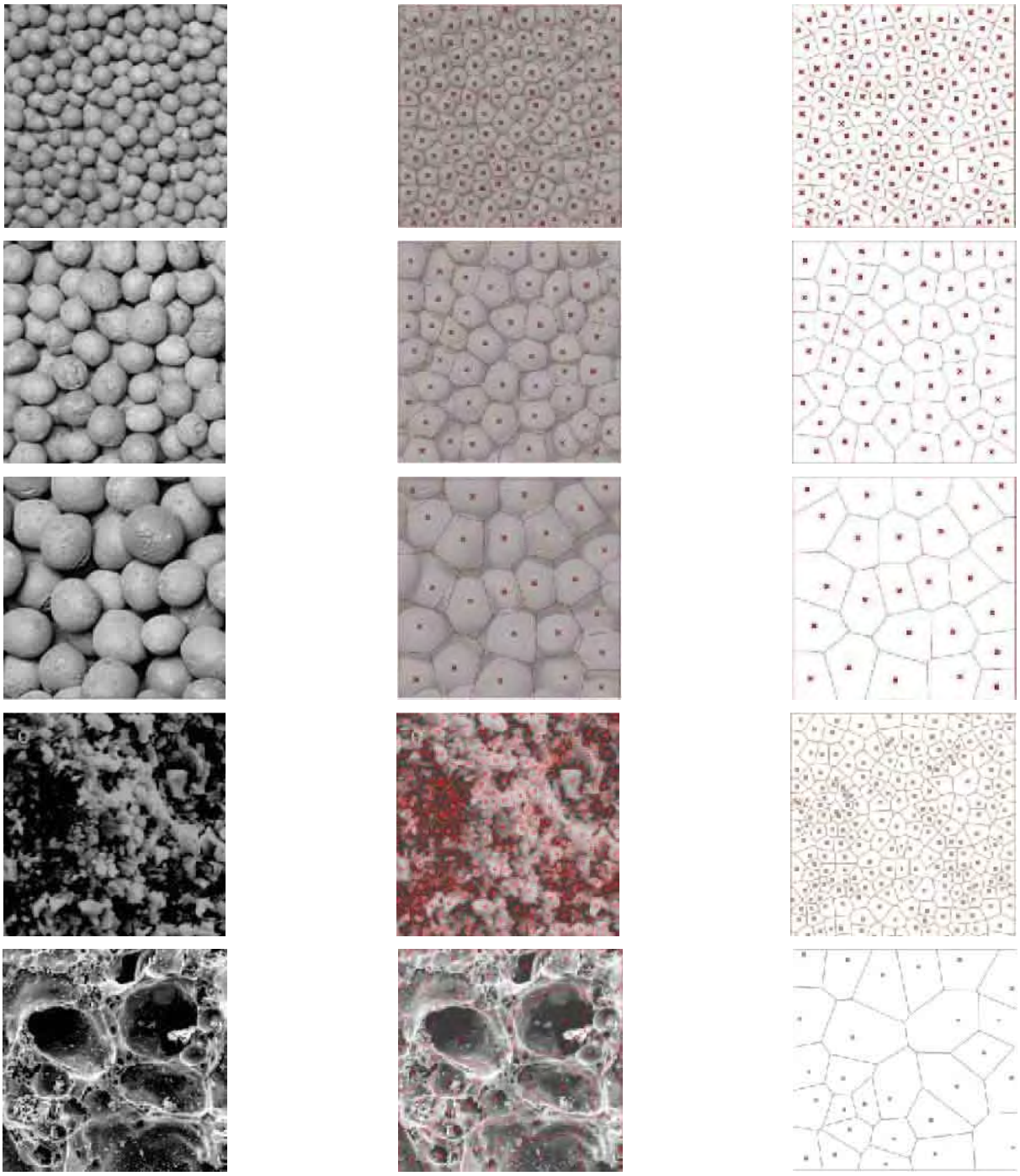
Trata-se de esferas cerâmicas, com micro poros internos, revestidas por uma casca. A argila expandida pode ser produzida em diferentes granulometrias e sua disposição em um espaço varia segundo estas diferenças.

3.2 Estrutura do material

Ao observar as formas de organização da argila expandida em um espaço, percebe-se uma lógica de estruturação voronoi. O voronoi é um modelo matemático de decomposição do espaço através de células cuja distância

entre seus vértices e seu centroide não excede a distância entre dois centroides (TRAN et al., 2009). Ao sobrepor um diagrama voronoi à imagem de um conjunto de argilas expandidas, assim como na estrutura microscópica das superfícies internas e externas, percebe-se a relação entre as duas estruturas (Figura 1).

Figura 1 – Estruturação voronoi macro e microscópica da argila expandida

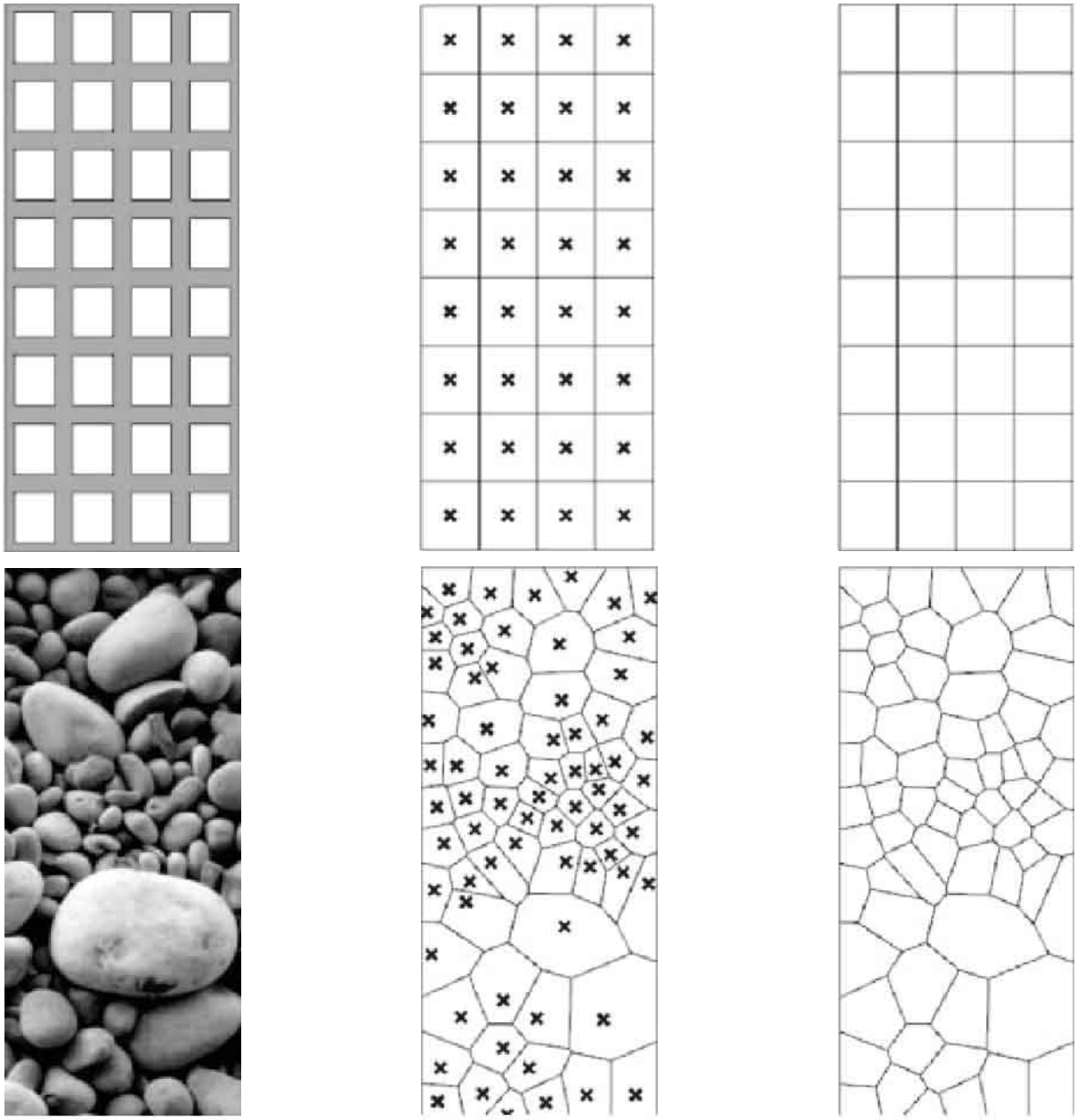


Fonte: W. G. Moravia et al. (2006) / Estudos autorais

Em contrapartida, percebem-se lógicas euclidianas de decomposição do espaço nos padrões comerciais de cobogós, através de uma malha homogênea com aberturas idênticas em todos os pontos do sistema.

Entretanto, na decomposição voronoi, verifica-se malhas heterogêneas, proporcionando diferentes composições dentro do mesmo sistema (Figura 2), a utilização desta estrutura no desenvolvimento de cobogós indica maior variação em suas capacidades térmicas.

Figura 2 – Malha homogênea do cobogó tradicional versus malha heterogênea da estrutura voronoi



Fonte: SPLabor (2015) / Estudos autorais

3.2.1 Propriedades térmicas

Não obstante, a argila expandida é um material poroso[4], segundo Whitaker

[4] Material que contém poros significativos em sua microestrutura.

(1969), as principais propriedades de um material poroso são a porosidade, permeabilidade e condutividade térmica, tais características determinam o desempenho térmico do material.

- Porosidade – Porcentagem de volume vazio presente em uma quantidade de material é resultado da razão entre o volume de vazios e o volume total da amostra;

$$n = [Vv/(Vv+Vs)].100 \quad (1)$$

- Permeabilidade – Capacidade de o material transmitir fluidos é resultado da razão entre a multiplicação da espessura da amostra com a vazão final do fluido e a multiplicação da seção transversal da amostra, o tempo de escoamento do fluido e a carga hidráulica;

$$k = (Q.L)/(A.t.h) \quad (2)$$

- Condutividade térmica – Capacidade de o material transferir calor de um meio quente para um meio frio é resultado da razão entre a multiplicação da espessura unitária da amostra com a variação de calor e a multiplicação da seção transversal unitária da amostra, o intervalo de tempo entre as trocas de calor e a variação de temperatura entre as extremidades;

$$k = (\Delta Q.L)/(A.\Delta t.\Delta T) \quad (3)$$

A condutividade térmica calcula a transferência de calor por condução, entretanto para calcular a transferência de calor levando em conta a convecção deve-se utilizar a transmitância térmica, resultado do inverso da razão entre a espessura total do material e sua condutividade térmica.

$$U = 1/(e/k) \quad (4)$$

3.3 Desempenho do material

Para investigar o desempenho de um sistema vazado de organização voronoi, buscou-se inicialmente compreender as características e desempenhos dos cobogós comerciais:

- Cobogó Padrão – Forma mais comum de cobogó, sua estrutura baseia-se na subtração de um grid de vazios sobre uma superfície cheia (Figura 3);

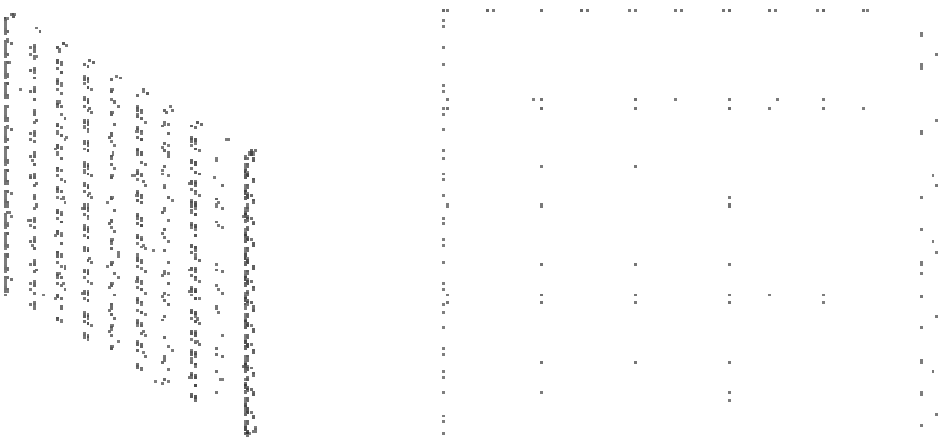
Figura 3 – Representações do cobogó padrão



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Veneziano – Sistema vazado composto de elementos inclinados para proteção da chuva no interior do ambiente (Figura 4);

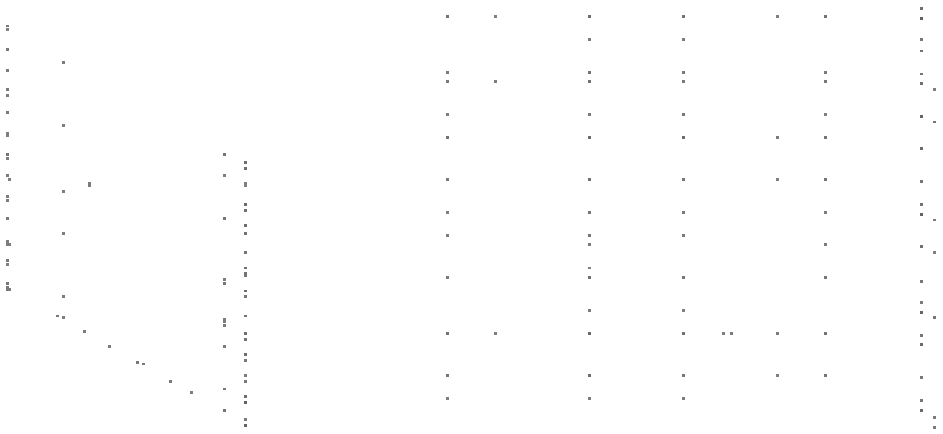
Figura 4 – Representações do cobogó veneziano



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Boca de Lobo – Sistema baseado na ideia de peitoril ventilado, possui elementos de proteção invertidos nas faces externas e internas (Figura 5).

Figura 5 – Representações do cobogó boca de lobo



Fonte: Estudos autorais

Observa-se que a composição desses cobogós está fundamentada, ainda que intuitivamente, nas características de materiais porosos, pois estão estruturalmente baseados em uma relação de cheios e vazios.

Portanto, para estudar o desempenho térmico dos sistemas vazados foram definidos três itens de análise relacionados com as três propriedades dos materiais porosos:

- Volume de Vazios ("Porosidade") – Volume de vazios presentes em um sistema vazado, medido em porcentagem;
- Velocidade da Ventilação Interna ("Permeabilidade") – Velocidade com que o vento percorre o interior de um ambiente que possui um sistema vazado em uma ou mais de suas superfícies externas, medida em km/h;
- Temperatura Interna ("Transmitância Térmica") – Temperatura medida no interior de um ambiente que possui um sistema vazado em uma ou mais de suas superfícies externas, medida em °C.

Visando analisar o desempenho desses sistemas em função das propriedades foi desenvolvido um modelo virtual, utilizando o software Rhinoceros (McNeel & Associates, 2014), cúbico de 3m de lado, com espessuras de paredes e lajes de 20 cm, apresentando sistemas vazados idênticos em duas faces opostas, para garantir equidade de fatores ambientais na análise (Figura 6). Segundo Bittencourt; Cândido (2010), essa simetria é uma condição fundamental para a análise das propriedades em função da porosidade.

> Para construções apresentando aberturas de entrada e saída iguais, a média da velocidade interna de ar é função da porosidade da construção, representada pela razão do total da área aberta dividida pela área da parede, independentemente da direção do vento. (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 54).

Figura 6 – Modelos desenvolvidos para análise



Fonte: Estudos autorais

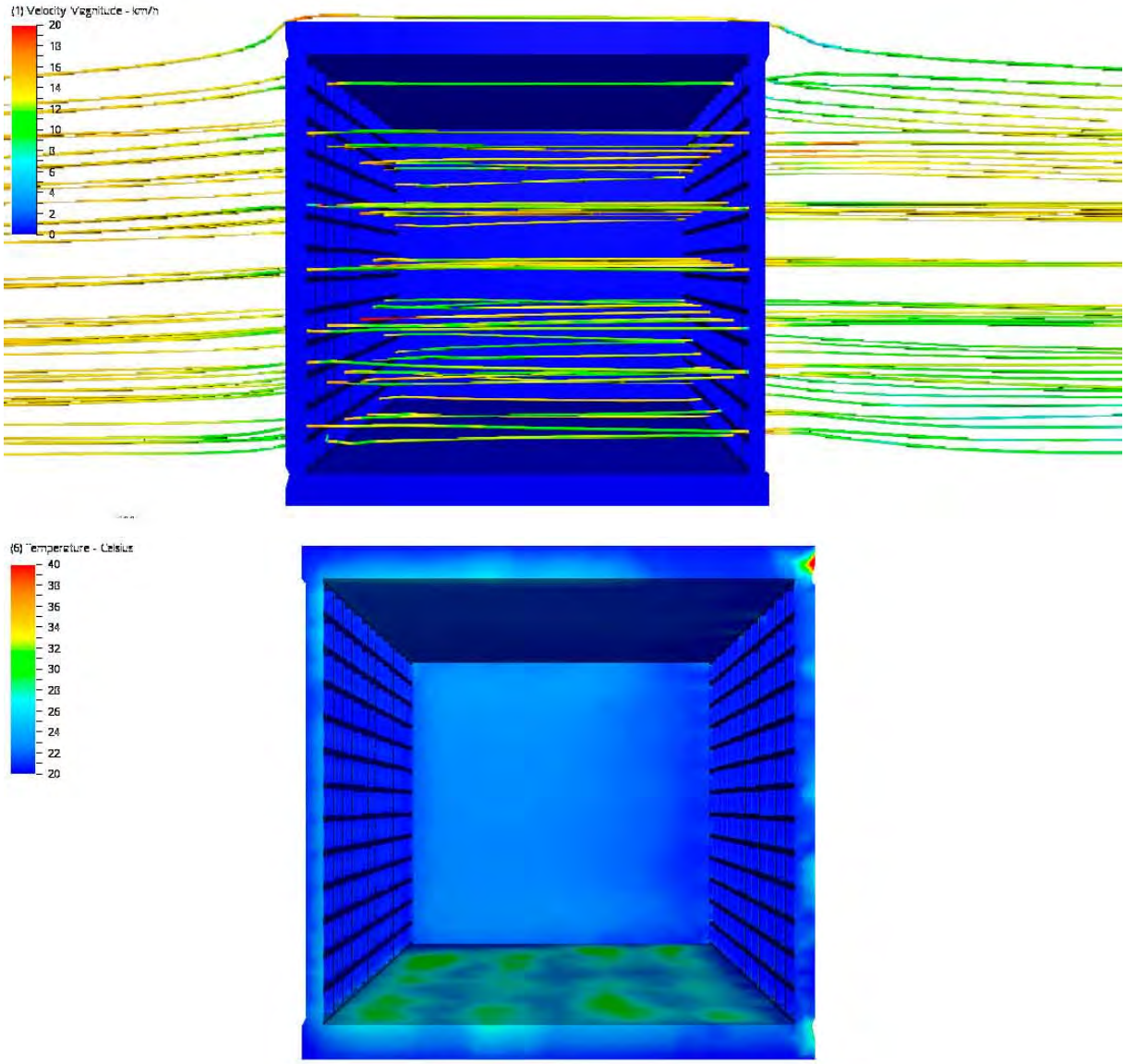
3.3.1 CFD (Control Fluid Dynamics)

O desempenho desses sistemas foi simulado através do software CFD (Autodesk Inc., 2015), tal software pode ser utilizado para análise de condições ambientais de edificações. Para configuração ambiental o software utiliza informações de coordenadas geográficas, data e hora e orientação do modelo. Além de um invólucro no qual são aplicadas as configurações ambientais como, velocidade do vento e temperatura externa.

Para efeito de análise foram determinadas condições ambientais idênticas, baseadas no clima recifense, em todos os modelos, tais como, incidência solar segundo as coordenadas da Cidade do Recife, 8º3'S e 34º52'W, data de análise 22/12 (solstício de verão no hemisfério sul), horário de análise 12h00min, presença dos sistemas nas fachadas leste e oeste, velocidade do vento a 15km/h (velocidade média do vento em Recife) e temperatura externa de 27ºC (temperatura média de Recife no verão) APAC (2015).

- Cobogó Padrão – Este sistema possui volume de vazios de 39%, a velocidade de ventilação interna predominou em 14km/h com poucas variações, isto deve-se a abertura deste sistema que permite maior fluidez do vento e uma moderada incidência solar, propiciando a elevação da temperatura interna que pôde chegar, em certos pontos, próxima a 32ºC (Figura 7);

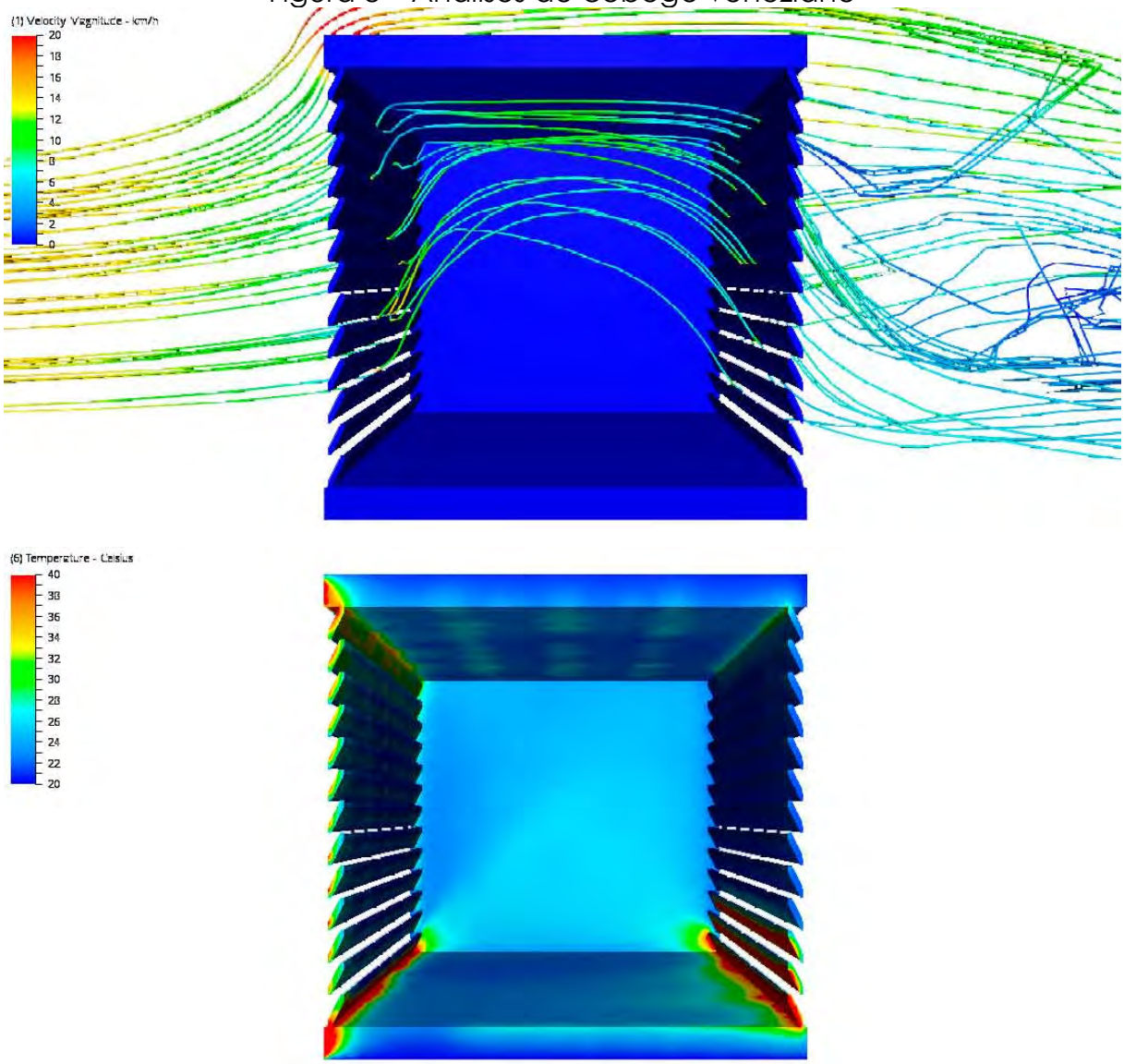
Figura 7 – Análises do cobogó padrão



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Veneziano – Este sistema possui volume de vazios de 36%, a velocidade de ventilação interna predominou em 10km/h com variações chegando a 6km/h, isto deve-se à composição inclinada do elemento que controla moderadamente o acesso da ventilação e diminui a incidência solar, permitindo temperaturas internas mais amenas em relação ao sistema anterior, em torno de 27°C (Figura 8);

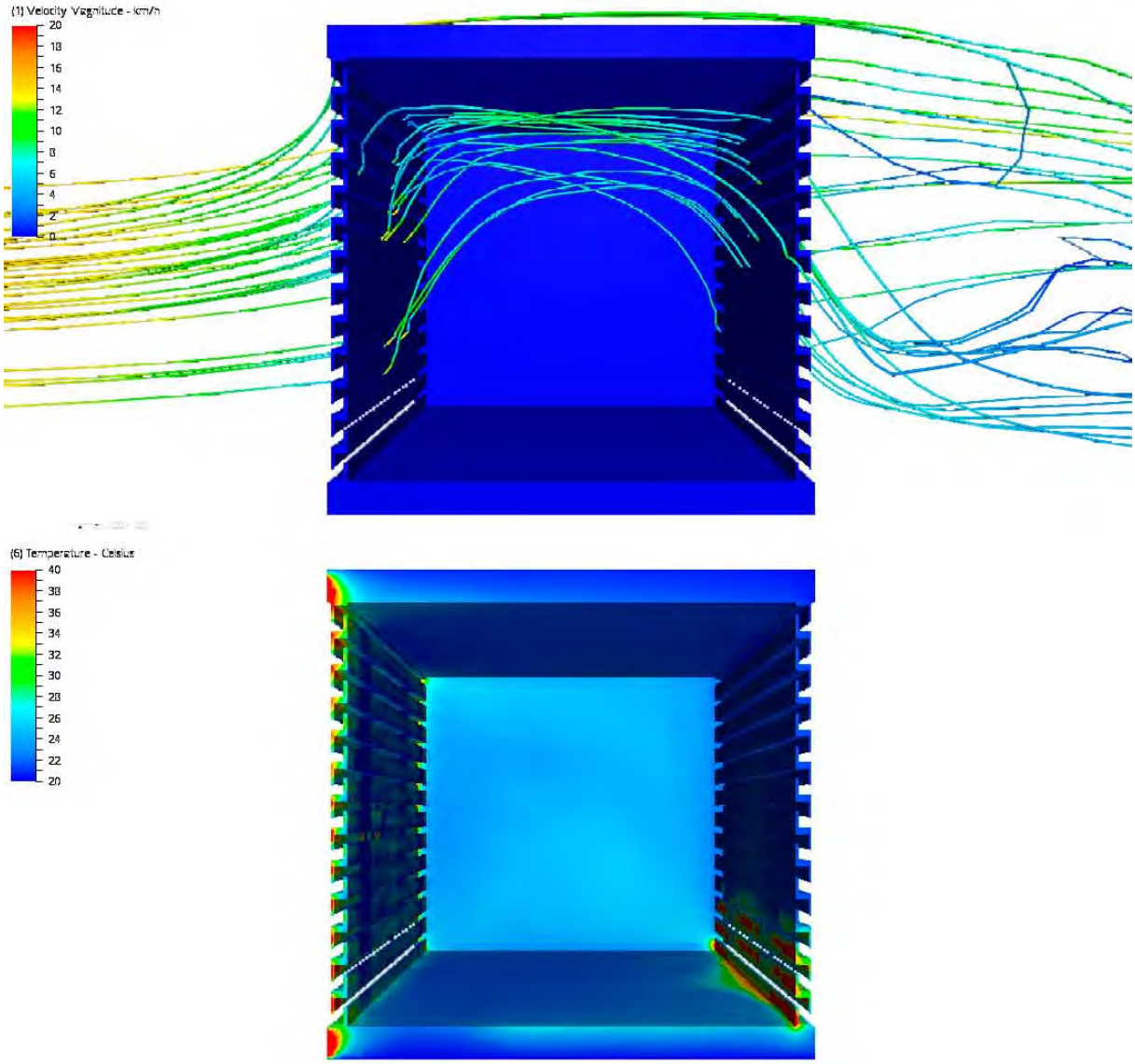
Figura 8 – Análises do cobogó veneziano



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Boca de Lobo – Este sistema possui volume de vazios de 34%, a velocidade de ventilação interna predominou em 8km/h com poucas variações, isto deve-se ao fechamento do sistema que dificulta o acesso da ventilação, mas impede a incidência solar, alcançando temperaturas internas similares ao veneziano, em torno de 26°C (Figura 9).

Figura 9 – Análises do cobogó boca de lobo



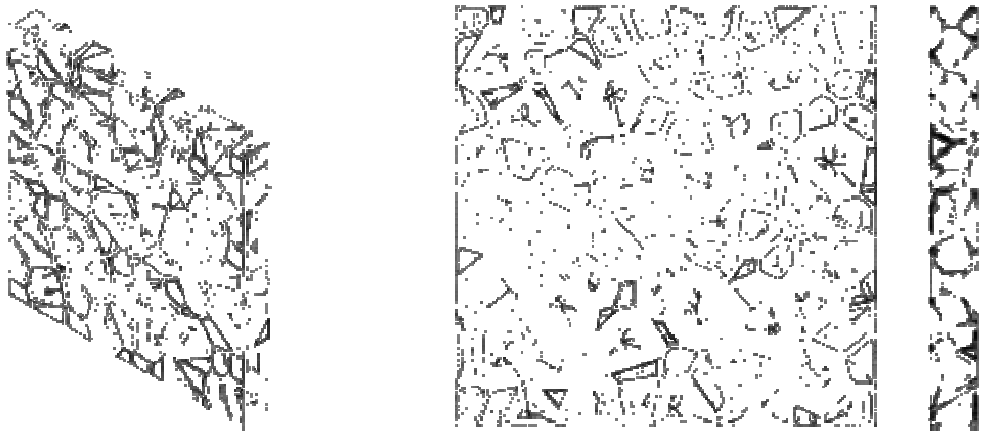
Fonte: Estudos autorais

Apesar da pequena variação do volume de vazios, cada sistema responde diferentemente às mesmas condições ambientais, isso ocorre pela forma como tais vazios organizam-se dentro do sistema. As diferentes capacidades térmicas destes sistemas determinam a utilização de um ou outro em um projeto arquitetônico.

Assim, para estudar o desempenho de um cobogó de estruturação voronoi, foi desenvolvido um modelo com o mesmo volume de vazios do cobogó padrão, 39%.

- Cobogó Voronoi (39%) – Tipologia de sistema vazado de estruturação voronoi que possui 39% de volume de vazios (Figura 10).

Figura 10 – Representações do cobogó voronoi (39%)

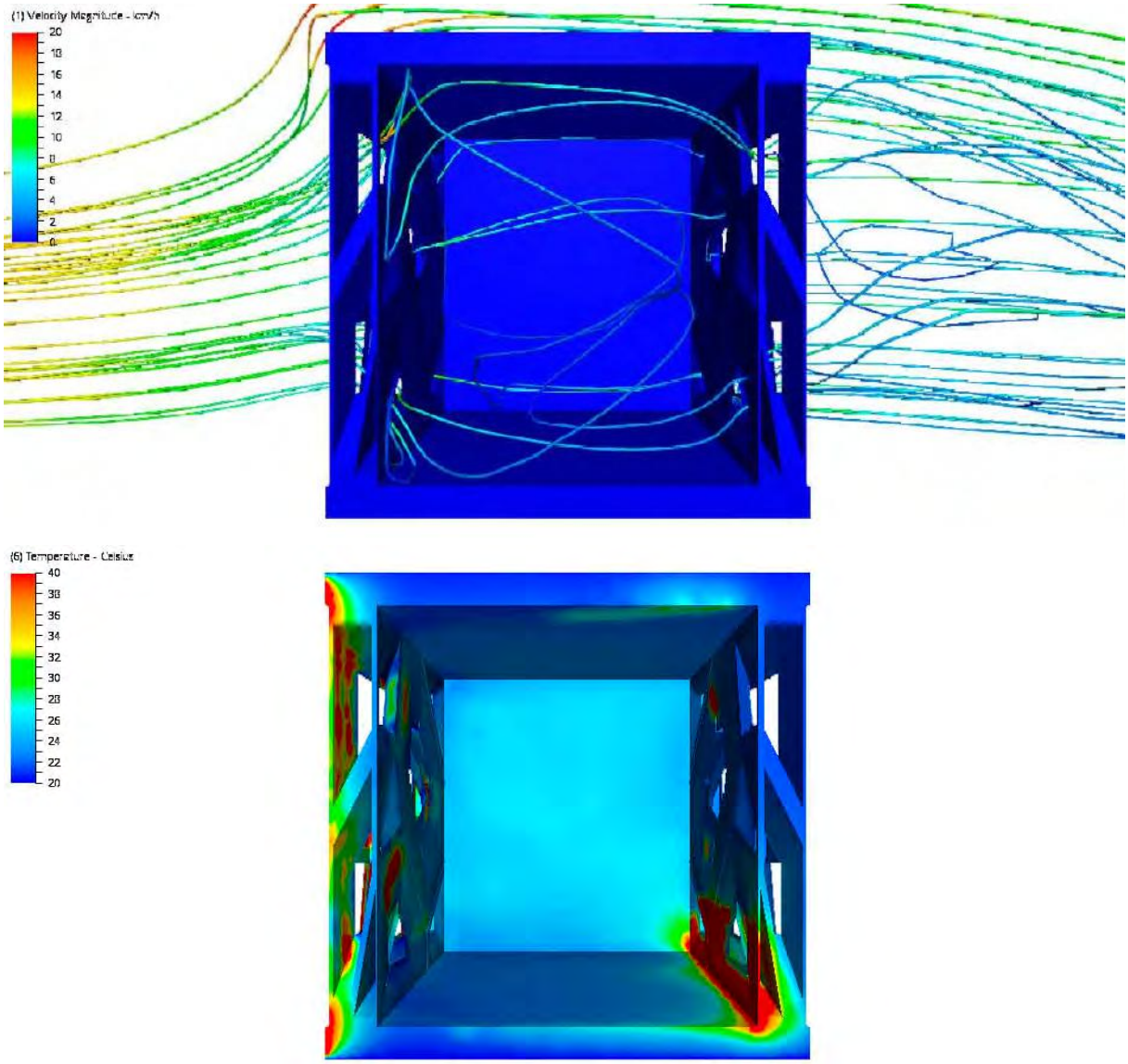


Fonte: Estudos autorais

O mesmo modelo digital construído para análise dos cobogós padrões de mercado foi utilizado para análise deste sistema, assim como foram definidas as mesmas condições ambientais no CFD (Autodesk Inc., 2015).

- Cobogó Voronoi (39%) – A tipologia com 39% de volume de vazios atinge uma velocidade de ventilação interna de 8km/h com variações chegando a 9km/h, isto deve-se à organização complexa dos vazios dentro do sistema que cria canalizações da ventilação e permite um maior controle da incidência solar, em relação ao cobogó padrão, apresentando temperaturas internas em torno de 25ºC (Figura 11).

Figura 11 – Análises do cobogó voronoi (39%)



Fonte: Estudos autorais

Percebe-se assim uma possível ampliação do desempenho térmico com a utilização do sistema voronoi, pois ainda que a velocidade de ventilação interna seja menor, há uma significativa diminuição da temperatura interna.

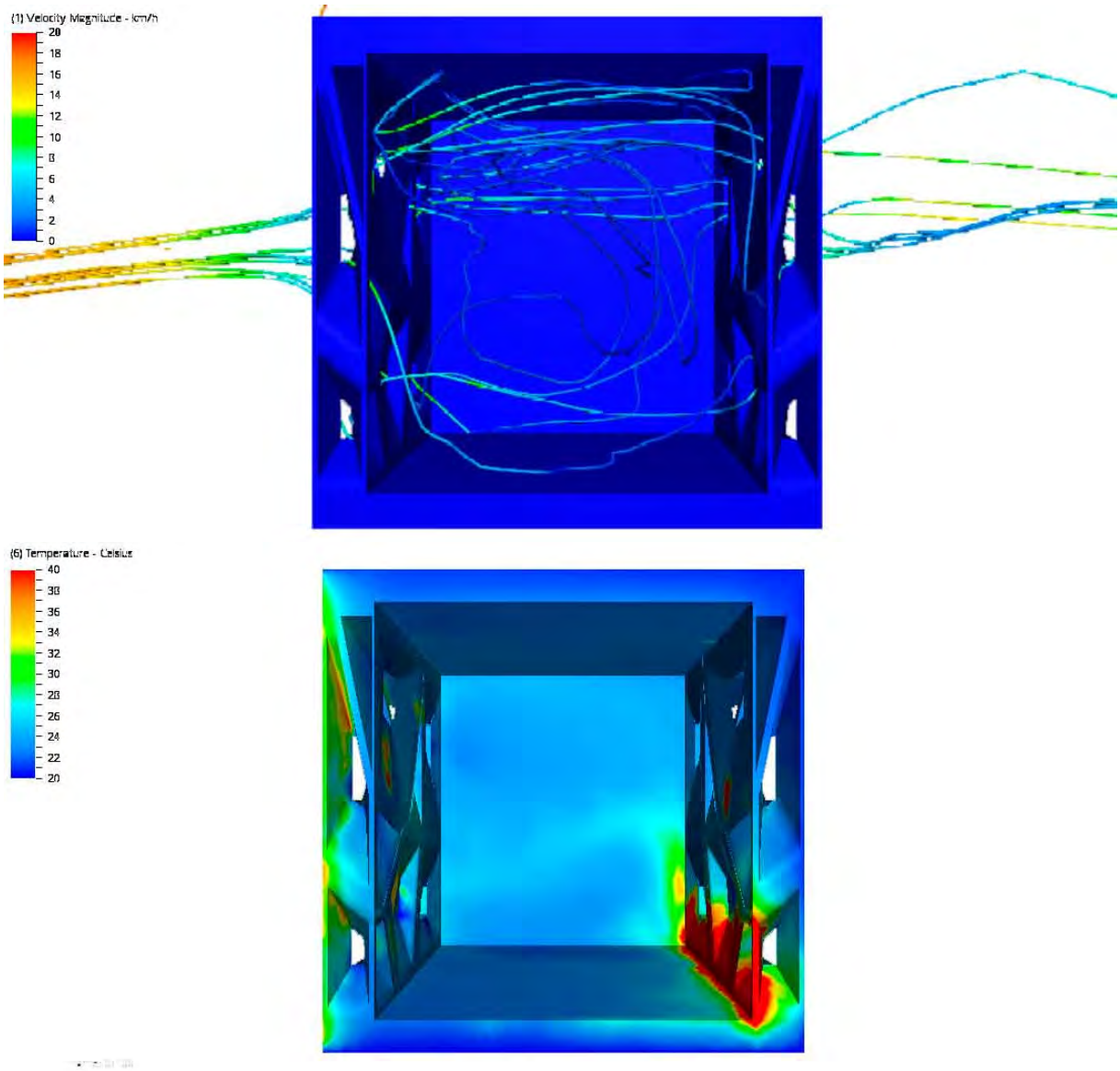
Baseado nesses resultados foi desenvolvido um método projetual de sistemas vazados de estruturação voronoi que, diferente dos padrões comerciais onde as variações de desempenho são alcançadas pela diferenciação da forma, é o controle do volume de vazios que regula tais variações. Foram desenvolvidos três modelos possuindo volume de vazios de 25%, 50% e 75%. Procurou-se ainda observar o desempenho dessas variações.

Para análise de desempenho dos protótipos foi desenvolvida a mesma estrutura espacial, assim como as propriedades e condições climáticas das análises anteriores.

- Cobogó Voronoi (25%) – A tipologia com 25% de volume de vazios atinge

uma velocidade de ventilação interna de 6km/h com variações chegando a 8km/h, isto deve-se à presença de aberturas muito pequenas no sistema que permitem a diminuição da temperatura interna, em torno de 24°C (Figura 12);

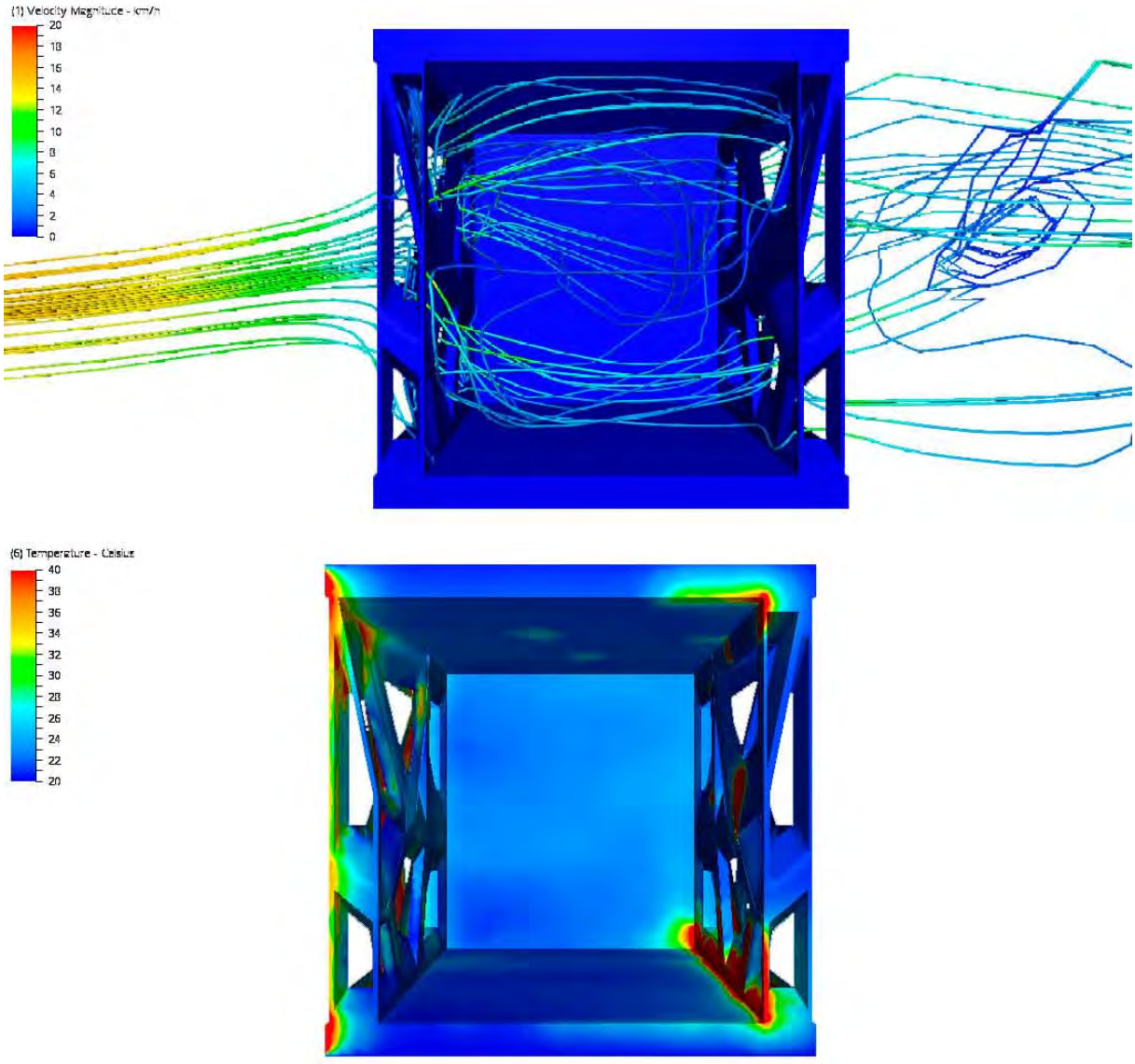
Figura 12 – Análises do cobogó voronoi (25%)



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Voronoi (50%) – A tipologia com 50% de volume de vazios atinge uma velocidade de ventilação interna de 9km/h com variações chegando a 10km/h, percebe-se a influência do aumento no volume de vazios no aumento da velocidade de ventilação, assim como no aumento da temperatura, em torno de 28°C (Figura 13);

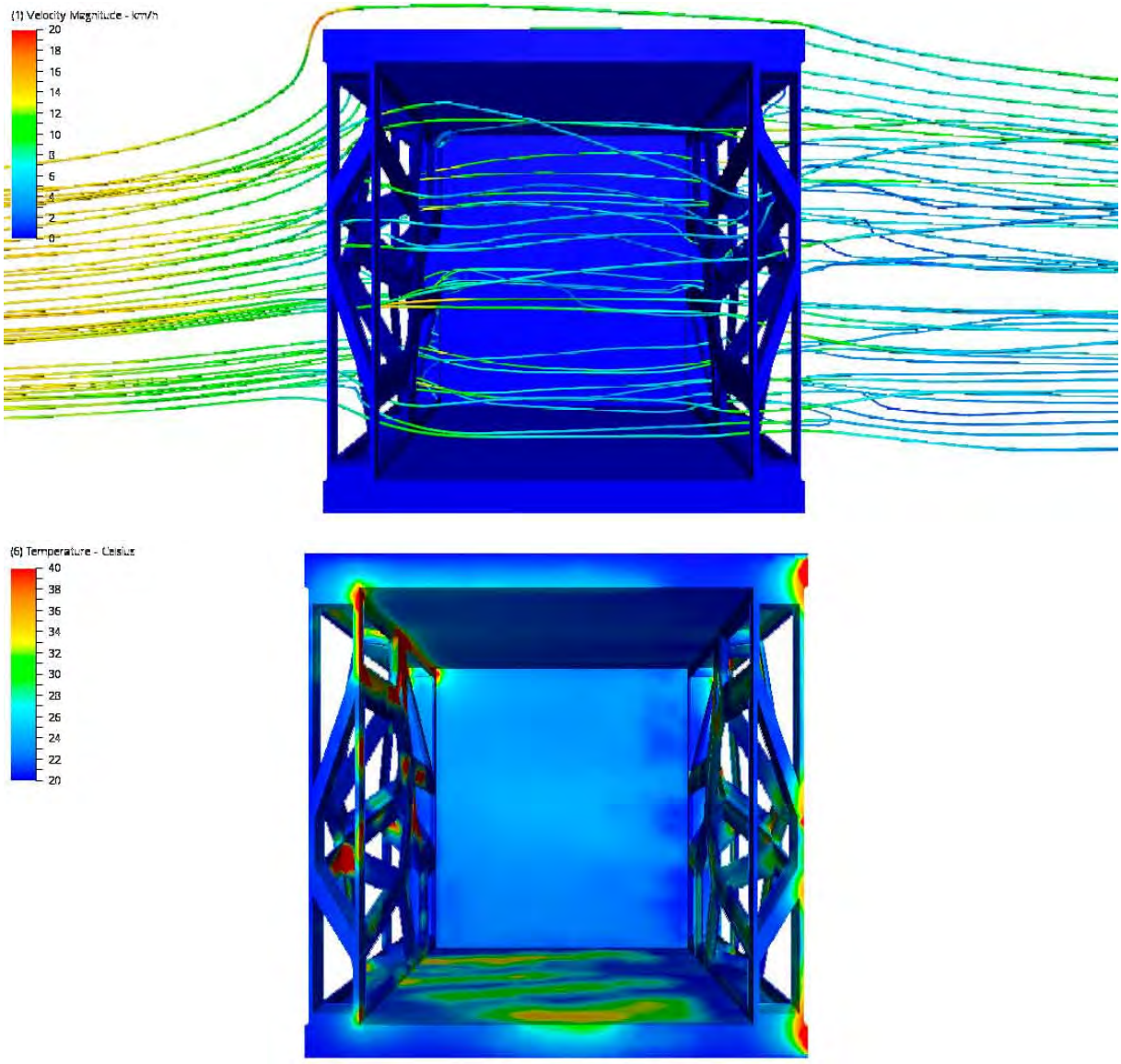
Figura 13 – Análises do cobogó voronoi (50%)



Fonte: Estudos autorais

- Cobogó Voronoi (75%) – A tipologia com 75% de volume de vazios atinge uma velocidade de ventilação interna de 11km/h com variações chegando a 13km/h, já sua temperatura interna predomina em torno de 34ºC. Evidenciando assim, a lógica de aumento da velocidade de ventilação e temperatura com o aumento do volume de vazios (Figura 14).

Figura 14 – Análises do cobogó voronoi (75%)



Fonte: Estudos autorais

As diferentes capacidades térmicas, atingidas pela variação do volume de vazios, podem determinar a utilização de cada sistema em função de especificações climáticas e projetuais, tais como uso do ambiente e orientação da fachada. Assim como há a possibilidade de infinitas variedades de volume de vazios, há também a possibilidade da utilização de mais de um percentual dentro do mesmo sistema, possibilitando um maior controle na concepção do elemento vazado.

3.4 Materialização

A produção tradicional do cobogó baseia-se no preenchimento de um molde para obtenção da forma (VIEIRA et al., 2012). Este modelo de fabricação, apesar de permitir uma produção rápida, restringe a possibilidade de variação de formas e determina uma malha regular de

composição.

Para a produção de um sistema vazado de estruturação voronoi este tipo de abordagem não se mostra vantajoso, pois a produção de moldes para preenchimento das formas complexas resultaria em um trabalho extremamente dispendioso e economicamente inviável. Entretanto, a fabricação aditiva, apresenta-se como uma solução viável para tal produção, pois também se baseia numa lógica de preenchimento para obtenção da forma, dispensando o molde ao utilizar-se de impressoras 3D para realizar a tarefa.

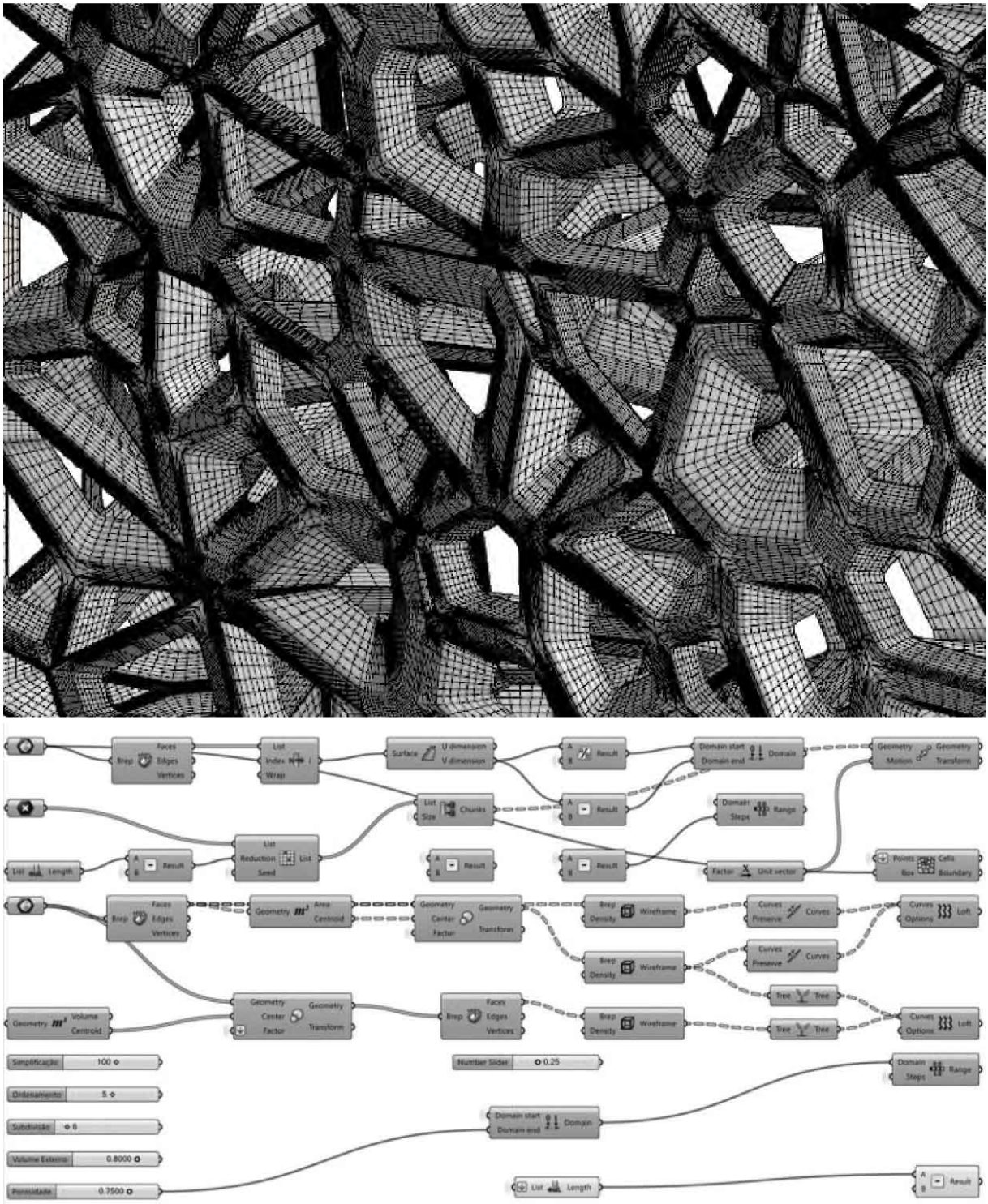
Através desta técnica pode-se viabilizar a fabricação do sistema voronoi de maneira simples, rápida e econômica, facilitando a produção de peças em larga escala, assim como uma alta precisão na geometria das mesmas.

3.4.1 Processo de produção

O sistema voronoi pode ser produzido em larga escala por meio de processos de projeto e produção que envolve as seguintes etapas:

- Modelagem – Na primeira etapa do processo é feita a modelagem do sistema vazado utilizando o software Rhinoceros (McNeel & Associates, 2014) junto ao programa de parametrização Grasshopper (SCOTT, 2014) para controle e decisão das porosidades aplicadas (Figura 15);

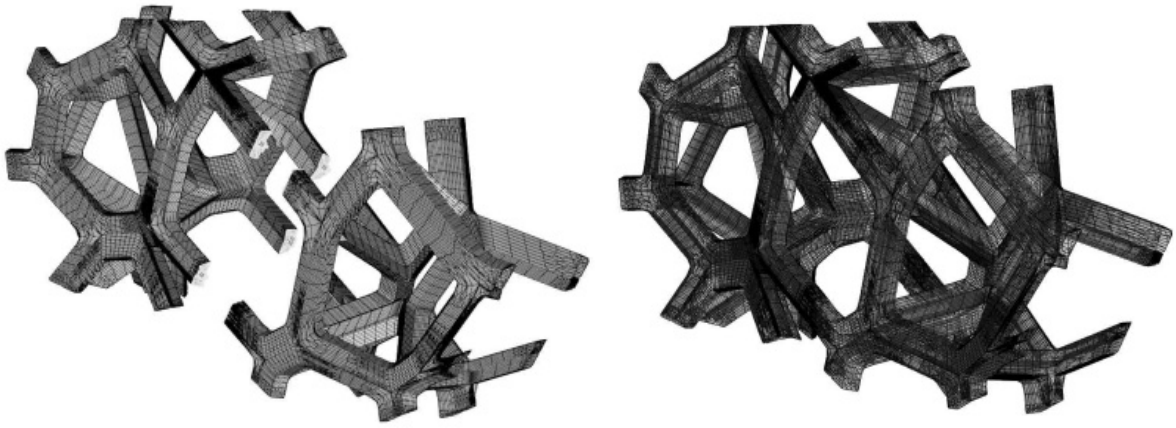
Figura 15 – Modelo e código gerador



Fonte: Estudos autorais

- Divisão – Num segundo momento o sistema vazado é divido em partes que possuem encaixe através de juntas metálicas (Figura 16);

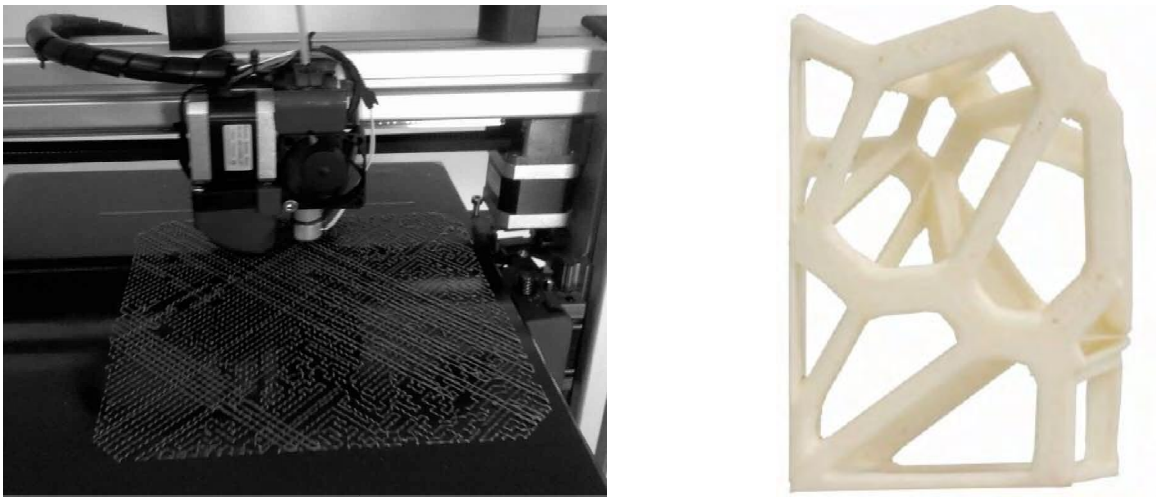
Figura 16 – Divisão e encaixe das partes



Fonte: Estudos autorais

- Prototipagem – Após a divisão dos componentes, cada peça é levada para a fabricação através de impressoras 3D[5] (Figura 17);

Figura 17 – Prototipagem das peças em impressora 3D

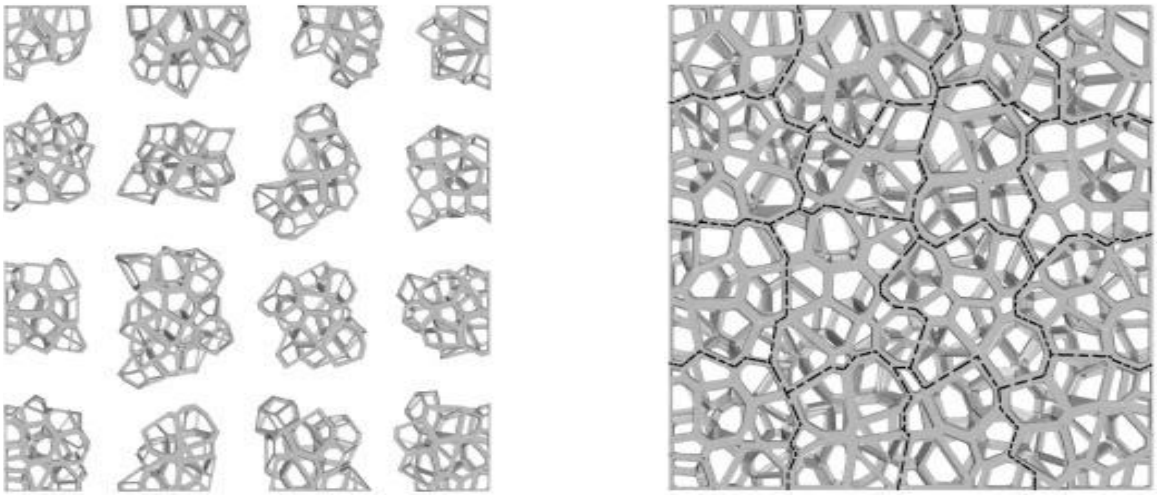


Fonte: Estudos autorais

- Montagem – Por último, as peças produzidas são encaixadas montando o sistema vazado originalmente modelado (Figura 18).

[5] Não foi possível a utilização de impressoras 3D de cerâmica, entretanto o protótipo foi desenvolvido em uma impressora 3D de PLA de forma elucidativa.

Figura 18 – Montagem do sistema vazado



Fonte: Estudos autorais

Através deste processo podem-se definir os parâmetros de modelagem, produzir e montar uma infinidade de sistemas.

4 CONCLUSÕES

O uso de tecnologias digitais na atualização de estratégias tradicionais de adaptação climática apresentou-se como uma ferramenta para enfrentar problemas contemporâneos. Diversos tipos de abordagens computacionais foram desenvolvidos buscando agregar um valor estético-ambiental a ferramenta.

A computação material apresenta-se como uma forma de alcançar maior integração entre a concepção e a materialidade arquitetônica através da compreensão das propriedades e comportamentos dos materiais para ampliar seus impactos na arquitetura, e pode ser aplicada a concepção de sistemas vazados como alternativa para ampliar seu desempenho térmico, minimizando o problema energético de aparelhos de controle microclimático.

Através do estudo da argila puderam-se perceber relações de desempenho térmico geradas por sua microeestrutura interna, permitindo o desenvolvimento de uma metodologia que ampliasse tal efeito na construção.

Embora tenha havido dificuldades técnicas para a realização deste trabalho, como a dificuldade de prototipagem em Recife, assim como o difícil acesso a equipamentos de tecnologia avançada, percebe-se a potencialidade dos sistemas voronoi para responder a condicionantes climáticos e projetuais.

Um futuro aprofundamento nesta pesquisa pode ampliar os efeitos apresentados, assim como apresentar novas possibilidades que não tenham sido constatadas.

REFERÊNCIAS

ABCERAM ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Informações Técnicas – Definição e Classificação. Disponível em: http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4 Acesso em: Setembro 2015

AHLQUIST, S.; MENGES, A. **Computational Design Thinking.** Londres: Architectural Design, 2011. 225p.

APAC AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS. Meteorologia – Estações do ano. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/estacoes-do-ano.php?estacao=verao Acesso em: Novembro 2015

Autodesk Inc. **Programa Control Fluid Dynamics – versão 2016.** Disponível em: http://www.autodesk.com/products/cfd/overview Acesso em: Junho 2015

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: Convênio ECV033/04 realizado entre ELETROBRAS PROCEL e UFAL, 2010. 101p.

HENSEL, M. **Performance-Oriented Design:** Precursors and Potentials. Londres: Architectural Design, 2008. 6p. apud HENSEL, M.; MENGES, A. **Versatility and Vicissitude.** Londres: Architectural Design, 2008. 145p.

HOLANDA, Armando de **Roteiro para Construir no Nordeste.** Recife: UFPE – MDU, 1976. 66p.

McNeel & Associates. **Programa Rhinoceros 3d – versão 5.0.** Disponível em: http://www.rhino3d.com/download/rhino/5/latest Acesso em: Março 2014.

MENGES, A. **Material Computation:** Higher Integration in Morphogenetic Design. Londres: Architectural Design, 2012. 144p.

SCOTT, Davidson. **Programa Grasshopper – versão 0.9.76.0.** Disponível em: http://www.rhino3d.com/download/grasshopper/1.0/wip/rc Acesso em: Março 2014.

TRAN, Q. T. et al. **Reverse k Nearest Neighbor Search on Spatial Networks** Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2009 - 20p. apud HAMEURLAIN, A. et al. **Transactions on Large-Scale Data and KnowledgeCentered Systems.** Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2009 - 374p.

VIEIRA, A. et al. **Cobogó de Pernambuco.** Recife: Luminar, 2012. 27p.

W. G., Moravia et al. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48. 2006, Curitiba. **Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica.** Curitiba: ABCERAM, 2006. p. 193-199.

WHITAKER, S. **Advances in Theory of Fluid Motion in Porous Media** [Artigo da Revista] // Industrial & Engineering Chemistry v.61 - Washington, DC : ACS Publications, 1969.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

PANORAMA DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES: RESULTADOS DE TESTES DE ISOLAMENTO SONORO EM CAMPO[1]

SANTANA, Wylliam (1); MAUÉS, Luiz (2); PICANÇO, Marcelo (3)

(1) UFPA/NUHAM, e-mail: wyll_santana@hotmail.com; (2) UFPA/NUHAM, e-mail: maues@ufpa.br; (3) UFPA/GAEMA, e-mail: marcelosp@ufpa.br

RESUMO

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é um marco no estudo do desempenho das edificações no Brasil, pois estabelece critérios para o desempenho acústico das vedações em edificações residenciais. Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho acústico de vedações internas, verticais, e horizontais de edifícios de múltiplos pavimentos. Para isso foram realizados testes em campo, de isolamento sonoro ao ruído aéreo no piso e nas paredes internas das edificações. Diversas tipologias de vedações foram avaliadas, como: alvenaria de tijolos cerâmicos, blocos de concreto e paredes estruturais, revestidas com gesso ou argamassa; lajes maciças ou nervuradas revestidas com cerâmica ou porcelanato. Dos resultados obtidos, as vedações verticais internas apresentaram os piores resultados, e aproximadamente 80% destas não atenderam aos requisitos mínimos da norma de desempenho. Todas as lajes avaliadas atenderam aos requisitos mínimos de desempenho acústico ao ruído aéreo, e 3 das 4 lajes estudadas atingiram inclusive nível intermediário nesse desempenho. Através desse estudo é possível concluir que a adequação dos serviços que envolvem vedações à Norma de desempenho NBR 15575 (2013) é um desafio para os construtores locais.

Palavras-chave: Desempenho das Edificações. Desempenho Acústico. NBR 15575 (ABNT, 2013). Isolamento Acústico.

ABSTRACT

The NBR 15575 (ABNT, 2013) is a landmark in the study of the building performance in Brazil, because it establishes criteria for the acoustic performance of the walls in residential buildings. The aim of this study is to evaluate the acoustic performance of internal, vertical, and horizontal walls of buildings with multiple floors. For that, they were conducted field tests: acoustic insulation of noise on the floor and in the walls of the buildings. Several types of walls were evaluated, such as masonry ceramic bricks, masonry of concrete blocks and reinforced concrete walls coated with plaster or grout, solid or ribbed concrete slabs coated with ceramic or porcelain tile. From the results, the internal walls produced the worst results, and approximately 80% of these did not meet the minimum requirements of the performance standard. All evaluated walls met the minimum requirements for acoustic performance of noise, and 3 of the 4 studied samples even reached intermediate level in this performance. Through this study, it can be concluded that the adequacy of masonry services to the standard performance NBR 15575 (2013) is a challenge for local builders.

[1] SANTANA, Wylliam; MAUÉS, Luiz; PICANÇO, Marcelo. Panorama do desempenho acústico de edificações: resultados de testes de isolamento sonoro em campo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Building Performance. Acoustic Performance. NBR 15575 (2013). Acoustical Insulation.*

1 INTRODUÇÃO

No tocante ao desempenho acústico, anteriormente a primeira versão da NBR 15575 (ABNT, 2013) poucas medidas advindas do poder público foram tomadas, e quando tomadas, normalmente visando solucionar um cenário de calamidade pública, na forma de Leis, como a Lei 8106 de 30/08/1974, conhecida pela alcunha de "Lei do Silêncio", e normas, como a NBR 10151 (ABNT, 2000) e a NBR 10152 (ABNT, 1987), estabelecendo critérios para o conforto acústico.

Ainda assim, diversos estudiosos destacavam a necessidade de tal regulamentação. Baring (2007), critica as tentativas de regulamentação pelo governo e evidencia a necessidade da criação de uma norma que estabeleça parâmetros mais claros e passíveis de fiscalização, no sentido de efetivamente proporcionar mais qualidade de vida no tocante ao conforto acústico para a sociedade em toda a sua conjuntura, nas escolas, lares, ambiente de trabalho e etc.

Após sua publicação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) torna-se uma peça fundamental na busca de adequar o desempenho acústico dos edifícios com a expectativa do consumidor. E, no entanto, impõe que as construtoras se adaptem para atender às suas exigências.

Neste sentido, este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho acústico ao ruído aéreo de vedações verticais e horizontais de edifícios de múltiplos pavimentos. Visando não só aumentar o conhecimento a respeito do isolamento acústico proporcionado pelas diversas tipologias construtivas empregadas atualmente, como também, ajudar a esclarecer qual delas representa o ponto mais sensível à que as construtoras terão de lidar, no que concerne ao isolamento acústico, para atender à norma de desempenho das edificações NBR 15575 (ABNT, 2013).

A metodologia se deu pela aplicação dos ensaios de isolamento acústico ao ruído aéreo de paredes e lajes em campo, realizados com o intuito de identificar o desempenho acústico das edificações.

Uma das limitações desta pesquisa é o espaço amostral restrito em virtude dos ensaios exigirem apartamentos concluídos que dividam paredes ou lajes geminadas, restando duas alternativas, edificações ocupadas ou em processo de entrega ao usuário. Ambos os casos com dificuldades para autorização, por receio dos moradores ou pelo tempo exigido para realização dos ensaios (em média 1,5 horas).

2 METODOLOGIA

2.1 Edificações avaliadas

Foram analisadas 5 edificações distintas localizadas na Região Metropolitana

de Belém, os ensaios de campo foram realizados durante a etapa de entrega da edificação. À exceção da edificação 4, a qual os ensaios foram realizados após a entrega dos apartamentos.

No quadro 1 são apresentadas as vedações avaliadas, identificadas pela sigla e numeração, agrupadas conforme a numeração da edificação. Este quadro é importante pois permite comparar as tipologias construtivas com os resultados globais dos ensaios contidos na tabela 2.

Quadro 1 - Tipologias construtivas das vedações estudadas, agrupadas por edificação.

EDIFICAÇÃO	VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA (PAREDE)	VEDAÇÃO HORIZONTAL (LAJE)
1	VVI1	VH1
2	VVI2 e VVI6	VH3
3	VVI3	VH4
4	VVI4	VH2
5	VVI5	-

Fonte: O autor

No quadro 2 é presentada uma descrição detalhada das tipologias construtivas de cada uma das vedações citadas no quadro 1. O termo espessura final refere-se a espessura total da parede quando acabada, isto é, somando a espessura do material de vedação (tijolo cerâmico, bloco de concreto, etc.), camada regularizadora (piso ou parede) e revestimento das duas faces. A argamassa utilizada no reboco e contrapiso normalmente empregados na região são composto de cimento e areia, traços 1:3 e 1:4 respectivamente.

Quadro 2 – Descrição das tipologias construtivas das vedações estudadas.

Sigla	Descrição	Espessura Final
VVI1	Parede de tijolo cerâmico (9x19x19cm) rebocada com argamassa nas duas faces	11cm
VVI2	Parede de tijolo cerâmico (9x19x19cm) rebocada com argamassa nas duas faces	13cm
VVI3	Parede de tijolo cerâmico (9x19x19cm) rebocada com gesso nas duas faces	15cm
VVI4	Parede de bloco de concreto (14x29x19cm) rebocada com gesso nas duas faces	15cm
VVI5	Parede de concreto armado (10cm de espessura) rebocada com argamassa nas duas faces	15cm
VVI6	Parede de gesso acartonado (espessura da folha de 1,25cm) sem enchimento	9cm
VH1	Laje nervurada utilizando EPS, com 8cm de espessura na matriz e 25cm na nervura, com revestimento cerâmica comum	31cm
VH2	Laje maciça (10cm), com revestimento cerâmico comum	16cm
VH3	Laje maciça (12cm), com revestimento em porcelanato	21cm
VH4	Laje maciça (15cm), com revestimento em porcelanato	20cm

Fonte: O autor

2.2 Procedimentos dos ensaios em campo

Para avaliação do desempenho acústico, foram realizados testes de isolamento sonoro ao ruído aéreo em campo no piso e nas paredes internas.

Estes testes seguiram os procedimentos da norma internacional ISO 16283-1 (2014), substituta da ISO 140 (1998), esta última recomendada pela norma brasileira em detrimento da falta de normas nacionais.

O tempo de reverberação foi obtido segundo os preceitos da ISO 3382-2 (2008), utilizando 3 posições da fonte para cada 2 duas posições do microfone.

Seguindo o recomendado pela ISO 16283-1 (2014), as medições de ruído de fundo foram realizadas com 6 posições de microfone, e a determinação dos valores únicos ponderados, característicos do isolamento acústico das vedações utilizado para fins de comparação com os requisitos da norma de desempenho, seguiram os procedimentos das normas ISO 717-1 (2013) para testes de isolamento ao ruído aéreo.

Estes ensaios foram realizados em parceria com o Grupo de Acústica e Vibrações (GVA) da Universidade Federal do Pará (UFPA), responsável por disponibilizar os equipamentos utilizados, listados a seguir:

- Fonte emissora dodecaédrica omnidirecional: Marca Bruel & Kjaer, do tipo 4296 Omnipower;
- Pré-amplificador de sinal: do tipo 2716 da marca Bruel & Kjaer;
- Microfone de ½" da marca Bruel & Kjaer;
- Medidor do nível de pressão sonora: do tipo 1, de dois canais, Investigator, modelo 2260 da marca B&K, n° de série 2572851.

O parâmetro de ambos ensaios é a diferença padronizada de nível ponderada, determinado pela medição da diferença do nível de pressão sonora emitido em um ambiente, ambiente de emissão, e o nível de pressão sonora no ambiente oposto adjacente à vedação estudada, ambiente de recepção. A Figura 1 exemplifica estas medições, onde vê-se a fonte sonora e o microfone na sala escolhida como emissora e apenas o microfone (chamado em acústica de "medidor de nível de pressão sonora" ou MNPS) na sala escolhida como receptora.

Figura 1 – Exemplos de salas emissoras e receptoras adotas nos ensaios em campo



Notas: Nota-se a diferença no posicionamento das salas emissora e receptora nos ensaios de isolamento ao ruído aéreo em campo de paredes (a) e lajes (b)

Fonte: O autor

Para a escolha das salas emissora e receptora a ISO 16283-1 (2014) recomenda que a maior deve ser escolhida como a sala emissora, e quando o elemento estudado for uma vedação horizontal (laje), que a fonte sonora seja posicionada sobre a vedação, portanto, a sala emissora deve ser localizada no pavimento superior ao da sala receptora (Figura 1b).

As áreas dos pisos dos ambientes tinham menos de 50 metros quadrados, neste sentido, conforme a ISO 16283-1 (2014), foram realizadas 5 medições do nível de pressão sonora em diferentes posições na sala receptora, repetidas uma vez para uma nova posição da fonte sonora na sala emissora, e duas medições do nível de pressão sonora na sala emissora, com a fonte sonora nas mesmas posições adotadas durante as medições de recepção (Figura 2).

Figura 2 – Arranjos dos equipamentos de medição nos ensaios de isolamento ao ruído aéreo em campo de paredes (a) e lajes (b)

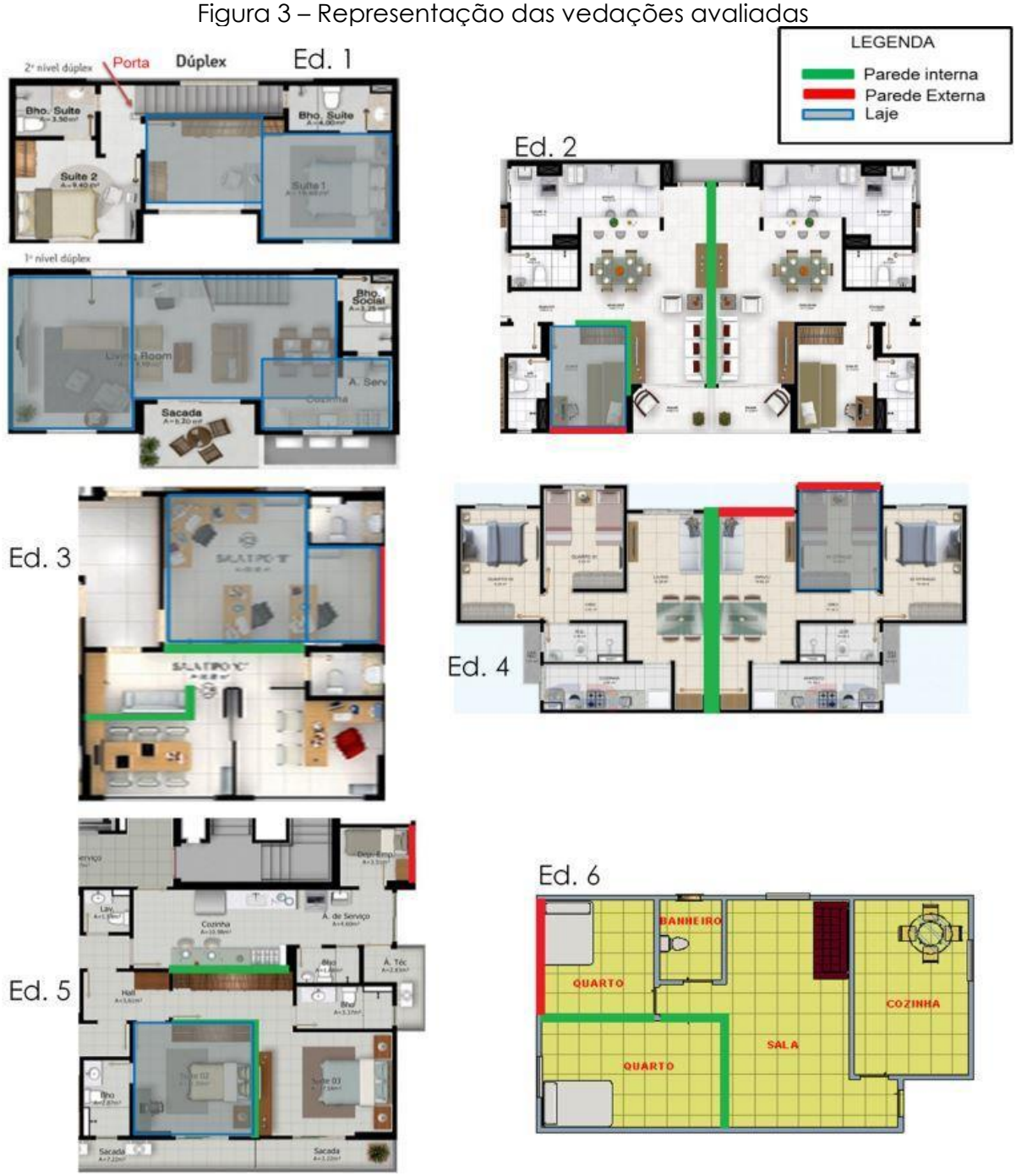


Fonte: adaptada de panfletos

Quanto à temperatura interior dos ambientes no momento das medições, houve pouca variação, permanecendo de 29° C à 31° C.

A Figura 3 contém a representação das vedações avaliadas em cada edificação. É importante destacar que, no tocante às paredes internas, a norma de desempenho contempla apenas paredes geminadas, no entanto, nestas edificações não ocorre o uso de paredes geminadas duplas, desta forma, não há diferença entre qualquer das paredes internas e portanto foram avaliadas qualquer parede entre ambientes internos sem perda de representatividade.

Figura 3 – Representação das vedações avaliadas



Fonte: adaptadas de panfletos

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Critérios de desempenho acústico

A parte 1 da NBR 15575 (ABNT, 2013) especifica que a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas.

A Tabela 1 apresenta os critérios de desempenho acústico normativos utilizados para fins de comparação com os ensaios realizados. O nível mínimo (M) estabelece os mínimos valores para que a edificação se enquadre nos parâmetros de desempenho. Além do mínimo, são indicados também os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S), prevendo a iniciativa do construtor/incorporador de apropriar melhoria da qualidade levando-se em conta a relação custo/benefício.

Tabela 1. Critérios de desempenho acústico normativos, pare ensaios em campo

Elemento	Critértios de desempenho acústico* (dB)		
	M	I	S
Desempenho acústico do piso ao ruído aéreo - DnT,w	40-44	45-49	≥50
Desempenho acústico de paredes ao ruído aéreo - DnT,w	40-44	45-49	≥50

Notas: *Vedações separando uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos
Fonte: ABNT NBR 15575 partes 3 e 4 (2013)

3.2 Resultados dos ensaios

Ao longo deste trabalho foram realizados 13 ensaios de isolamento acústico ao ruído aéreo, 9 de vedações verticais internas e 4 de vedações horizontais.

A Tabela 2 apresenta estes resultados agrupados por edificação. As tipologias das vedações ensaiadas são descritas nos quadros 1 e 2 seguindo esta mesma estrutura.

Devido às limitações desta pesquisa a maioria das tipologias foram ensaiadas apenas uma vez, com exceção das vedações verticais das edificações 1, 3 e 5, com uma repetição. Os resultados das vedações verticais internas da edificação 2 são referentes às VVI2 e VVI6 respectivamente.

Tabela 2 - Desempenho acústico das edificações estudadas

EDIFICAÇÃO	VEDAÇÃO VERTICAL (PAREDE) Internas **DnT,w (dB)**	VEDAÇÃO HORIZONTAL (LAJE) Ruído Aéreo **DnT,w (dB)**
1	**27 ✗** **28 ✗**	**40 ✓**

2	**42 ✓** **26 ✗**	**46 ✓**
3	**38 ✗** **33 ✗**	**48 ✓**
4	**45 ✓**	**48 ✓**
5	**21 ✗** **27 ✗**	

Nota: ✓ Atende ao nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2013)
✓ Atende ao nível intermediário da NBR 15575 (ABNT, 2013)
✗ Não atende à NBR 15575 (ABNT, 2013)

Fonte: O autor

Destes ensaios observa-se claramente que os piores resultados são referentes às paredes internas, em que 7 das 9 vedações não atendem à norma. Os resultados positivos destas vedações foram referentes às paredes VVI2 e VVI4, esta última obtendo desempenho intermediário.

Estes resultados insatisfatórios das vedações verticais corroboram com a literatura, Silva Jr. e Silva (2014) obtiveram resultados insatisfatórios semelhantes das paredes internas na região nordeste, após realizar os quatro ensaios previstos na NBR 15575 (ABNT, 2013) concluíram que "as vedações verticais são hoje a maior preocupação dos construtores para atendimento à norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013)".

Das vedações horizontais foram estudadas duas tipologias das mais empregadas em edificações no país, que utilizam lajes nervuradas e maciças. Dos resultados obtidos, todas as edificações atendem o desempenho mínimo e 3 das 4 atingem inclusive o desempenho intermediário.

O resultado das lajes corrobora com a literatura, pois segundo Litwinczik (2012), o isolamento ao ruído aéreo de lajes é o tema menos preocupante na avaliação de desempenho acústico das edificações, e afirma que os sistemas de piso comumente utilizados no Brasil que empregam concreto armado, sobreposto por uma camada regularizadora em argamassa, constituem uma vedação que possui uma boa isolação acústica aos ruídos aéreos.

4 CONCLUSÕES

As vedações verticais apresentaram os piores resultados de desempenho acústico, onde 78% das vedações avaliadas não atingiram o critério mínimo normativo.

As lajes por outro lado, obtiveram resultados positivos, todas atendendo o requisito mínimo da NBR 15575-3 (ABNT, 2013) e inclusive 3 das 4, proporcionando nível de desempenho intermediário, oferecendo um isolamento acústico um pouco melhor para o consumidor que o mínimo exigido.

Estes resultados demonstram que as vedações verticais são, hoje, uma grande preocupação das construtoras para atender à norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

Cabe ressaltar que este estudo não diminui a importância da utilização de tecnologias que agreguem desempenho acústico às lajes, pois é sabido que o isolamento acústico de uma vedação depende não só do seu material matriz (NETO e BERTOLI, 2010, p. 177) mas também de todo o sistema construtivo (TAIBO e DAYAN, 1984), por exemplo, a existência de uma janela (SCHVARSTZHAUPT *et al.*, 2014, p. 135), um furo (PIÃO *et al.*, 2008) ou mesmo a variação da fresta da porta (KIM, 2012) podem causar uma redução significativa do isolamento da vedação.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Grupo de Vibrações e Acústica (GVA).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-3:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BARING, J. G. D. A. Sustentabilidade e o controle acústico do meio ambiente. **Acústica e Vibrações,** n. 38, p. 1–6, Março de 2007.

ISO. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. **ISO 140-14**: Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 14: Guidelines for special situations in the field. Switzerland. 2004.

_____.**ISO 16283-1**: Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. Switzerland. 2014.

_____.**ISO 3382-2**: Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters-- Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. 2008. 17 p.

_____.**ISO 717-1**: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation, Switzerland, 2013.

KIM, Myung J. In-situ sound insulation performance of interior doors with slit-shaped apertures. **Journal of Asian Architecture and building Engineering**. p.205-212. 2012.

LITWINCZIK, Vítor. E-book – Acústica de Edificações: Pisos Desempenho Acústico. ANIMACUSTICA, P. 19, Florianópolis 2012.

NETO, Maria de Fatima F.; BERTOLI Stelamaris, R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 169-180, out./ dez. 2010.

PIÃO, Adriano; GODINHO, Luíz; TADEU, António. Comportamento acústico de paredes de alvenaria, na presença de pequenas aberturas e diferentes inclusões. In: Acústica 2008, 2008, Coimbra. **Anáis**...Coimbra, Portugal. Acústica 2008, 2008.

SÃO PAULO. **Lei nº 8.106, de 30/08/1974**. Dispõe sobre sons urbanos, fixa níveis e horários em que será permitida a sua emissão nas diferentes zonas de uso e atividades, e dá outras providências. São Paulo, SP, 30 de agosto 1974. Disponível em: <http://cmspbdoc.inf.br/iah/fulltext/leis/L8106.pdf>. Acesso em: 18/05/2016.

SILVA Jr., Otávio J.S.; SILVA, Angelo J.C. Panorama do comportamento acústico em edificações do nordeste brasileiro – resultados de estudos de casos. In: 1º SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, v. 1, 2014, Coimbra/Portugal. **Anais**... Coimbra/Portugal: ITeCons. 2014.

SCHVARSTZHAUPT, Cristiane C.; TUTIKIAN, Bernardo F.; NUNES, Maria F. O., de. Análise comparativa do desempenho acústico de sistemas de fachada com esquadrias de PVC com persiana e diferentes tipos de vidros em ensaios de laboratório. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 135-145, out./dez. 2014

TAIBO, Lucía; DAYAN, Hilda G. Comparison of laboratory and field sound insulation measurements of party walls and facade elements. **Journal of the Acoustic Society of America**. p.1522-1531. 1984.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

PANORAMA DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES: PERCEPÇÃO DE CONFORTO ACÚSTICO DO USUÁRIO E COMPORTAMENTO DO MORADOR EM NÍVEIS CRESCENTES DE INCÔMODO[1]

SANTANA, Wylliam (1); MAUÉS, Luiz (2); PICANÇO, Marcelo (3)

(1) UFPA/NUHAM, e-mail: wyll_santana@hotmail.com; (2) UFPA/NUHAM, e-mail: maues@ufpa.br; (3) UFPA/GAEMA, e-mail: marcelosp@ufpa.br

RESUMO

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é um marco no estudo do desempenho das edificações residenciais no Brasil, pois estabelece critérios que visam regular o comportamento em uso do imóvel, e tem por finalidade, a delimitação do que é essencial para o usuário, como o conforto acústico. Este artigo tem como objetivo identificar quais as principais fontes de ruído em edificações residenciais de múltiplos pavimentos, e o comportamento do morador quando sujeito a estas fontes. Com este intuito foram aplicados questionários em diversas edificações localizadas na região metropolitana de Belém. O questionário elaborado nesta pesquisa é uma adaptação do modelo proposto pela Acoustical Society of Japan (ASJ) e consiste em 15 questões fechadas escalonadas de 5 níveis. Dos resultados obtidos, o ruído ambiental e o ruído de obras e reformas são os que mais geram incômodo aos entrevistados. É notável também a mudança de comportamento dos entrevistados quando sujeitos a níveis crescentes de incômodo, buscando inclusive auxílio de agentes policiais.

Palavras-chave: Desempenho das Edificações; Percepção do Usuário; Análise Subjetiva.

ABSTRACT

The NBR 15575 (ABNT, 2013) is a landmark in the study of the building performance in Brazil, because it establishes criteria which are intended to regulate the use of the building in behavior, with the purpose to define what is essential to the user, as acoustic comfort. The aim of this study is to identify the main sources of noise in residential buildings with multiple floors, and the resident's behavior when subjected to these sources. With this purpose questionnaire surveys were performed in buildings located in the metropolitan region of Belém. The questionnaire developed in this study is an adaptation of the model proposed by the Acoustical Society of Japan (ASJ) and consists of 15 closed questions graded five levels. From the results, the environmental noise and the noise of works and reforms are those that generate more discomfort to the respondents. Also, is remarkable the change of behavior of respondents when subjected to increasing levels of discomfort, including seeking assistance of police officers.

Keywords: Buildings Performance; User Perception; Subjective analysis. Social Survey

[1] SANTANA, Wylliam; MAUÉS, Luiz; PICANÇO, Marcelo. Panorama do desempenho acústico de edificações: percepção de conforto acústico do usuário e comportamento do morador em níveis crescentes de incômodo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

No tocante ao desempenho acústico, anteriormente à primeira versão da NBR 15575 (ABNT, 2013) poucas medidas advindas do poder público foram tomadas, normalmente visando solucionar um cenário de calamidade pública, na forma de Leis, como a Lei 8106, de 30/08/1974, conhecida pela alcunha de "Lei do Silêncio", e normas, como a NBR 10151 (ABNT, 2000) e a NBR 10152 (ABNT, 1987), estabelecendo critérios para o conforto acústico. Ainda assim diversos estudiosos chamavam a atenção para a necessidade de tal regulamentação. Baring (2007), critica as tentativas de regulamentação pelo governo e evidencia a necessidade da criação de uma norma que estabeleça parâmetros mais claros e passíveis de fiscalização, no sentido de efetivamente proporcionar mais qualidade de vida no tocante ao conforto acústico para a sociedade em toda a sua conjuntura, nas escolas, lares, ambiente de trabalho e etc.

Após sua publicação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) torna-se uma peça fundamental na busca de adequar o desempenho acústico dos edifícios com a expectativa do consumidor. E no entanto, impõe que as construtoras se adaptem para atender às suas exigências.

Neste sentido, este artigo tem como objetivo identificar quais as fontes de ruído que mais geram desconforto acústico aos usuários, auxiliando na avaliação de quais vedações menos proporcionam o desempenho acústico condizente com o conforto acústico desejado pelos moradores.

De maneira complementar, esta pesquisa visa também identificar o comportamento dos usuários a respeito do incômodo gerado pelos ruídos quando em sua residência.

2 CONFORTO E DESEMPENHO

O desempenho de uma edificação é um conceito que se refere ao comportamento em uso do imóvel, e tem por finalidade a delimitação do que é essencial para o usuário conforme certos aspectos, como conforto, segurança e durabilidade.

Dentre estes aspectos é comum o item "conforto" não receber a devida importância e é apenas após a entrega, geralmente devido a reclamações dos usuários que surge a atenção com o tema. Em um estudo realizado no Reino Unido, Grimwood (1997) observou que devido ao baixo desempenho acústico das vedações a vida social dos moradores passa a ser afetada, pois as pessoas deixam de receber ou fazer visitas, para evitar que o ruído produzido incomode os vizinhos, ou prejudique o próprio ambiente.

Neste sentido o desempenho acústico das vedações é fundamental para se garantir um bom conforto ao usuário. Segundo Barry (2008), um recinto de uma edificação deve proporcionar ao usuário conforto e privacidade acústica condizentes com a finalidade do ambiente, sobretudo quando se destina ao repouso ou trabalho intelectual.

O termo "conforto" está relacionado ao conceito de bem-estar, o qual varia

de pessoa a pessoa conforme certas características e vivências individuais, o conforto acústico estudado por Freitas (2005, p. 728) foi considerado como um dos fatores que estão relacionados com questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, neste sentido, podemos dizer que o conforto acústico da residência influi na qualidade de vida do morador.

O seu conceito é mais facilmente entendido pela sua ausência, ou desconforto, que surge quando o nível de ruído ao redor atrapalha a execução de algumas atividades que necessitam de um certo nível de silêncio. Diversos autores estudaram os fatores que influem no desconforto causado pelo ruído, alguns fatores identificados são: duração do ruído, número de repetições do evento ruidoso, tarefas individuais envolvidas, suscetibilidade individual, níveis de sensitividade física e psicológica individual, experiência anterior com o tipo de ruído (CROOME, 1977); intenção de produzir o ruído, atividade realizada no momento do ruído, a reação individual ao ruído, a relação com a pessoa que está produzindo o ruído (LEVY-LEBOYER e NATUREL, 1991).

Surge então a questão de como mensurar ou estimar o conforto, neste caso o acústico, de uma determinada partição? Segundo o comitê de pesquisas de opinião de problemas de ruído organizado pela *Acoustical Society of Japan* (ASJ) (NAMBA *et al*., 2010), a pesquisa de opinião é uma ferramenta útil na análise do efeito do ruído na vida das pessoas, além de essenciais para estimar os níveis aceitáveis de isolamento acústico das vedações através da comparação entre os resultados obtidos com diferentes unidades. O autor ainda propõe

3 QUESTIONÁRIO ELABORADO

O método utilizado para identificar a percepção de conforto acústico se caracterizou pela aplicação de questionários condicionados a identificar a opinião dos moradores quanto ao isolamento acústico de suas residências.

Composto de 15 questões distribuídas ao longo de 3 folhas, o modelo de questionário elaborado foi uma adaptação do proposto pela *Acoustical Society of Japan* (ASJ) (NAMBA *et al*., 2010).

No questionário é feita uma breve caracterização do entrevistado, pela idade, sexo e número da residência, este último obtido com os propósitos de relacionar a resposta com a sua localização e a influência das fontes sonoras. As questões seguem um modelo estruturado e subdividem-se em três grupos: o grupo 1, formado por quatro questões de caráter introdutório revela a satisfação do morador quanto à localização do imóvel; o grupo 2, formado por 6 questões, busca identificar qual a fonte sonora que mais incomoda e qual o comportamento do morador a esse respeito; e o grupo 3, constituído de 5 questões, é responsável por definir o nível de conforto acústico proporcionado pelo sistema construtivo.

De maneira a facilitar sua aplicação, agilizar o processo e padronizar as respostas, o método escolhido para elaboração do questionário foi o de

questões fechadas, em que se oferece algumas alternativas de resposta. Quanto aos tipos de pergunta, em sua maioria adotou-se o modelo linear escalonado de 5 níveis, utilizado com maestria nos trabalhos de Zhang *et al.* (2012) e Meng *et al.* (2013), em que além das respostas "sim" e "não" tradicionais são oferecidas uma opção neutra e duas opções intermediárias, ainda que se tenha utilizado outros modelos em menor intensidade, por exemplo questões de múltipla escolha e binárias (VIEIRA, 2009).

Quanto ao método de aplicação, no primeiro momento pensou-se na auto aplicação, influindo esta decisão inclusive na escolha do método para elaboração das questões, no entanto, em detrimento do baixo índice de respostas obtidas optou-se pela entrevista face a face, pois além de aumentar o número de respostas obtidas, garante mais confiança nas respostas por possibilitar ao entrevistador explicar com profundidade as questões, e permitindo além disso, que qualquer pessoa possa responder, à exemplo de pessoas analfabetas.

4 EDIFICAÇÕES ONDE APLICARAM-SE OS QUESTIONÁRIOS

Os questionários foram aplicados em moradores de 4 edificações distintas, localizadas na Região Metropolitana de Belém do Pará. Não é possível relacionar as tipologias construtivas das edificações com a percepção de conforto acústico dos usuários, no entanto, de maneira a caracterizar a amostra segue no quadro 1 a descrição das edificações onde aplicaram-se os questionários aos moradores.

Quadro 1 - Tipologias construtivas das edificações

EDIFICAÇÃO	VEDAÇÃO VERTICAL (PAREDE)			VEDAÇÃO HORIZONTAL (LAJE)		
	Tipo	Revestimento Interno	Rev. Externo sobre Reboco de Arg.	Tipo	Tipo de Revestimento	Forro de Gesso
1	Tijolo cerâmico	Argamassa*	Pastilhas Cerâmicas	Nervurada	Cerâmica Tipo A	Não
2	Tijolo cerâmico	Argamassa*	Pastilhas Cerâmicas	Maciça	Porcelanato	Sim
3	Bloco de concreto	Gesso	Pintura Acrílica	Maciça	Cerâmica Tipo A	Não
4	Estrutural	Argamassa* e tijolos cortados	Pastilhas Cerâmicas	Maciça	Cerâmica Tipo A	Não

Nota: *A argamassa utilizada no reboco normalmente empregados na região é composto de cimento e areia, traço 1:3

Fonte: O autor

5 RESULTADOS

Foram aplicados questionários em quatro das seis edificações estudadas, totalizando 78 questionários. As amostras representam de 20% a 40% da população de apartamentos ocupados dentre os empreendimentos estudados. Dos moradores que responderam ao questionário, 40 são

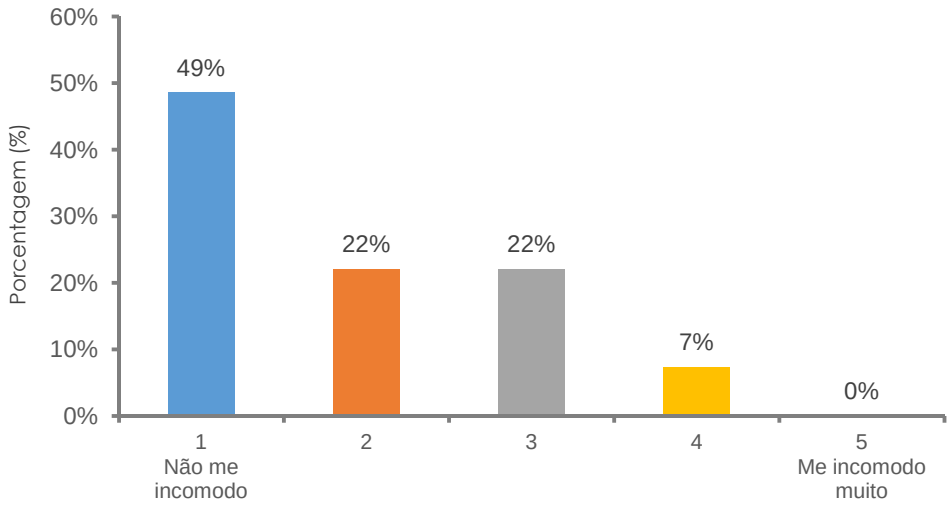
mulheres e 38 são homens, cujo as médias de idades são de 43 e 37 anos respectivamente.

Em relação ao que os entrevistados acham da qualidade de vida em Belém, de "muito boa" a "muito ruim", a média (2,82) e o coeficiente de variação (34%) sugerem que consideram de "Boa" a "Regular". Outros 23% dos entrevistados que compraram um apartamento já residiam no mesmo bairro.

A satisfação dos moradores com a qualidade de vida na cidade aponta que estes estão menos suscetíveis a que um outro incômodo qualquer influa na sua percepção de conforto acústico.

Dos entrevistados, 22% disseram se incomodar pouco com o ruído, outros 22% relataram se incomodar de maneira moderada e 7% alegaram se incomodar bastante com o ruído de maneira geral (Figura 1). Isto permite dizer que aproximadamente metade dos moradores se incomodam com o ruído de alguma maneira e que aproximadamente 30% deles incomodam-se de moderadamente a bastante.

Figura 1 – Nível de incômodo com o ruído



Fonte: O autor

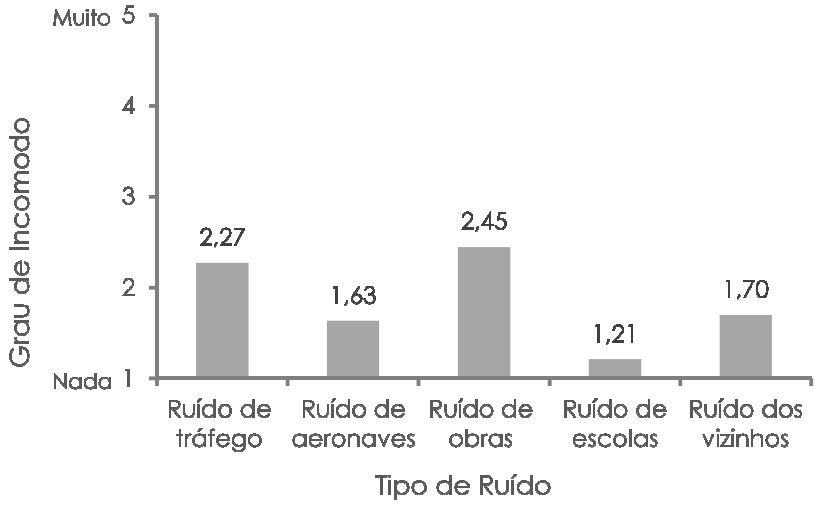
Quanto aos ruídos que mais incomodam, destacou-se com 21% o ruído de obras ou reformas, curiosamente apontado por 78% das pessoas que se sentem incomodadas com este ruído.

Outros ruídos também chamam a atenção, como o ruído ambiental, representado por diversos ruídos como o ruído de trânsito (7%), carros em alta velocidade (7%), sirenes de ambulâncias ou polícia (5%), carros com sons (5%), buzinas (4%) e etc., que somados apontam que o ruído ambiental se destaca entre os ruídos que mais incomodam segundo 30% do total de entrevistados.

A seguir os moradores foram questionados quanto ao nível de incômodo percebido com os principais grupos de ruídos destacados pela literatura (NAMBA *et al*., 2010). O resultado desta questão (Figura 2) aponta que o ruído que mais gera incômodo em uma escala de 0 a 5 é o de obras e

reformas (2,45), em segundo lugar o ruído ambiental, representado pelo ruído de tráfego (2,27), e em terceiro lugar o ruído dos vizinhos (1,7).

Figura 2 – Grau de incômodo com diversos ruídos



Fonte: O autor

Como resultado do incômodo gerado pelos diversos ruídos citados, os moradores relataram diferentes formas de impacto em suas vidas. Na Tabela 1 temos as principais formas de incômodo relatadas e suas respectivas percentagens, nela percebe-se a magnitude com que estes ruídos impactam na qualidade de vida dos moradores, de 24% a 25% destes declaram não se incomodar em demasia, no entanto, têm suas atividades diárias dificultadas pelo baixo desempenho acústico da edificação; por outro lado, um número ainda maior, de 36% a 40%, alegam irritação, dificuldade de relaxar, e, de maneira ainda mais grave, têm o seu momento de repouso atrapalhado; e 12% afirmam ter sua saúde afetada como resultado da irritação gerada pelo ruído e expressam dificuldades impostas pelo convívio com este problema.

Tabela 1 – Tipo de incômodo gerado pelos ruídos e as respectivas porcentagens de ocorrência

Tipo de incomodo gerado pelo ruído	**% de ocorrências**
Consideram que o ruído faz mal para a sua saúde	12%
Se incomodam de maneira não muito séria ou têm dificuldades ao telefone, tv, rádio, trabalho ou quando estão lendo	24%-28%
Dizem não conseguir relaxar, o consideram irritante ou pior, dizem que atrapalha o seu sono	36%-40%

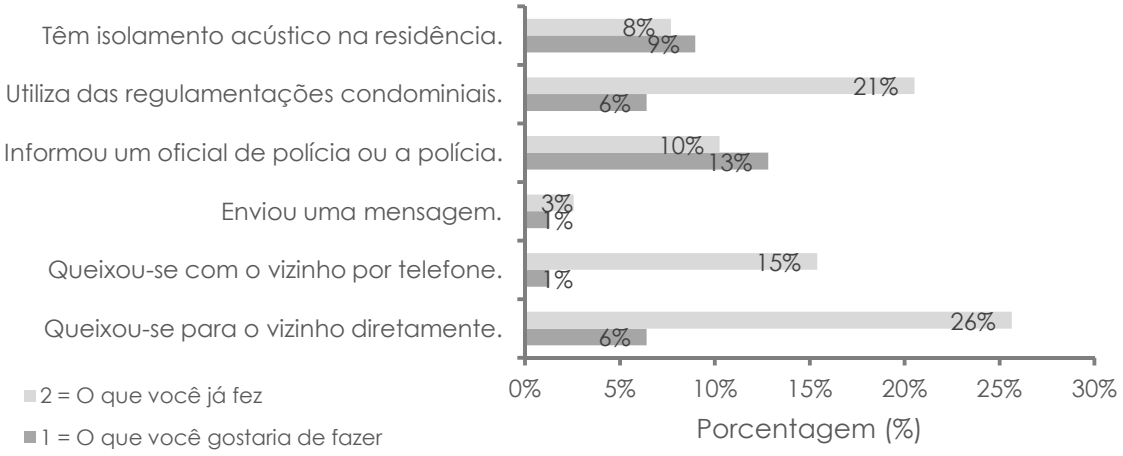
Fonte: O autor

Estes dados são preocupantes pois indicam a deficiência do desempenho acústico em um dos momentos no qual mais se faz necessário, no momento do descanso, no qual a pessoa se recupera de um dia de trabalho e se condiciona ao dia seguinte. Este efeito perigoso se mostra ainda mais

ameaçador sobretudo considerando que 40% dos entrevistados que reclamaram de ter dificuldades em dormir ou descansar, declararam ter sua saúde prejudicada.

Neste sentido, torna-se natural que estas pessoas busquem uma solução para este problema, conforme é apresentado na Figura 3, seja queixando-se com o vizinho diretamente (26%), utilizando das regulamentações condominiais (21%), ou de maneira ainda mais grave, informando um oficial de polícia (10%).

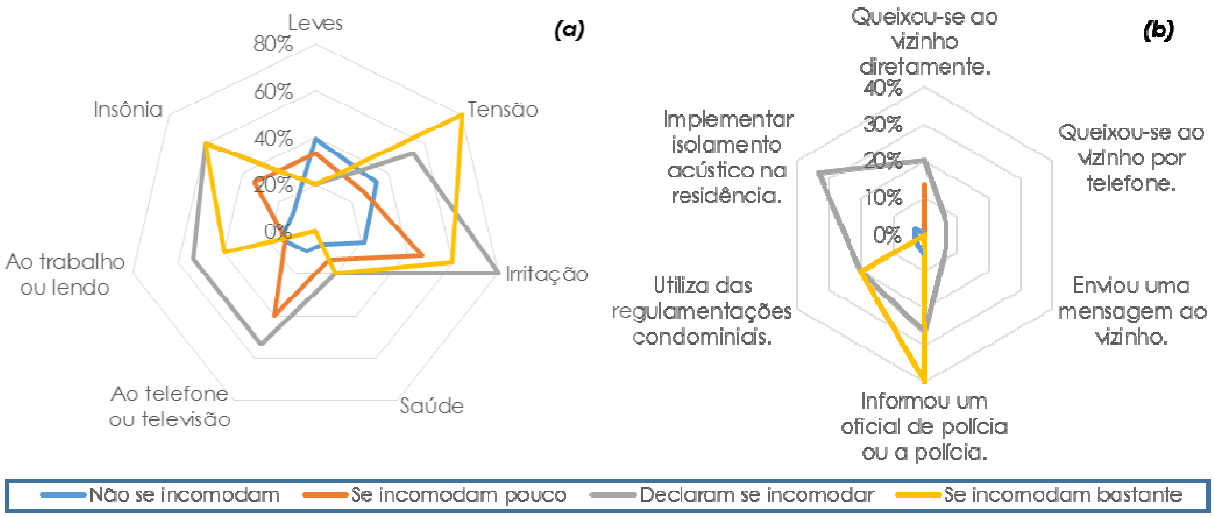
Figura 3 – O que os entrevistados fazem ou gostariam de fazer a respeito dos ruídos



Fonte: O autor

Outra forma de avaliar a relação dos moradores com o incômodo gerado pelos ruídos, quando em sua residência, é apresentada na Figura 4, na qual observa-se a diferença no comportamento dos moradores que relatam níveis diferentes de incômodo gerado por estes ruídos.

Figura 4 – Impacto na qualidade de vida dos moradores submetidos a níveis crescentes de incômodo



Nota: (a) problemas causados pelo ruído para cada nível de incômodo; (b) o que os moradores gostariam de fazer a respeito do ruído, por nível de incômodo
Fonte: O auto

Na Figura 4a, na qual são apresentados os problemas relatados pelos moradores segundo cada nível de incômodo, nota-se que os moradores que se declararam nos níveis 3 (declaram se incomodar) e 4 (se incomodam bastante) têm a sua qualidade de vida prejudicada em níveis crescentes de tensão, irritação e insônia, e à medida que o incômodo se amplifica, deixam de se incomodar apenas em suas atividades diárias, como ler ou ver televisão, e passam a conviver em uma realidade de tensão (segundo 80% dos entrevistados no nível 4 de incômodo).

É importante notar também a mudança de comportamento dos entrevistados. Na Figura 4b, que informa o que os moradores gostariam de fazer a respeito do ruído, observa-se que a medida que o morador passa do nível 3 para o 4 de incômodo, não julga mais poder resolver o problema simplesmente queixando-se com o vizinho (20%) ou implementando algum tipo de isolamento acústico (30%), e acredita que a única forma eficaz é utilizando das regulamentações condominiais (20%) ou utilizando-se de um agente da justiça, informando a polícia (40%). Esta última inclusive foi o que fizeram 10% do total de entrevistados (Figura 3).

6 CONCLUSÕES

O baixo isolamento acústico relatado pelos entrevistados chama a atenção, pois metade dos moradores se incomodam com o ruído de alguma maneira e aproximadamente 30% deles incomodam-se de moderadamente à bastante. Destacando-se dentre os ruídos campeões em reclamação o ruído ambiental e o proveniente de obras e reformas.

Este fato gera consequências desastrosas aos moradores, segundo os entrevistados relatam, como dificuldade em dormir, relaxar, ou mesmo afirmam ter sua saúde prejudicada.

Visando reverter este quadro os moradores queixam-se com os vizinhos ou utilizam das leis e regulamentações condominiais, relatando o problema a algum agente da polícia ou do condomínio.

Este artigo destaca ainda que este comportamento é agravado conforme cresce o nível de incômodo do morador, repercutindo na forma como o morador pensa em solucionar o problema do baixo isolamento acústico, acreditando que a única forma eficaz de combatê-lo é informando a um agente da justiça ou do condomínio.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Grupo de Vibrações e Acústica (GVA).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 15575:** Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BARRY, Peter. Desempenho Acústico em Edifícios: grandezas, métodos, normas e critérios. In: SEMINÁRIO DE ACÚSTICA ARQUITETÔNICA CONTEMPORÂNEA, 4. 2008, São Paulo. **Anais…** São Paulo, 2008.

BARING, J. G. D. A. Sustentabilidade e o controle acústico do meio ambiente. **Acústica e Vibrações,** n. 38, p. 1–6, Março de 2007.

CROOME, D. J. **Noise, Buildings and People**. Loughborough University of Technology, Great Britain: Pergamon Press. International Series in heating, ventilation and refrigeration, v. 11. 1977. 613 p.

FREITAS, Ruskin. O que é Conforto? In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VIII, 2005, Maceió – AL. **Anais**... Mació: ANTAC, 2005. P. 726-735. CD ROM.

GRIMWOOD, Colin. Complaints about Poor Sound Insulation between Dwellings in England and Wales. **Aplied Acoustics**, Great Britain, v. 52, n. 3/4, p. 185-196, Nov./Dec. 1997.

LEVY-LEBOYER, Claude e NATUREL, Véronique. Neighbourhood noise annoyance. **Journal of Enviromental Psychology**. V. 11, p. 75-86. 1991.

MENG, Qi; KANG, Jian; JIN, Hong. Field study on the influence of spatial and environmental characteristics on the evaluation of subjective loudness and acoustic comfort in underground shopping streets. **Applied Acoustics**. v 74, p. 1001-1009. Fevereiro de 2013.

NAMBA, S.; KUWANO, S.; KAKU, J.; KUNO, K.; SASAKI, M.; TACHIBANA, H.; et al. Proposal of fundamental items for social survey on noise problems. **Acoust. Sci. & Tech.** 2010; 31,2 : 124–8.

SÃO PAULO. **Lei nº 8.106, de 30/08/1974**. Dispõe sobre sons urbanos, fixa níveis e horários em que será permitida a sua emissão nas diferentes zonas de uso e atividades, e dá outras providências. São Paulo, SP, 30 de agosto 1974. Disponível em: <http://cmspbdoc.inf.br/iah/fulltext/leis/L8106.pdf>. Acesso em: 18/05/2016.

VIEIRA, Souza. Como elaborar questionários. São Paulo: Atlas, 2009.

ZHANG, Mei; KANG, Jian; JIAO, Fenglei. A social survey on the noise impact in open-plan working environments in China. **Science of the Total Environment**. V. 438, p. 517-526. Setembro de 2012.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

JANELAS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES E O CONFORTO TÉRMICO[1]

SANTO, Amabeli Dell (1); NICO-RODRIGUES, Edna (2); ALVAREZ, Cristina Engel (3)

(1) IFES, e-mail: amabeli.dellsanto@ifes.edu.br; (2) UFES, e-mail: edna.rodrigues@ufes.br; (3) UFES, e-mail: cristinaengel@pq.cnpq.br

RESUMO

A edificação atua como mecanismo de controle das variáveis do clima, através de sua envoltória, devendo proporcionar conforto térmico aos usuários. Em edificações de múltiplos andares, as janelas podem potencializar o aquecimento interno pela presença de vidro, que possibilita o ingresso da radiação solar que se converte em carga térmica. Observa-se no Brasil que é comum o uso de janelas totalmente de vidro sem nenhum dispositivo de proteção solar. Este estudo partiu do pressuposto de que em edificações antigas, quando o uso sistemas de climatização artificial não era difundido, havia um cuidado maior com o projeto das janelas. Com o objetivo de abordar a relação do desenho das janelas com aspectos de desempenho e conforto térmico, o procedimento metodológico utilizado foi uma revisão bibliográfica, abordando o uso diferenciado de modelos de janelas em edifícios multifamiliares verticalizadas em São Paulo e Rio de Janeiro de 1930 a 1950, comparando à literatura específica de conforto térmico para clima tropical. Foi confirmado que no período avaliado o projeto das janelas incorporava o uso de dispositivos de proteção solar e permeabilidade à ventilação. Os dados coletados podem servir de referências a projetos que queiram melhorar o desempenho térmico e minimizar o consumo energético.

Palavras-chave: Janelas. Modelos. Conforto térmico.

ABSTRACT

The building acts as a control mechanism of climate variables, through its envelope and must provide thermal comfort to users. In multistory buildings, windows can enhance the internal heating by the presence of glass, which allows the entry of solar radiation that is converted into thermal load. It is observed in Brazil that is common to use fully glass windows with no sun protection device. This study was based on the assumption that in old buildings, where the use of artificial air conditioning systems was not widespread, there was a greater concern with the design of the windows. In order to address the relationship between the design of the windows with aspects of performance and thermal comfort, the methodological procedure used was a literature review, addressing the different use of windows models in multifamily verticalized buildings in São Paulo and Rio de Janeiro from 1930 to 1950 compared to the literature of thermal comfort for tropical climate. It was confirmed that in the period evaluated the design of the windows incorporated the use of solar protection devices and permeability ventilation. The collected data can serve as references for projects that want to improve thermal performance and minimize energy consumption.

***Keywords**: Windows. Models.Thermal comfort.*

[1]SANTO, Amabeli Dell; NICO-RODRIGUES, Edna; ALVAREZ, Cristina Engel. Janelas em edificações multifamiliares no Brasil e o conforto térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A definição do modelo de janela envolve diversos aspectos como a aparência, a função, o desempenho energético e o custo. A funcionalidade da janela engloba a relação entre o ambiente interno com os fatores ambientais e consequentemente com o conforto. Sendo relevante considerar alguns fatores para melhor desempenho da janela: aproveitamento da iluminação e ventilação natural, controle de ofuscamento, da radiação solar e de ruídos. Além disso, deve-se considerar a facilidade de manutenção e a durabilidade dos materiais usados, fatores que refletem na vida útil deste elemento (CARMODY; SELKOWITZ e HESCHONG, 1996).

Destaca-se que a escolha de modelos janelas não considera todos os aspectos mencionados, sendo baseada a escolha, em muitas vezes, no modelo mais comercializado pelo mercado, no tipo de operação e no custo inicial.

Para Albaticie Passerini (2011) são necessários modelos diferentes de janelas para atender às particularidades de cada orientação e quando se determina um tipo de janela é importante considerar principalmente, fatores como, o conforto visual, a salubridade, e as características arquitetônicas do edifício. Nesse sentido, as janelas, entre outros elementos construtivos, possui a função determinante de controlar as variações climáticas dentro do ambiente construído e definir condições fisiológicas satisfatórias.

Mascaró (1991) coloca que o desempenho térmico da edificação está relacionado a perdas e ganhos térmicos, que dependem de diversos fatores, entre os quais destaca a ação do vento nas fachadas do edifício e sobre as superfícies interiores e, a ação da radiação solar e térmica e, consequentemente, das características dos isolantes térmicos da envoltória, ressaltando a importância do modelo das aberturas.

Corbella e Yannas (2003) elencam como estratégias de desempenho térmico a observação quanto ao dimensionamento, posicionamento e proteção das aberturas em relação à orientação solar, assim como a proteção das demais superfícies do envelope da construção, visando minimizar o ganho térmico.

O aproveitamento da ventilação natural como fator de resfriamento fisiológico do usuário, bem como no resfriamento da edificação, por meio da remoção da carga térmica acumulada é uma estratégia para promover o conforto térmico (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Corbella e Corner (2011) destacam que as janelas exercem uma função essencial na ventilação dos ambientes, ressaltando que o padrão e a velocidade de ventilação internas são definidas pelas áreas de abertura, formato, posicionamento, altura do peitoril e modelos com diferentes sistemas de aberturas. Mas a possibilidade de ventilação natural é determinada pela distribuição das pressões nas fachadas, que orientam o posicionamento das janelas para entrada e saída do ar.

Este estudo abordou os modelos de janelas utilizadas nos edifícios multifamiliares verticalizados, em relação ao desempenho e conforto térmico, entendendo a abordagem sistêmica que envolve a definição do modelo, e estando associado às características da envoltória, permeabilidade interna dos espaços, condição climática entre outros fatores.

O procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foi uma revisão bibliográfica, abordando o uso diferenciado de modelos de janelas em edifícios multifamiliares verticalizados em São Paulo e Rio de Janeiro 1930 a 1950 - partindo do pressuposto de que em edificações antigas, anteriores a difusão de sistemas de climatização artificial, havia um cuidado maior com o projeto das janelas. E analisa os modelos encontrados em edificações da época à literatura específica de conforto térmico para clima tropical.

2 TRAJETÓRIA DOS MODELOS DE JANELAS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES E SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO TÉRMICO

No Brasil, os primeiros edifícios de apartamentos surgem na década de 1930. Eram produzidos, em sua maioria, para aluguel, representando uma boa opção de investimento por permitir a sobreposição de unidades, em vários pisos, numa mesma gleba (VILLA, 2010).

Desde o surgimento das primeiras edificações multifamiliares, as persianas externas do tipo Copacabana (persianas projetantes), foram bastante utilizadas principalmente nos fechamentos de dormitórios (Figura 1).

Figura1 - Detalhe da persiana no Leblon – RJ nos anos de 1940



Fonte: Gewerc (2013).

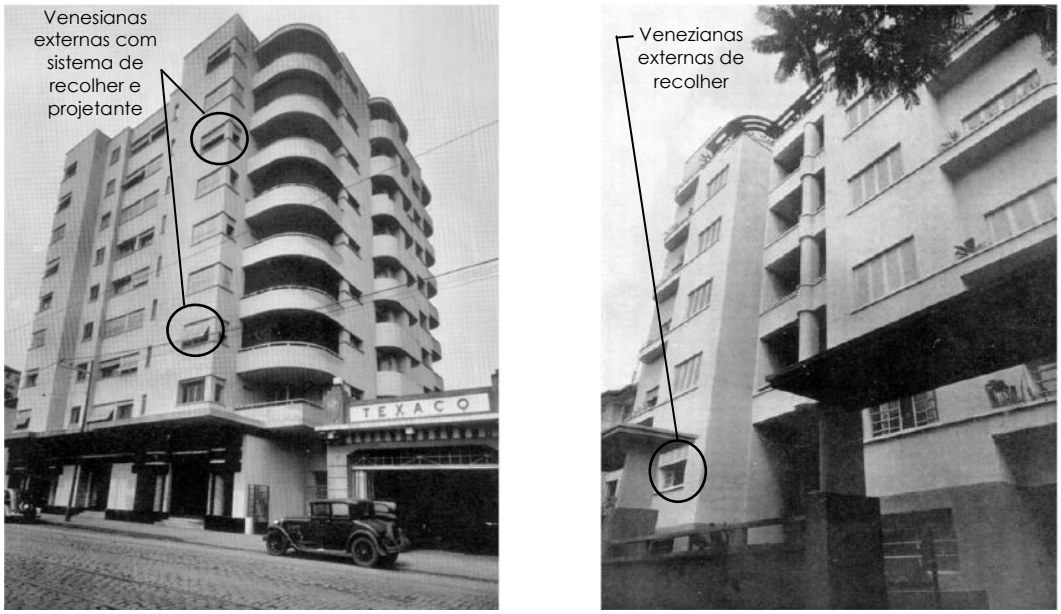
O uso deste componente inserido na janela proporciona ao usuário controle das condições térmicas do ambiente, pois a persiana articulada permite angulações diversas, de acordo com a incidência solar e também a condição de ventilação permanente.

O Edifício Columbus, de 1934 e o Edifício Higienópolis, de 1936, ambos em São Paulo, do arquiteto Rino Levi (Figura 2), representam algumas das primeiras edificações de habitação multifamiliar. Se destaca o uso de

esquadrias metálicas em todas as janelas, e nos ambientes de permanência prolongada, a utilização das janelas com sistema de abertura de correr e venezianas externas de recolher e projetantes (PINHEIRO, 2008).

O uso de venezianas em climas tropicais é indicado por permitir a ventilação noturna, retirando o ar aquecido pela irradiação do calor absorvido pelas paredes no período diurno.

Figura2 - a) Edifício Columbus e b) Edifício Higienópolis



a) b)

Fonte: Pinheiro (2008)

Após a década de 30 do século XX, surge no cenário da habitação multifamiliar, a tipologia de janela denominada janela ideal. Utilizadas no Edifício Louveira (1946), obra de Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, nas fachadas nordeste e sudeste, onde são localizados os dormitórios (Figura 3).

Gimenez (2009) caracterizou a janela Ideal sendo aquela que funciona com o sistema de abertura guilhotina com folhas contrapesadas. Essa característica do mecanismo com cabos de aço faz com que bandeira e peitoril das janelas façam parte do conjunto e assim constituam painéis regulares ajustados com precisão entre vãos. Ressalta-se a possibilidade de abertura total do vão, aliado ao uso de venezianas possibilitando ventilação constante.

Nesta mesma edificação observa-se ainda outro modelo de janela, localizado nas salas de estar e cozinha, em que o sistema de vãos é composto por caixilharia externa de chapa dobrada de aço galvanizada, formando grandes panos de vidro do piso ao teto. Questiona-se quanto à utilização de modelos de janelas com respostas de desempenho térmico tão diferente para uma mesma orientação, ainda que em cômodos com usos distintos. Ressalta-se o uso de cortinas como proteção interna contra a insolação incidente na área envidraçada.

Como elemento interferente nas condições térmicas do ambiente, o vidro está relacionado ao ganho térmico nas edificações em relação aos elementos opacos, sendo classificados como agente causador de desconforto térmico (TSIKALOUDAKI et al., 2012).

Figura3- a) Fachada Edifício Louveira; b) Vista do interior do edifício mostrando a janela ideal



a)



b)

Fonte: Nogueira (2013)

Isto ocasionado pela radiação solar que permite ondas curtas dentro do ambiente e desenvolvendo o efeito estufa, ou seja, a radiação na faixa do infravermelho absorvida pelo ambiente não retorna para o exterior (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Pereira (1993) aponta o uso do quebra-sol, como uma característica distinta da arquitetura moderna brasileira, e destaca que seu desenvolvimento mais amplo se deu na obra dos Irmãos Roberto. A partir de um requisito de conforto ambiental, indicado pela necessidade de proteção das fachadas expostas à insolação direta, os arquitetos desenvolveram várias possibilidades plásticas destes elementos na composição de fachadas.

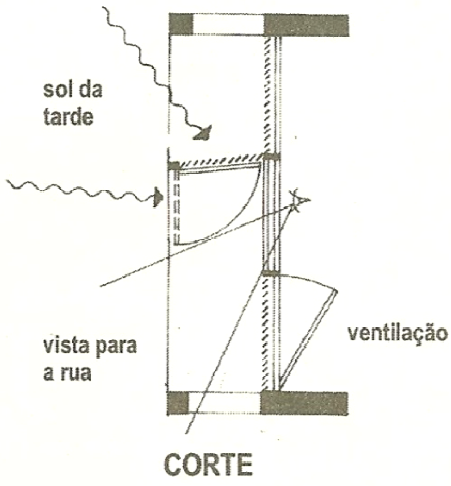
Marcelo Roberto, Milton Roberto e Maurício Roberto, projetaram em 1945, para o edifício MMM Roberto (Figura 4) um sistema de proteção solar que atende à variação da inclinação dos raios solares ao longo do dia (CORBELLA, YANNAS, 2003). Além do cuidado com os elementos de proteção solar, pode-se verificar no corte o detalhe do peitoril articulado, aumentando a ventilação interna, pois possibilita ao usuário controlar as

condições internas de acordo com sua satisfação em relação ao conforto térmico, adaptando-se ao ambiente.

Figura 4 - a) Fachada do Edifício MMM Roberto; b) Corte da janela



a)



b)

Fonte: a) M Roberto Arquitetos (2004); b)Corbella, Yannas (2003)

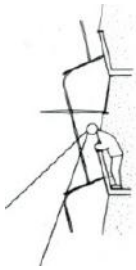
A utilização de janelas com proteção solar é considerada uma marca da arquitetura dos Irmãos Roberto. Neste exemplo as esquadrias foram divididas em três partes articuladas dentro de um quadriculado de concreto. Foram utilizadas persianas móveis, na face externa dos vidros, para proteção superior e inferior das janelas. Treliças horizontais fixas e o quadro em concreto completam a proteção solar. Também foi idealizado a possibilidade de utilizar o peitoril ventilado, outro artifício que possibilita a ventilação de conforto.

O Edifício Marquês do Herval (Figura 5) de 1952, com uso predominantemente comercial, possui um andar de apartamentos na cobertura (PEREIRA, 1993). Observa-se no corte, que os peitoris avançam desde o piso, projetando-se, enquanto as esquadrias fazem o movimento oposto, recuando até o forro, e uma superestrutura de quebra-sóis metálicos móveis que se justapõe a esta fachada (PEREIRA, 1993, p. 112). Este projeto é bastante peculiar quanto à flexibilidade da janela como elemento de proteção solar, ajustando-se à necessidade ao longo do dia e possibilitando

ao usuário sua controlabilidade e adaptação.

Figura 5 - a) Edifício Marquês do Herval; b) croqui do funcionamento da janela; c) Detalhe e projeto das janelas

a) 

b) 

c) 

Fonte: M Roberto Arquitetos (2004); Durco (2012); Colin (2011)

Atualmente o Edifício Marquês do Herval se encontra completamente descaracterizado, tendo perdido, os seus brises móveis e em lugar destes surgiram aparelhos de ar condicionado. O fim do sistema se deu pelo desgaste natural decorrente das intempéries, a proximidade do mar e a falta de manutenção preventiva (PEREIRA, 1993).

Cabe destacar ainda o trabalho do arquiteto alemão Adolf Franz Heep, que chegou ao Brasil em 1947, e teve sua produção voltada para o mercado imobiliário de São Paulo. A contribuição de Heep se destaca no Edifício Atlanta (Figura 6), construído entre 1945 e 1949 (SILVA, 2013).

O modelo de janela utilizado vai de piso a teto, composta por portas de correr de vidro e veneziana, que delimitam a varanda - tornando o ambiente mais agradável, visto ser de dimensões reduzidas. A varanda proporciona ampliação visual, além de proteger as portas de vidro da incidência da radiação solar, permitindo ainda a ventilação natural, com o uso das venezianas externas (SILVA, 2013).

O desenho do peitoril da varanda, misto de proteção e assento, se configura como um espaço de estar e de expansão da sala em direção à Praça da República. Além disso, a combinação dos dois elementos, o banco e as venezianas, definem o desenho da fachada principal, dinamizando-o e conferindo movimento, especialmente no sentido horizontal (SILVA, 2013).

Figura 1- Edifício Atlanta – fachada, interior de uma quitinete e detalhe do peitoril da varanda



Fonte: Silva (2013)

Para o Edifício Lausanne (Figura 7), construído em 1953, em Higienópolis, SP, Heep também projetou um sistema de proteção solar com venezianas no sistema de abertura do tipo de correr (CORBELLA; YANNAS, 2003). A fachada nordeste, possui caixilharia de grandes dimensões, compostas por esquadrias para sala de estar, jantar e dormitórios ocupando todo o vão. Uma composição de portas de correr de grandes dimensões, com venezianas verticais móveis, cobrindo toda a fachada.

A veneziana proporciona o sombreamento das áreas envidraçadas, bem como permite a ventilação constante, alterando as condições de temperatura interna.

Figura2- a) Fachada do Edifício Lausanne; b) Detalhe venezianas



a) b)

Fonte: Deak (2011)

No mesmo período Heep projeta o edifício Ibaté, 1953 (Figura 8). Sua fachada se caracteriza pela presença de uma grande grelha que isola cada uma das unidades internas, e funciona como proteção para os caixilhos. Seus elementos horizontais são floreiras (COSTA, 2013). Nota-se o

desenho diferenciado da janela, com duas folhas externas, tipo guilhotina, com elementos vazados protegendo da radiação solar, e as folhas de correr envidraçadas internas.

Figura 8 - Edifício Ibaté



Fonte: Costa (2013)

Corbella e Yannas (2003) destacam que apesar da originalidade e bom funcionamento dos projetos de janelas com venezianas móveis em relação à proteção solar, a falta de manutenção afetou o desempenho final destes sistemas, levando muitas vezes a alteração e até eliminação destes, suscitando reflexões sobre a necessidade de se criar janelas que possuam proteção solar, mas que também sejam de fácil manutenção. Por outro lado, avanços técnicos na área estrutural começaram a permitir ampliação dos vãos das aberturas, e, em paralelo a indústria desenvolvia vidros de diversas espessuras e perfis metálicos cada vez mais resistentes e sutis. Assim, os vãos entre os caixilhos se ampliaram, ensaiando a pele de vidro (COSTA; STUMPP, 2013).

Com esqueleto estrutural e o uso de grandes aberturas, o Edifício Nova Cintra (Figura 9), de 1948, é parte do conjunto projetado por Lúcio Costa no Parque Guinle (RJ), e cabe destacar a fachada é sul - para o Rio de Janeiro, recebe sol apenas no verão, e predominantemente no início da manhã e fim do dia, e mais próximo ao solstício de verão, recebe radiação durante todo o dia. Apesar de ser uma orientação favorável ao longo do ano, à época de insolação desta fachada é a mais quente do ano.

Observou-se que a utilização deste modelo para a orientação sul, não proporcionou condições de conforto, afirmada pela utilização de bloqueadores internos (cortinas) e aparelhos de refrigeração mecânica, para amenizar o desconforto térmico, conforme Figura 9.

Figura 9- Edifício Nova Cintra - Parque Guinle



Fonte: Kon (2014)

Para o Edifício Brisol (Figura 10), outro edifício do conjunto do Parque Guinle, o arquiteto utilizou o brise-soleil para a fachada oeste, que recebe insolação durante o ano todo pelo período da tarde, com a função de proteção solar. Esta fachada funciona como uma capa das esquadrias voltadas para esta orientação, filtrando a radiação solar e ao mesmo tempo garantindo a permebilidade à ventilação natural melhorando as condições de conforto.

Figura 10–Brises soleils e cobogós da fachada oeste do Edifício Bristol – Parque Guinle



Fonte: Molina (2014)

Nico-Rodrigues (2015)destaca que a utilização de modelos de janelas simplificados - sem proteção das áreas envidraçadas é marcante nas edificações multifamiliares em Vitória (ES), demonstrando uma prática constante dos projetistas e das construtoras. A autora registrou, em pesquisa de campo, 1.999 edificações multifamiliares, em bairros de maior crescimento imobiliário, e constatou que o modelo que atenderia as diretrizes bioclimáticas foi observado em apenas 0,10% destas edificações (duas apenas, construídas na década de 1960).

O modelo da janela é determinante para sua usabilidade, bem como para adequar o movimento do ar para as condições desejáveis. A escolha inadequada de modelos têm contribuído significativamente para o consumo de energia em edifício residencial (Kim et al. 2014) sendo que cerca de 30% do total de energia para condicionar ambientes é atribuída à transferência de calor por meio das janelas (Yoo et al. 2005).

3 CONCLUSÕES

Verificou-se que os modelos das janelas analisados incorporavam o uso de dispositivos compostos por painéis de veneziana externos, com sistemas de correr, de recolher e projetáveis, além de elementos vazados e brises permitindo a possibilidade de proteção solar e permeabilidade à ventilação, conforme a necessidade de adaptação das edificações a necessidade variável conforme o momento do dia e, ou as estações do ano. Neste contexto, arquitetos se empenharam em detalhar aberturas com engenhosos mecanismos de funcionamento, dentre os quais, se podem destacar o trabalho dos Irmãos Roberto, Adolf Franz Heep, Vilanova Artigas, entre outros.

Percebe-se que a madeira foi utilizada em grande parte dos sistemas de proteção das janelas. Este material possui vida útil relativamente curta, o que acarreta aumento da necessidade de manutenção e diminui a durabilidade do sistema. Hoje, a tecnologia de materiais para esquadrias já se encontra bastante avançada permitindo que outros materiais com vida útil maior possam ser utilizados em sistemas similares aos analisados.

O surgimento e popularização de sistemas de climatização artificial e à despreocupação com consumo de energia, acarretou um relaxamento, por parte dos projetistas do conceito projetual da janela, da funcionalidade em relação aos aspectos de desempenho térmico relacionados ao clima local, como proteção da radiação solar e aproveitamento da ventilação natural durante o dia, e resfriamento da edificação no período noturno pelo uso de sistemas permeáveis com venezianas. O maior impacto que isso acarreta é o aumento do consumo de energia, justamente em uma época caracterizada pela crise energética, ambiental e de aquecimento global.

Os dados coletados nesta pesquisa podem servir de referências a projetos que queiram melhorar o desempenho térmico e minimizar o consumo energético, com o tratamento específico dos modelos de janelas.

REFERÊNCIAS

ALBATICI, R. & PASSERINI, F. 201. Bioclimatic design of buildings considering heating requirements in Italian climatic conditions. A simplified approach. **Building and Environment** 46: 1624-1631.

BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações: Conforto Higrotérmico Dirigido à Concepção Arquitetônica**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br> Acesso em 20 jul. 2013.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações.** Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2010. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br> Acesso em 20 jul. 2013.

CARMODY, J., SELKOWITZ, S., HESCHONG, L. **Residential Windows: a guide to new Technologies and energy performance**. New York: Norton, 1996.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para redução do consumo energético.** Rio de Janeiro: Revan, 2011.

CORBELLA, O.; YANNAS, S**. Em busca de uma arquitetura Sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, A. E.; STUMPP, M. M. Janelas "Modernas": materialidade das aberturas na arquitetura moderna de Caxias do Sul. In: SEMINÁRIO DOCOMOMO SUL, 4, 2013, Porto Alegre. **Anais...** Disponível em: <www.docomomo.org.br>. Acesso em: 17 mar. 2014.

COSTA, M. O. **O Edifício Ibaté de Adolf Franz Heep, e a crítica à legislação urbanística paulistana.** 2013. Disponível em: <http://marcosocosta.wordpress.com/2013/03/24/o-edificio-ibate-de-adolf-franz-heep-e-a-critica-a-legislacao-urbanistica-paulistana/> Acesso em 19 abril 2014.

DEAK, A. **Edifício Lausanne, Adolf Franz Heep.** 2011. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/arteforadomuseu/5877765863/in/photostream/>. Acesso em: 18 abril 2014.

DURCO, B. **Edifício Marquês de Herval.** 2012. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=877776&page=70>. Acesso em: 19 abril 2014.

ESPALLARGAS GIMENEZ, Luis. A propósito do juízo da arquitetura paulistana. Arquitextos, São Paulo, ano 09, n. 105.02, **Vitruvius**, fev. 2009. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.105/73>. Acesso em: 17 abril 2014.

GEWERC, **M. Leblon, anos 40.** 2013. Disponível em: <http://www.rioquepassou.com.br/2013/08/07/leblon-anos-40/>. Acesso em: 19 abril 2014.

KIM, S.-H. & KIM, S.-S. & KIM, K.-W. & CHO, Y.-H. 2014. A study on the proposes of energy analysis indicator by the window elements of office buildings in Korea. Energy and Buildings 73: 153–165.

KON, N. **Clássicos da Arquitetura: Parque Eduardo Guinle/Lúcio Costa.** Disponível em: <www.archdaily.com.br/br/01-14549/classicos-da-arquitetura-parque-eduardo-guinle-lucio-costa/14549_15422>. Acesso em: 18 abril 2014.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto, 1991.

MOLINA, C. **RJ – A época de ouro da arquitetura carioca em 18 obras.** 2014. Disponível em: <http://defender.org.br/noticias/nacional/rj-a-epoca-de-ouro-da-arquitetura-carioca-em-18-obras/> Acesso em: 19 abril 2014.

M Roberto Arquitetos: Prêmio AsBEA 2004 pioneiros do moderno. Arcoweb, São Paulo, 08 dez 2004. **Projeto Design.** Disponível em:<http://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/m-roberto-arquitetos-premio-asbea-08-12-2004>. Acesso em: 17 abril 2014.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente.** 2015. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitectura y Urbanismo.,Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, UniverdidaddelBio-bío, Concepción, 2015. Disponível em: <http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/tese_final_nico-rodrigues_0.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2016.

NOGUEIRA, Cláudia. São Paulo: como é morar no Edifício Louveira. **Casa.com.br**, São Paulo, 27 set. 2013. Disponível em: < http://casa.abril.com.br/materia/sao-paulo-como-e-morar-no-edificio-louveira>. Acesso em: 17 abril 2014.

PEREIRA, C. C. **Os Irmãos Roberto e a Arquitetura Moderna no Rio de Janeiro (1936 – 1954).** 1993. 151 f. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52585/000050525.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 abril 2014.

PINHEIRO, M. L. B. **Arquitetura residencial verticalizada em São Paulo nas décadas de 1930 e 1940.** Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material, São Paulo, v. 16, n. 1, Jan./June 2008. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-47142008000100004>. Acesso em: 10 abril 2014.

SILVA, J. M. C. **Habitar a metrópole: os apartamentos quitinetes de Adolf Franz Heep.** Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material, São Paulo, v. 21, n. 1, Jan./June 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-47142013000100009&script=sci_arttext>. Acessoem: 19 abril 2014.

TSIKALOUDAKI, K.; THEODOSIOU, TH.; LASKOS, K.; BIKAS D. Assessing cooling energy performance of windows for residential buildings in the Mediterranean zone. **Energy Conversionand Management**, v. 64, p. 335–343, 2012. Disponível em:. Acesso em: 10 set. 2014.

VILLA, Simone Barbosa. Um breve olhar sobre os apartamentos de Rino Levi:. Produção imobiliária, inovação e a promoção modernista de edifícios coletivos verticalizados na cidade de São Paulo. Arquitextos, São Paulo, ano 10, n. 120.07, **Vitruvius**, jun. 2010. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.120/3437>. Acesso em: 16 abril 2014.

YOO, H.C. & OH, Y.H. & Park, S.K. 2005. The optimal window system of office buildings considering energy y efficiency.Journalofthe Korean Solar Energ y Society 25(4): 53–60.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DIRETRIZES PARA PROJETOS ARQUITETÔNICOS VISANDO O APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO[1]

BACICHETI, Rosana (1); CARDOSO, Lucas (2); SARDEIRO, Paula (3)

(1) UEM, e-mail: robacicheti@gmail.com; (2) UEM, e-mail: ra88570@uem.br; (3) UEM, e-mail: pssvanderlei@uem.br

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente e a escassez dos recursos naturais têm gerado preocupação na sociedade, principalmente pelo alto consumo de energia derivado do uso de equipamentos que poderiam ser evitados pelo condicionamento passivo. A iluminação e a ventilação natural são elementos que podem gerar o conforto térmico e lumínico e podem ser bem aproveitadas por meio de diretrizes projetuais que contemplem estratégias de condicionamento passivo. O objetivo é apresentar diretrizes iniciais relacionadas ao emprego de aberturas na concepção do projeto arquitetônico em estabelecimentos escolares. Assim como, investigar se uma sala de aula modelo de uma Universidade possui tais diretrizes em seu projeto arquitetônico, incitando a reflexão de como os projetos arquitetônicos têm sido desenvolvidos em relação ao conforto térmico e lumínico na instituição. Para isso, foi feita uma revisão teórica direcionada a soluções de projeto arquitetônico de salas de aula que possibilitam a obtenção do conforto térmico e lumínico, em regiões de clima subtropical, por meio das aberturas laterais. Posteriormente, foi gerado um quadro-síntese de diretrizes com as informações pesquisadas. E verificou-se se tais itens poderiam ser encontrados no local de estudo. O resultado obtido demonstrou que a sala de aula 102 do bloco C34 da UEM apresenta 65% dos itens analisados.

Palavras-chave: Aberturas laterais. Conforto térmico e lumínico. Projetos de salas de aula.

ABSTRACT

The concern with the environment and the shortage of natural resources have raised concerns in society, specially due to the high energy consumption derived from the use of equipment that could be avoided by a liable conditioning. Natural lighting and ventilation are elements that can generate thermal and lighting comfort and can be well used by projective guidelines that include passive conditioning strategies. The objective is to present initial guidelines related to employment openings in the design of architectural design in schools. As well as investigate whether a classroom model of a university has such guidelines in its architectural design, prompting reflection of how architectural designs have been developed in relation to thermal and luminal comfort in the institution. For this, a theoretical review directed the architectural design solutions for classrooms was made that allow obtaining the thermal and luminal comfort in subtropical climate regions, through the side openings. It was later produced a summary table of guidelines with the information researched and verified that such items could be found at the study site. The result showed that the classroom 102 of the C34 block of UEM has 65% of the analyzed items.

[1] BACICHETI, Rosana; CARDOSO, Lucas; SARDEIRO, Paula. Diretrizes para projetos arquitetônicos visando o aproveitamento da iluminação e ventilação natural em salas de aula: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Side openings. Thermal and lighting comfort. Projects of classrooms.*

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico e lumínico de um ambiente são influenciados pelo clima da região em que a edificação está inserida e por sua configuração construtiva e de da sua vizinhança. O envelope construtivo será o elemento pelo qual a luz poderá ou não atingir as superfícies internas, por isso o projetista torna-se um profissional de grande importância no desenvolvimento do projeto arquitetônico, já que é ele quem vai ditar as diretrizes mais significativas a serem empregadas.

Nesse contexto, salas de aula vêm sendo foco de análise de diversos pesquisadores. Kowaltowski (2011) relata que é pertinente que os elementos arquitetônicos sejam questionados em relação à sua influência sobre os níveis de aprendizagem dos alunos e sobre a produtividade dos professores no ato de ensinar, uma vez que pelo menos 20% da população permanece, durante grande parcela do tempo diário, em edificações escolares.

Segundo Sardeiro (2007), o conforto visual é influenciado pela qualidade e quantidade de luz em um determinado ambiente. Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997) uma iluminação ideal acontece quando há o seu direcionamento nos locais necessários, sendo bem distribuída e não necessariamente uniforme. Para salas de aula, a iluminação mais apropriada é aquela onde ocorre a uniformidade da luz no ambiente, sem contrastes excessivos e reflexos indesejados (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Em relação ao conforto térmico, ele pode ser definido pela ABNT NBR 15220-1:2003 como "a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente". A execução de tarefas mentais a temperaturas muito baixas pode gerar distrações e temperaturas muito elevadas que podem afetar a percepção de sinais (IIDA, 2005).

Para Kowaltowski (2011, p. 142), o conforto interno em climas quentes "[...] depende, principalmente, do sombreamento das paredes externas, da dimensão e localização das aberturas e da possibilidade de ventilação cruzada na altura dos usuários sentados".

O estudo de estratégias de projeto arquitetônico que possam incorporar os aspectos térmicos e lumínicos em ambientes escolares podem gerar resultados mais próximos da realidade por tratar-se de edificações com um objetivo específico: o ensino, onde interagem alunos e professores e, portanto, deve haver: a compreensão e exposição adequada da fala e da audição (acústica), a percepção visual clara e sem interferências (iluminação) e o bem-estar térmico, que não provoque desatenção (ventilação). Essas variáveis são possíveis de serem medidas por ferramentas específicas, promovendo orientaçõesestabelecidas em normas técnicas e referências sobre o tema.

Ao se iniciar um projeto arquitetônico, é necessária a observação de algumas diretrizes básicas que estão relacionadas diretamente com o local

em que a construção está inserida. Nesse caso, o estudo do clima da cidade adotada é imprescindível para que se faça um esboço dos primeiros dados necessários no programa de necessidades do projeto. Apesar disso, ainda dentro da cidade, cada edificação será tratada de forma diferenciada em relação a alguns aspectos, pois o entorno da construção, por exemplo, será diferente em cada caso. Ciente disto, visando o conforto térmico e lumínico, para este trabalho, a ênfase se voltou às abertuas na construção, portanto, foi necessário selecionaruma cidade a ser estudada.

Nesse sentido, o objetivoé trazer diretrizes iniciais relacionadas ao emprego de aberturas na concepção do projeto arquitetônicoem estabelecimentos escolares em uma região de clima subtropical - aplicadas à cidade de Maringá, no Paraná. Traz como intenção, além disso, investigar se uma sala de aula modelo da Universidade Estadual de Maringá (UEM) possui tais diretrizes em seu projeto arquitetônico, incitando a reflexão de como os projetos arquitetônicos têm sido desenvolvidos em relação ao conforto térmico e lumínico na instituição.

Não se trata, aqui, de formular uma metodologia de avaliação de um estudo de caso, mas de gerar informações iniciais que possam colaborar com os primeiros passos da concepção do projeto arquitetônico, além de que esses resultadospossibilitam ter uma base para a reflexão acerca do que já está construído: está-se pensando em parâmetros relacionados ao conforto térmico e lumínico no projeto arquitetônico da UEM? Esse modelo pode ser reproduzido no campus?

1.1 O clima de Maringá

O contexto desse trabalho abrange a cidade de Maringá, Paraná, localizada na latitude 23º25' Sul. O clima regional é subtropical (LANDGRAF, 2002). Galvani et al. (1999) verificaramque a predominância dos ventos corre na direção Nordeste (NE).

1.2 O local de análise: a sala 102 do bloco C34 da UEM

Os blocos de ensino mais recentes da UEM são feitos em estruturas pré-moldadas e possuem projetos arquitetônicos similares: um corredor longitudinal separa as salas de aula em sentidos opostos. Dessa maneira, um dos lados do bloco poderá receber maior incidência de radiação solar do que o outro, prejudicando as salas de aula que recebem maior incidência da radiação solar sem proteção e nos horários de maior temperatura do dia.

O objeto de análise desta pesquisa está focado no bloco C34 da UEM (Figura 1a), na sala de aula 102. A sala 102 (Figura 1b) está posicionada a Noroeste, o que acarreta a incidência da radiação solar direta durante o período da tarde (mais quente do dia) em todos os meses. Ela foi selecionada para este estudo por se tratar de uma unidade comum nos blocos de ensino recentes da UEM e que, teoricamente, pode apresentar resultados desfavoráveis em relação ao conforto térmico e lumínico quando tratamos apenas da sua orientação cardeal.

A sala de aula localiza-se no primeiro pavimento, na extremidade do corredor do bloco. Ela possui piso, paredes e teto de cores claras. As janelas são de vidro incolor de 3 mm. As cortinas têm cor branca. Possui duas portas envernizadas opostas na mesma parede, de frente para as janelas (Figura 2).

Figura 1 - Bloco C34 e sala 102

a)  b) 

Fonte: Autores

Figura 2 - Planta baixa e cortes da sala 102 do bloco C34



Fonte: Adaptado da Prefeitura do Campus da UEM

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A orientação solar das aberturas

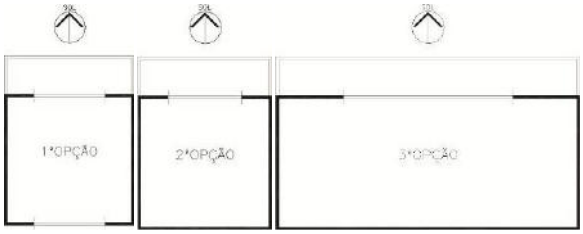
Segundo Frota e Schiffer (2001), em regiões de climas predominantemente quentes, o direcionamento da construção no eixo Leste-Oeste é conveniente, com a localização das fachadas no sentido Norte e Sul, pois tais orientações provocam situações mais fáceis de serem protegidas por elementos bloqueadores da radiação solar direta. Leslie (2003) concorda, reforçando que tal direcionamento evita excessivos ganhos caloríficos no verão e torna o ambiente mais aquecido na orientação sul.

Graça, Kowaltowski e Petreche (2005) verificaram que configurações de salas de aula com formatos quadrados e janelas paralelas, sendo uma delas voltada para o corredor e orientação Norte se destacam em relação ao conforto lumínico. Formatos quadrados com somente uma janela voltada para o corredor e orientação Norte também podem ser adequados, além

de que a sala de aula retangular com somente uma janela voltada para o corredor e orientação Norte pode igualmente apresentar bons resultados (Figura 3).

A orientação solar visando o conforto interno varia de acordo com a região, por isso, ao analisar a cidade de Maringá pela Planilha de Mahoney, com dados dos últimos dez anos da cidade (2002 – 2011), pode ser verificado que as aberturas devem ser voltadas para Norte e Sul e ocupar de 15 a 25% das fachadas, no entanto deverá ser evitada a insolação direta nos interiores.

Figura 3 - Soluções mais adequadas para conforto luminoso



Fonte: Adaptado de Graça, Kowaltowski, Petreche (2005)

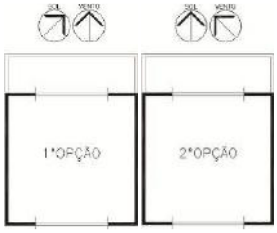
2.2 A orientação dos ventos das aberturas

A máxima desobstrução em relação à orientação dominante dos ventos deve ser prevista em ambientes quentes e úmidos. Segundo Mascaró (1991), a fachada que sofre a incidência do vento deve conter a abertura de entrada do ar e a abertura de saída do ar deve estar localizada na face protegida pelo vento. Também há uma melhoria na distribuição do ar quando as aberturas de entrada são menores que as de saída.

Graça, Kowaltowski e Petreche (2005) concluíram, em relação ao conforto térmico, que a orientação solar mais propícia para a localização de janelas em escolas seria a Nordeste com ventilação Norte e, como segunda opção, a orientação solar Norte com ventilação Noroeste (Figura 4). Tais situações demonstram possibilidades de cruzamento da ventilação através das duas janelas opostas.

Para Maringá, por meio da aplicação do Método de Mahoney observa-se que, internamente, a ventilação deve estar situada ao nível dos corpos dos usuários nas fachadas Norte e Sul. Pela ABNT NBR 15220-3:2003, para a cidade em questão devem ser previstas aberturas para ventilação médias de 15 a 25% da área de piso do ambiente, permitindo o Sol durante os períodos frios.

Figura 4 – Soluções mais adequadas para o conforto térmico



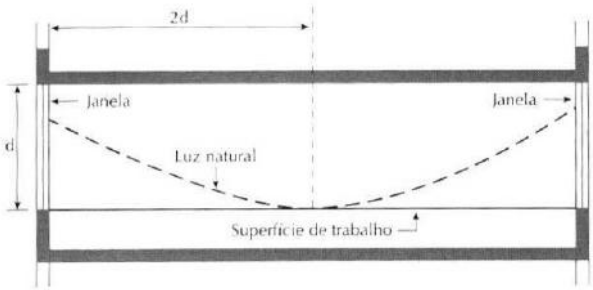
Fonte: Baseado em Graça, Kowaltowski, Petreche (2005)

2.3 O posicionamento e a dimensão das aberturas no envelope construtivo

É importante que a extensão das aberturas laterais não ocupe toda a parede da sala para se evitaro ofuscamento no plano da lousa. Assim, elas não devem chegar até o canto da parede da lousa ou a lousa não deve encontrar o canto da parede da janela (VIANNA; GONÇALVES, 2001). As janelas dispostas atrás das salas de aula, por sua vez, podem causar sombras ou brilhos refletidos.

A Figura 5demonstra que o alcance horizontal de propagação da luz natural que penetra pelas janelas só será efetivo se a iluminação corresponder ao dobro da altura das janelas, acima da superfície de trabalho (IIDA, 2005). Leslie (2003) sugere que as cotas superiores das aberturas estejam próximas ao teto, assim a iluminação natural poderá alcançar maiores profundidades no cômodo.

Figura 5 – Perfil de propagação da luz natural que penetra pelas janelas



Fonte: Iida (2005 apud HOPKINSON; COLLINS, 1970, p. 475)

Para Leslie (2003) o posicionamento de aberturas em mais de uma parede gera uniformidade e equilíbrio do brilho no ambiente. A autora também recomenda empregar cores claras que reduzam o contraste entre as janelas e as superfícies circundantes.

2.4 Os tipos de esquadria

Atualmente há uma grande variedade de esquadrias no mercado da construção civil e seus diferentes sistemas de abertura proporcionam fluxos de ar interno distintos. Araújo (2011) ressalta que a área efetiva de abertura de uma esquadria corresponde ao percentual do vão que fica desobstruído para a passagem do vento. A autora exemplifica este aspecto com os tipos de esquadria pivotantes ou basculantes, que possuem 100% de abertura, enquanto as do tipo *maxim-ar* apresentam menores áreas de abertura, obstruindo a entrada de ar.

2.5 As proteções solares

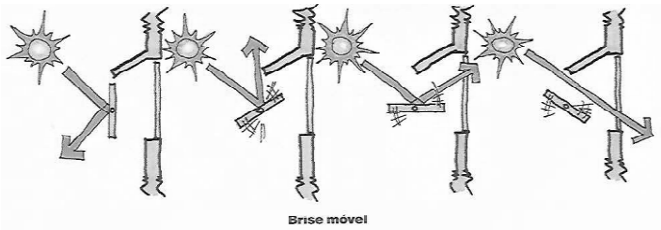
As proteções solares atuam no sentido de permitir ou impedir a radiação direta do Sol, amenizando a temperatura dentro dos ambientes.Fiuza e Claro (2009) simularam modelos de proteção solar horizontal e chegaram aos resultados de que a iluminação interna é reduzida com a aplicação desses

sistemas, mas o redirecionamento da luz e o seu alcance em maiores profundidades se tornam melhores quando são empregados tais elementos.

Dentre os tipos de proteção solares mais utilizados em salas de aula estão os *brises soleil* (Figura 6), além das cortinas, que podem ser empregadas internamente.

Os *brises soleil* evitam que os raios solares adentrem o espaço interno diretamente, amenizando a carga térmica da edificação.Também possibilitam a ventilação natural e que o usuário tenha contato visual com o exterior (DURANTE et al., 2007).

Figura 6 – *Brises soleil*



Fonte: Lamberts; Dutra, Pereira (1997, p. 160)

A utilização de elementos de controle como as cortinas podem evitar o ofuscamento, o contraste e o brilho da luz na visão dos estudantes. "[...]há casos em que a proteção interna pode ser mais adequada"(FROTA E SCHIFFER, 2001, p. 46). Apesar disso, elas podem aquecer o ambiente com o aprisionamento do calor dos vidros das janelas (DURANTE et al., 2007). Mascaró (1991) relata que o ideal é que sejam constituídas de material translúcido ou de cores claras de alta difusão.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram buscadas referências teóricas em livros, trabalhos acadêmicos, normas e metodologias, que tratassem sobre as aberturas e o conforto térmico e lumínico em projetos arquitetônicos, com foco na cidade de Maringá ou em estabelecimentos de ensino. Foi feita uma revisão dessa literatura, selecionando os apontamentos mais pertinentes ao tema, transformando-os em diretrizes e organizando-os em: orientação solar das aberturas; orientação dos ventos das aberturas; posicionamento e dimensão das aberturas no envelope construtivo; tipos de esquadria e proteções solares. Gerou-se um quadro-síntese com os resultados, apontando um resumo com as características investigadas que poderão ser utilizadas pelos projetistas para a concepção do projeto arquitetônico de escolas.

Para a investigação do estudo de caso, acrescentou-se ao quadro de diretrizes (quadro-síntese) uma coluna com valores de 0 a 1, onde 0 corresponde à ausência de determinado item no ambiente a ser analisado e 1 corresponde à presença do item. Quando for verificado que a

característica está presente no ambiente, mas com deficiências, e for julgado que tal atributo deva ser considerado parcialmente, será atribuída uma pontuação de 0,5. Os valores de 0 a 1 corresponderão a porcentagens de 0 a 100% para uma estimativa final simplificada que demonstrará quantas diretrizes estão presentes no projeto arquitetônico do ambiente analisado.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A revisão bibliográfica apresentada neste trabalho traz uma primeira aproximação para a formulação de algumas diretrizes relativas ao posicionamento de aberturas em projeto arquitetônicos focados no tema de escolas em regiões de clima subtropical, baseadas na cidade de Maringá-PR. Os resultados são a síntese dessas diretrizes e estão apresentados no Quadro 2.

No quadro-síntese é possível observar parâmetros ligados ao clima (orientação solar e dos ventos); à geometria (dimensões) das aberturas, com o intuito de obter direcionamentos quanto a quantidades de iluminâncias e ventos adequados; posicionamento das aberturas, verificando onde elas devem começar ou terminar, verticalmente ou horizontalmente em uma parede que receba a insolação; materiais e mecanismos, observando o tipo de esquadria, se estão acessíveis ao usuário para sua manipulação, quanto de luz e vento elas permitem passar do lado externo para o interno; e se essas aberturas possuem proteções externas (brises, beirais) ou internas (cortinas). Trata-se, assim, de uma ferramenta que pode ser aprimorada, mas que traz alguns parâmetros importantes de direcionamento nas primeiras etapas do estudo preliminar de um projeto arquitetônico, trazendo recomendações com diversas abordagens sobre as aberturas em um estabelecimento de ensino.

Para a análise da sala 102 do bloco C34, é possível observar a coluna intitulada "pontos" para constatar os ítens existentes ou não em seu projeto arquitetônico. A coluna "OBS." diz respeito a observações que foram consideradas. Para a primeira diretriz relacionada à orientação solar, a sala avaliada está a 340º NO, se encontrando quase dentro do recomendado, porém não possui um corredor aberto voltado para Norte, apesar de seu formato ser retangular. Para o cálculo da área de fachada, considerou-se o somatório da parede voltada para a orientação 340º em relação ao Norte (Noroeste), mais a parede inclinada da sala, situada a 310º em relação ao Norte (Noroeste). Assim, a área total da fachada abrange 30,90 m². O cálculo da área iluminada da janela gerou 8,19 m², ou seja, quase 27% da área da fachada, o que estaria um pouco acima do adequado pelo Método de Mahoney.

Em relação à ventilação, o peitoril da janela da sala 102 é de 1,00m, situando-se ainda dentro do recomendado em relação ao nível dos usuários, e os ventos dominantes estão orientados na direção Nordeste. A sala analisada não possui outras aberturas na parede oposta além das portas (embora estas se mantenham fechadas devido ao nivel de ruído, questão

acústica), então foi considerada pontuação parcial para este ítem. A janela de saída (as portas, nesse caso) está localizada na face protegida pelo vento, porém não são maiores que a janela principal.

Em relação à área de ventilação, deve-se notar que a primeira fileira horizontal de janelas é do tipo fixa, enquanto as outras são do tipo basculante. Assim, por meio de cálculos chegou-se a uma área de ventilação equivalente a 9,18m² para a janela inteira. Ou seja, pode-se dizer que ela abrange quase 17% da área do piso (este possui 55,75m²) e está dentro do recomendado.

Quanto ao posicionamento e dimensão das aberturas, o estudo de caso apresenta a maioria dos itens, com exceção de que não há mais janelas em outras paredes, somente portas que contribuiriam com a ventilação. As esquadrias são basculantes com sistemas de manipulação em altura adequada ao usuário. As cortinas são claras, porém não existem proteções solares externas na janela principal.

Constatou-se, dessa forma, que a sala de aula analisada possui 65% das diretrizes apontadas neste estudo. O direcionamento de sua abertura poderia contemplar a orientação Nordeste para uma melhor captação dos ventos e atenuação da temperatura - desde que também houvesse a instalação de proteções solares externas visando evitar altas iluminâncias. Além disso, uma abertura oposta traria uma melhor circulação dos ventos dentro do espaço.

Quadro 2 – Quadro-síntese de diretrizes e análise do estudo de caso

CARACTERÍSTICAS DAS ABERTURAS LATERAIS PARA SALAS DE AULA	OBS.	PONTOS
1 ORIENTAÇÃO SOLAR DAS ABERTURAS		
Possui fachadas orientadas no sentido Norte e Sul.	NOROESTE	0,5
A sala de aula possui formato quadrado ou retangular com janela voltada para um corredor aberto e orientado para Norte.	X	0,0
A sala de aula possui formato quadrado e janelas em paredes paralelas opostas, sendo a janela da fachada voltada para um corredor e orientada para Norte.	X	0,0
As aberturas ocupam 15 a 25% das fachadas.	27%	0,5
2 ORIENTAÇÃO DOS VENTOS DAS ABERTURAS		
Possui ventilação no nível dos usuários (entre 0,75 m a 1,30 m de altura).	1,00 M	1
A fachada que contém a abertura está posicionada de acordo com os ventos dominantes (no caso Nordeste).	NOROESTE	0,5
Possui abertura na parede oposta para o cruzamento de ventilação.	PORTAS	0,5
A janela de saída do ar está localizada na face protegida pelo vento.	PORTAS	1
As aberturas de entrada são menores que as de saída.	X	0
A orientação solar da abertura está voltada para Nordeste e a ventilação para Norte ou a orientação solar da abertura está voltada para Norte com ventilação Noroeste.	NOROESTE	0,5
As aberturas para ventilação se situam entre 15 a 25% da área de piso do ambiente.	17%	1
3 POSICIONAMENTO E DIMENSÃO DAS ABERTURAS NO ENVELOPE CONSTRUTIVO		
A lousa e a janela possuem distanciamento entre si nas suas paredes perpendiculares.	SIM	1
Não há janelas dispostas na parede de trás da sala de aula.	NÃO	1
As cotas superiores das aberturas encontram-se próximas ao teto.	0,50 M	1
Há janelas em mais de uma parede.	PORTAS	0,5
As cores do ambiente são claras.	PISOS PAREDES TETOS	1
4 TIPOS DE ESQUADRIAS		
As esquadrias são pivotantes ou basculantes.	BASC.	1
As esquadrias possuem mecanismos de manipulação.	SIM	1
5 PROTEÇÕES SOLARES		
Possuem cortinas claras que podem ser recolhidas.	SIM	1
As fachadas são protegidas por brises/beirais onde necessário.	NÃO	0
PONTUAÇÃO TOTAL		13/20= **65%**

Fonte: Autores

5 CONCLUSÕES

A configuração do quadro-síntese de diretrizes resultante desta pesquisa apresentou um "check-list" de informações úteis e, em alguns casos, essenciais, para que os primeiros passos da concepção de um projeto de estabelecimento de ensino para o clima subtropical, focado em Maringá-PR, sejam direcionados de forma adequada em termosde posicionamento, dimensionamento e caracterização de aberturas, visando o conforto térmico e lumínico da edificação.

Foi possível verificar, ainda, que dos 20 itens analisados em relação a aberturas laterais, a sala de aula 102 do bloco C34 está adequada com uma pontuação de 13, o que significa 65%. Os itens ausentes e maiores influenciadores do resultado dizem respeito à configuração do bloco, por se tratar de uma edificação onde existem salas de aula dos dois lados opostos separadas por um corredor central, enquanto o ideal seria que as salas de aula fossem localizadas para um corredor externo e que tivessem uma janela voltada para ele e outra para a outra área externa, na parede oposta.

Outro problema encontrado é que, apesar de a sala de aula analisada ter uma orientação solar da fachada praticamente voltada para Norte

(340ºNO) e direcionada próxima à orientação dos ventos dominantes, não existem proteções solares, o que implicará, possivelmente, na alta incidência de radiação solar e em ganhos de calor interno que podem prejudicar o conforto térmico e lumínico do usuário.

Por fim, a falta de janelas opostas às existentes pode prejudicar a sala de aula em termos de ventilação, uma vez que seu cruzamento e a troca de ar não são estimulados. Se as duas portas do ambiente permanecerem abertas durante as aulas pode ser que este problema não ocorra, porém a acústica poderá ser afetada.

Desse modo, recomenda-se que a reprodução desta unidade de sala de aula seguindo o projeto original dos blocos mais recentes da UEM sofra revisões, de forma que sejam observados os parâmetros de conforto térmico e lumínico não abordados. A solução destes problemas por meio do emprego dos elementos de condicionamento passivo pode evitar que os usuários utilizem demasiadamente a luz elétrica, diminuindo gastos e desperdícios com energia. É importante prever, assim, ainda na fase do projeto arquitetônico, as estratégias que podem contribuir com o conforto ambiental.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações: parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, C. V. de A.. **Análise de componentes arquitetônicos para potencialização da ventilação natural com ênfase em captadores de vento**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

DURANTE, L. C.; FERREIRA, A. P.; PIRES, V. K. de S.; SCHRADER, F. T.; PEREZ, M. B. Iluminação natural e o uso de brises móveis: estudo de caso de edifício em Cuiabá. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2007, Ouro Preto. **Anais.**Ouro Preto: ENCAC ,2007. p. 629-637.

FIUZA, J. M; CLARO, A. Influência de elementos de proteção solar horizontais aplicados a aberturas laterais, na admissão e distribuição da luz natural. In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2009, Natal. **Anais.** Natal: ENCAC-ENLACAC, 2009, p. 1320-1329.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GALVANI, E.; KLOSOWSKI, E. S.; CUNHA, A. R. da; MARTINS, D. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v.7, n.1, 1999.

GRAÇA, V. A. C. da; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PETRECHE, J. R. D. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimization of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. **Building and environment**, USA, v. 42, p. 984-999. 2007.

IIDA, I.**Ergonomia: projeto e produção.** São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA., F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

LANDGRAF, M. A. C. **Estudo das Condições Lumínicas e Térmicas de dois Blocos da Universidade Estadual de Maringá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LESLIE, R. P. Capturing the daylight dividend in buildings: why and how? **Buildingand Environment,** USA, v. 38, p. 381 – 385. 2003.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto Editores Associados LTDA, 1991.

SARDEIRO, P. S.**Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura.** São Paulo: Virtus, 2001.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO GEOMÉTRICO DE UM *BRISE SOLEIL*: UM ESTUDO SOBRE SEU IMPACTO NA ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO NATURAL EM UMA SALA DE AULA[1]

BACICHETI, Rosana (1); CARDOSO, Lucas (2); SARDEIRO, Paula (3)

(1) UEM, e-mail: robacicheti@gmail.com; (2) UEM, e-mail: ra88570@uem.br; (3) UEM, e-mail: pssvanderlei@uem.br

RESUMO

A quantidade adequada de ventilação e iluminação natural dentro dos ambientes contribui intensamente para o conforto térmico e lumínico dos usuários nas edificações. Em salas de aula, estes fenômenos devem ser incentivados para melhorar o conforto ambiental e consequentemente, o desempenho dos estudantes, acarretando seu bem-estar. Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de um brise soleil - com base em sua geometria - em relação à iluminação e ventilação naturais – em uma sala de aula. Para isso, foram realizadas simulações efetuadas nos *softwares* Luz do Sol e FLUXOVENTO. As simulações demonstraram que a adição de *brises* diminuíram de maneira significativa a penetração dos raios solares internamente na maioria dos dias analisados, e que a inserção deste elemento de proteção em conjunto com a utilização das portas, já existentes no estudo de caso, como saída de ventilação direciona o fluxo de vento para o nível do usuário de forma mais significativa.

Palavras-chave: Conforto térmico e lumínico. *Brisesoleil*. Ventilação.

ABSTRACT

The proper amount of ventilation and natural lighting within the environment contributes heavily to the thermal comfort and luminal users in buildings. In classrooms, these phenomena should be encouraged to improve the environmental comfort and consequently, the performance of students, leading to their welfare. This study aims to evaluate the performance of a brise soleil - based on their geometry - for natural lighting and ventilation -in one room aula.Para this, simulations were carried out made in the software Sunshine and FLUXOVENTO. The simulations showed that the addition of louvers decreased significantly the penetration of internally rays on most days analyzed, and that the insertion of the protective element in conjunction with the use of ports existing in the case study, as output ventilation directs the wind flow to the user level more significantly.

***Keywords**: Thermal and lighting comfort. Brisessoleil. Cross ventilation.*

[1] BACICHETI, Rosana; CARDOSO, Lucas; SARDEIRO, Paula. Desempenho geométrico de um brise soleil: um estudo sobre seu impacto na iluminação e na ventilação naturais em uma sala de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

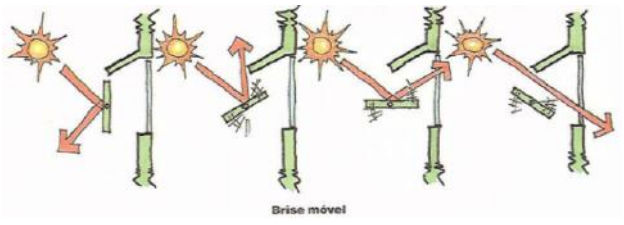
O conforto térmico e lumínico são amplamente influenciados pela ventilação e iluminação dentro dos ambientes. A iluminação natural transmite a sensação de bem-estar para as pessoas, pois acarreta o domínio de tempo e espaço dentro das construções, o que por sua vez está relacionado ao ciclo circadiano (BERTOLOTTI, 2007), que orienta a organização fisiológicado ser humano ao longo do dia.

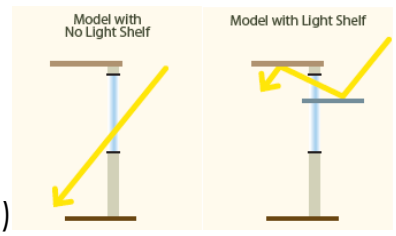
Para Iida (2005), o nível de iluminamento atua no mecanismo fisiológico da visão, além de influenciar a musculatura que lidera o movimento dos olhos. Em ambientes escolares, a falta de planejamento da iluminação interna pode prejudicar a saúde física e psicológica dos usuários, além do desempenho escolar dos alunos (DORIGO; KRÜGER, 2007). Vianna e Gonçalves (2001) recomendam que, em salas de aula, o nível mínimo de iluminância (lux) alcance o plano de trabalho e a iluminação seja uniforme, evitando-se contrastes excessivos com áreas muito ou pouco iluminadas em diferentes pontos.

A iluminação natural penetra nos ambientes através das aberturas e, apesar de em regiões de climas quentes a disponibilidade de luz natural ser suficiente durante a maior parte do dia, dispensando o uso da iluminação artificial, seu controle direto ou difuso deve ser considerado, já que ela também gera calor e ganhos térmicos à edificação (DIAS; GOMES; CABÚS, 2009). Por isso, é importante que a luz alcance as superfícies internas de forma tênue e esse controle pode ser feito por elementos arquitetônicos que, se projetados de acordo com a função do ambiente, o período de ocupação e a orientação solar adequada, podem proporcionar uniformidade na distribuição da iluminação interna, evitar ofuscamentos e trazer a consequente satisfação no conforto visual.

Os *brises soleils* (Figura 1a) atuam nesse sentido e, segundo Weber (2005), ao serem projetados devem ser verificadas as Cartas Solares da cidade a serem implantados, analisando o período (dias e horas) que a proteção solar é necessária. Pode-se dizer, em geral, que em fachadas Norte-Sul os elementos horizontais são mais adequados, enquanto que em fachadas voltadas para Leste-Oeste os elementos verticais devem ser empregados. Dessa forma os *brises* podem contribuir barrando a radiação solar direta durante a estação quente e permitindo-a na estação fria.

Figura 1 – a) *Brise* móvel; b) Prateleiras de luz

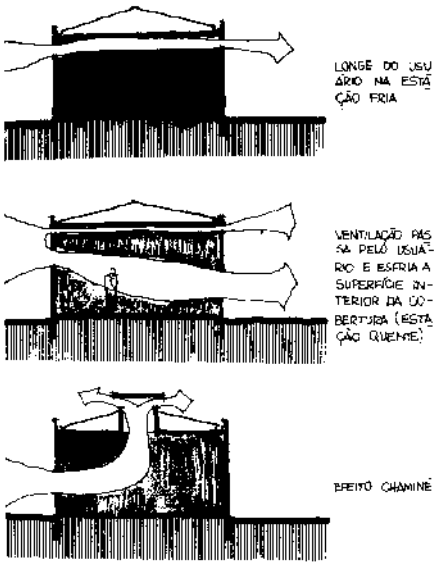
a) 

b) 

Fonte: a) Lamberts; Dutra, Pereira (1997, p.160); b) Buildings (2012) apud The Lighting Practice

A ventilação natural dentro dos ambientes tem a função de renovar o ar, dissipando os vapores, a fumaça, a poeira, os poluentes, entre outros, contribuindo para a higiene. Em salas de aula, o desconforto térmico pode ser provocado pela ventilação inadequada, pela alta umidade combinada com altas temperaturas ou pela radiação térmica das superfícies muito aquecida. A combinação desses fatores poderá gerar a sonolência, a alteração nos batimentos cardíacos e o desinteresse pelo trabalho (KOWALTOWSKI, 2011).

Figura 2 – Esquemas de ventilação



Fonte: Mascaró (1991, p. 69)

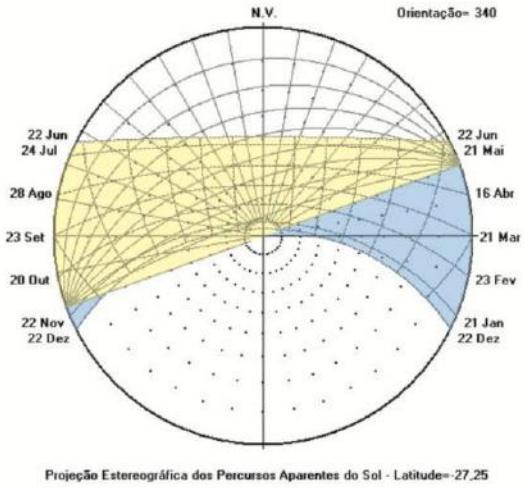
De acordo com Frota e Schiffer (2001), a ventilação acontece pela diferença de pressão do ar entre os ambientes internos e externos, pela localização das aberturas, pelas obstruções internas e externas, pela forma da edificação e sua posição, pela velocidade do vento e pelo seu ângulo de incidência. A Figura 2 demonstra os tipos de mecanismos pelos quais a ventilação pode ocorrer.

A iluminação e a ventilação naturais, assim, são elementos fundamentais na concepção de projetos arquitetônicos de salas de aula. Na Universidade Estadual de Maringá (UEM),alguns problemas relacionados a essas questões são encontrados e são objeto de reclamação de usuários. Landgraf (2002) relata que apelos para o melhoramento do conforto interno, principalmente relacionadas à instalação de equipamentos de ar condicionado, eram conduzidos à Prefeitura do Campus até 2002 pelos usuários dos blocos da universidade.

Os projetos arquitetônicos dos blocos de ensino da UEM são executados no formato de edificações padrão pré-moldadas e possuem um corredor central que separa as salas de aula longitudinalmente em sentidos opostos. Desta forma, um dos lados dos blocos poderá ter as salas de aula voltadas para orientações cardeais nem sempre favoráveis quando se analisa a

incidência solar em períodos mais quentes do dia. O bloco D67 ilustra esta situação, já que algumas salas de aula possuem suas janelas voltadas para Sudestee outras para Noroeste. Neste último caso, pode ser notada na Carta Solar formulada para Maringá (Figura 3) a incidência solar recorrente durante as tardes nestes ambientes.

Figura 3 – Carta Solar para sala 102 do bloco D67 da UEM



Fonte: Autores baseados no *software* Luz do Sol

Nesse sentido, faz-se necessária a reflexão sobre a opção de construção de blocos-padrão por entidades públicas com perspectivas voltadas muitas vezes somente à economia no orçamento. O estudo em questão é fruto desse questionamento sobre a concepção do projeto arquitetônico que reduz questões tão importantes como a saúde dos usuários e o condicionamento passivo nas construções. Projetos arquitetônicos mais adequados ao clima poderiam prevenir uma situação onde houvesse a necessidade de gastos desnecessários com energia elétrica (iluminação, ventilador e ar condicionado).

Desta forma, o ofuscamento da iluminação na sala 102 do bloco D67(340ºNO) poderá ocorrer durante as tardes, devido à sua orientação cardeale consequentemente este fator acarretará a alta incidência de iluminação, podendo gerar o desconforto nos usuários pelas altas temperaturas.

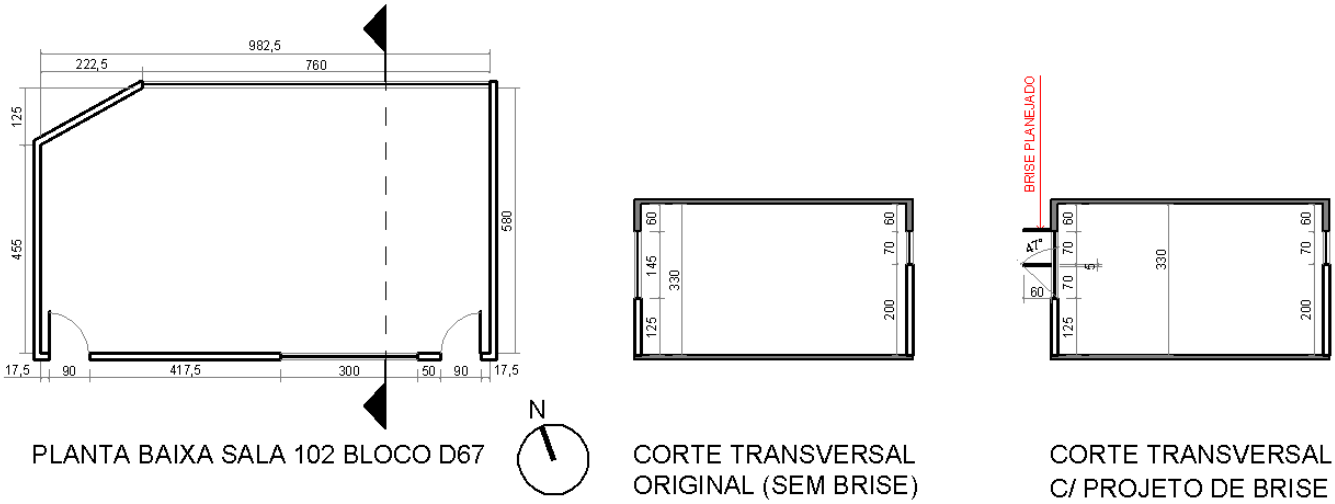
A sala de aula em análise apresenta um entorno bastante desobstruído, uma vez que não possui árvores ou blocos que possam interferir em sombras no ambiente (Figura 4). Ela está situada no 1º pavimento do bloco, em sua extremidade. A planta baixa e o corte estão ilustrados na Figura 5. A sala apresenta duas janelas opostas, uma externa e outra interna alta (com peitoril de 2,00 m e 0,70 m de altura), além de duas portas para o corredor.

Figura 4 – Caracterização da sala avaliada



Fonte: Autores

Figura 5 - Planta baixa e corte da sala avaliada e projeção do brise a ser simulado



Fonte: Autores

Tendo em vista que o projeto arquitetônico da sala de aula em questão representa uma das situações menos favorávelreferente ao conforto térmico e lumínico, devido à orientação cardeal, de uma sala de aula padrão dos blocos de ensino recentes da UEM, o objetivo da pesquisa é avaliar o desempenho de um *brisesoleil* - com base em sua geometria - em relação à iluminação e ventilação naturais da sala 102 do bloco D67. Este trabalho pretende contribuir com estudos de características arquitetônicas que possam amenizar os problemas de conforto térmico e lumínico, utilizando ferramentas simples de projeto.

2 METODOLOGIA

Nestaanálise foram utilizados dois *softwares*simples de simulação. O primeiro foi elaborado por Roriz (1995) - Luz do Sol 1.1 - e simula a mancha solar no ambiente em dias e horas de interesse do usuário, após a inserção da latitude (para Maringá 23º25' Sul) e de algumas características arquitetônicas relacionadas, principalmente, ao envelope construtivo. O segundo, Fluxovento (CARVALHO; MARTHA; TEIXEIRA, 2005), demonstra o percurso da circulação dos ventos dentro do ambiente, de acordo com o direcionamento do vento que o usuário requerer (para Maringá sentido Nordeste). A metodologia foi dividida em dois momentos, o primeiro diz respeito à iluminação natural e o segundo à ventilação natural.

2.1 Iluminação

Primeiramente, foi simulado no *software* Luz do Sol 1.1 (RORIZ, 1995) a manchasolar para luz solar direta interna que a sala de aula analisada recebe durante todos os horários dos dias 21 de março, 21 de junho, 22 de setembro e 21 de dezembro, levando em consideração os solstícios e equinócios e não alterando suas características arquitetônicas originais. Posteriormente foi estruturada a forma de um *brise* horizontal que poderia proteger o ambiente. Neste sentido, verificou-se que uma inclinação de a=47º, com uma extensão de beiral horizontal de 60 cm, protegeria a sala nos períodos mais quentes da tarde (antes das 16h), no verão.A janela original, então, foi dividida verticalmente em duas partes, sendo que uma proteção horizontal ficou localizada entre elas e uma outra foi posicionada acima da janela superior. Foi simulado novamenteo comportamento da iluminação internamente, agora com o emprego do brise, com o intuito de comparar-se a situação prévia com a final.Para esta etapa foi necessário fazer uma simulação para cada janela resultante após sua separação vertical pelo brise. As simulações mostram os gráficos de incidência solar direta com as manchas solares do dia sobrepostas nas imagens resultantes.

2.2 Ventilação

No *software* FLUXOVENTO (CARVALHO; MARTHA; TEIXEIRA, 2005) foi verificado o desempenho do brise em relação à ventilaçãonatural por meio da observação do percurso do vento em uma planta de corte, simulando a sala de aula em seu formato original, primeiramente, e com o brise, posteriormente.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Iluminação

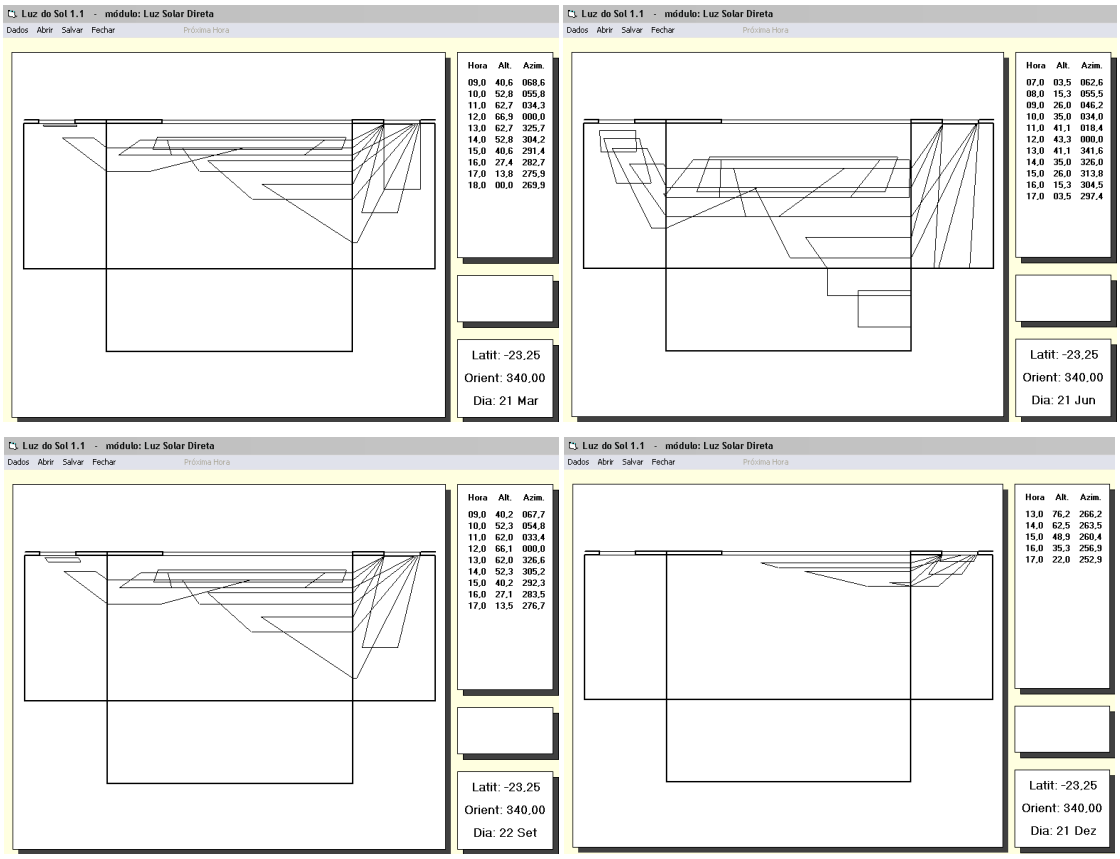
Para a análise do efeito do brise no ambiente em relação à iluminação solar direta é necessário comparar as Figuras 6 e 7, sendo que nesta última, como foi mencionado, as duas janelas divididas pelo brise (inferior e superior) foram separadas em duas simulações (direita e esquerda, simultaneamente) que deverão ser analisadas de forma sobreposta.

A Figura 6 demonstra que no mês representativo de junho o ambiente é muito atingido pela incidência solar, tendo sua área banhada por ele em mais de 50%. Os dias 21 de março e 21 de setembro são semelhantes em relação à incidência da radiação solar na sala de aula e pode-se verificar que elaocorre na área mais próxima da janela. Em dezembro a radiação solar incide somente bem próximo à abertura, mas em menores proporções.

Pode-se verificar, na Figura 7, que o *brise* projetado atenua significativamente a quantidade de radiação solar incidente internamente no ambiente em março e setembro, principalmente na porção do lado esquerdo da sala de aula. Em dezembro ela torna-se praticamente

inexistente. As manchas solares ainda existentes ocorrem principalmente nos horários das 9h (março e setembro) e 15h, 16h e 17h (dezembro, março e setembro).Propõe-se, assim, para um próximo estudo, a inserção de um elemento vertical de proteção solar no brise para que a porção direita da sala de aula possa ser protegida de forma mais abrangente nestes meses.

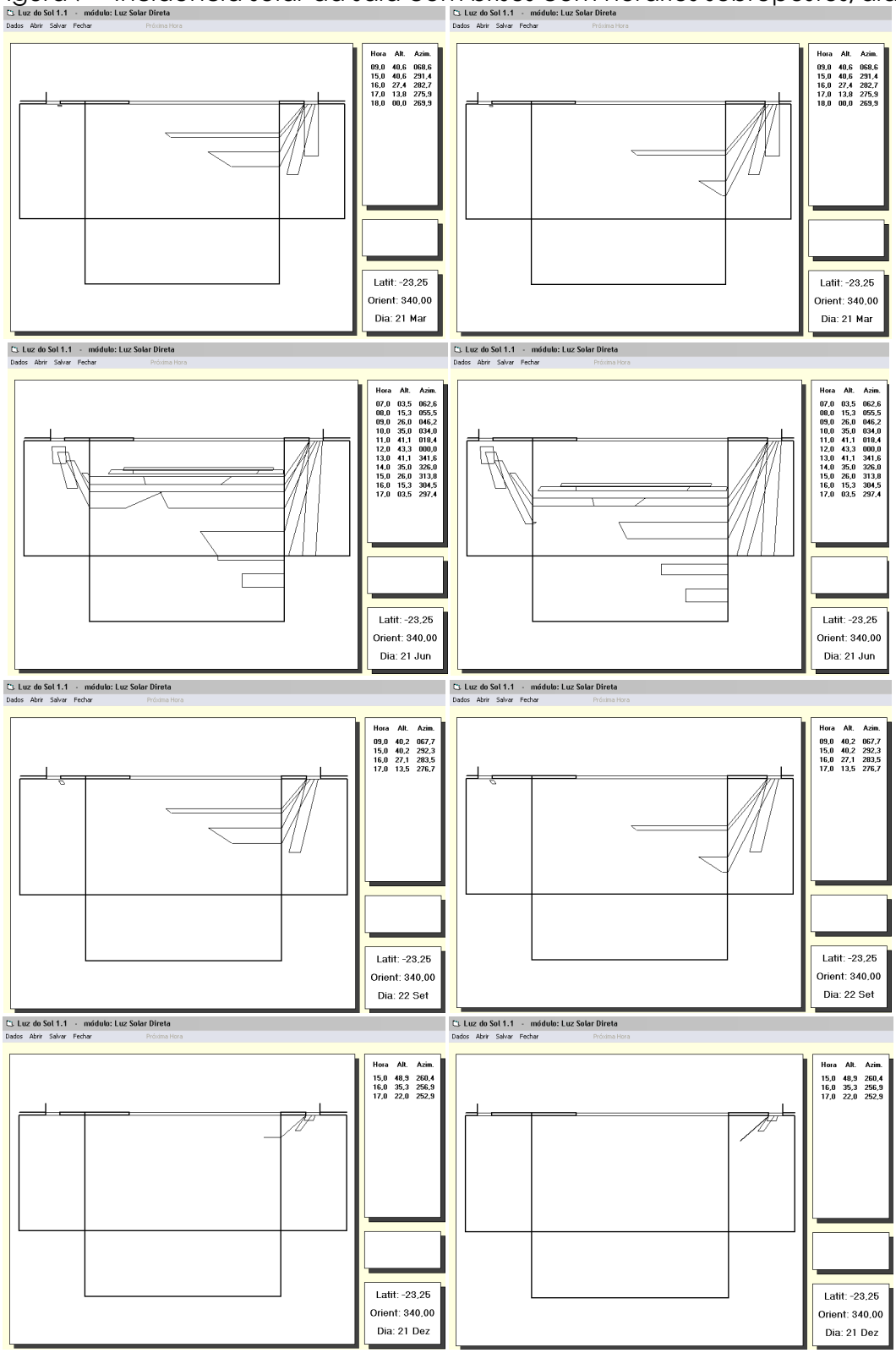
Figura 6 - Incidência solar da sala original com horários sobrepostos/dia



Fonte: Autores baseados no *software* Luz do Sol

Em contrapartida, no dia 21 de junho a inserção do elemento arquitetônico ainda não gerou a possibilidade de proteger o ambiente de forma satisfatória, pois as manchas solares permaneceram durante todo o dia. Apesar deste mês representar uma estação fria no local em estudo e, portanto, a radiação solar contribuir para aumentar a temperatura interna, é importante que se estudem ajustes no modelo proposto para que ela ocorra de forma mais difusa, evitando o ofuscamento pela radiação direta.

Figura 7 – Incidência solar da sala com brises com horários sobrepostos/dia



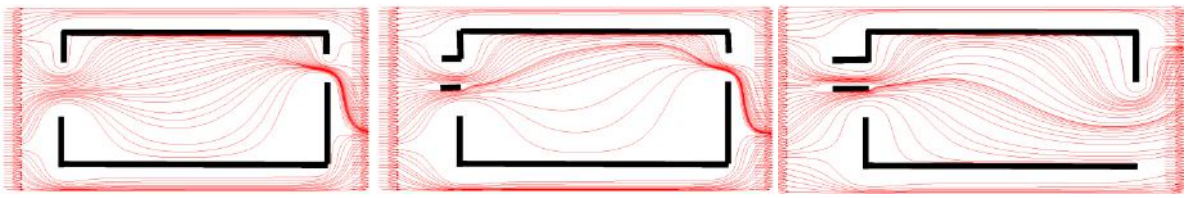
Fonte: Autores baseados no *software* Luz do Sol (RORIZ, 1995)

3.2 Ventilação

No desenho do corte da Figura 8, pode-se observar o espaço primeiramente em sua forma original, e, posteriormente, com o brise (simulando a

ventilação primeiramente com a janela alta interna e em seguida com uma das portas). Percebe-se que a inserção do elemento e a utilização da janela alta interna aberta posiciona a circulação de ar próxima ao teto da sala, o que contribui com a dissipação do ar quente, mas ocasiona uma escassez de ventilação na altura do usuário. Quando se utilizam as portas das salas abertas, o contrário já ocorre: o fluxo de ventilação acaba sendo direcionado para a porção mais próxima à altura do usuário, podendo contribuir para seu conforto térmico.

Figura 8 – Análise da ventilação natural com e sem o brise



Fonte: Autores baseados no *software* FLUXOVENTO

4 CONCLUSÃO

O *brise soleil* constitui-se como um elemento bastante importante para a proteção da radiação solar incidente em fachadas, ocasionando a penetração da iluminação natural de forma mais suave e homogênea dentro dos ambientes. Consequentemente, pode melhorar, também, o conforto térmico do usuário.

Este estudo demonstrou o desempenho de um brise horizontal em uma sala de aula da Universidade Estadual de Maringá em relação à incidência de radiação solar direta e à ventilação natural. Utilizou, para isso, *softwares* que revelaram que, em relação ao aspecto lumínico, o brise atenuou a mancha solar derivadado projeto original nos dias dos meses de março, setembro e dezembro analisados, sendo que em junho os resultados se mantiveram próximos (com brise e sem o brise).

Já em relação à ventilação natural, foi exposto que o elemento protetor poderá trazer benefícios, no sentido de direcionar o fluxo de vento para o nível do usuário, caso sejam utilizadas as portas – e não somente as janelas internas altas – como saída de ar, para o cruzamento de ventilação.

Sugere-se, assim, que novos ajustes sejam feitos no elemento protetor proposto, de forma que se obtenham resultados mais apropriados para a atenuação de iluminação direta no inverno, além de que novos formatos compatíveis possam melhorar a distribuição dos ventos aos níveis do usuário. Estudos sobre o tema são necessários para que os projetos arquitetônicos das salas de aula que vêm sendo reproduzidas na UEM englobem alternativas de condicionamento passivo, gerando mais conforto aos usuários, além de menores desperdícios de energia.

REFERÊNCIAS

BERTOLOTTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARVALHO, C. V. de A.; MARTHA, L. F.; TEIXEIRA, W. Fluxovento: um simulador gráfico interativo para o estudo de ventilação em ambientes construídos. In: VIII ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2005, Maceió. **Anais...**Maceió: ENCAC-ELACAC, 2005, p. 350-359.

DIAS, A. F. A.; GOMES, V. A.; CABÚS, R. C. Componentes de controle de luz natural em salas de aula e seu desempenho conforme a orientação solar do edifício. In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2009, Natal. **Anais...**Natal: ENCAC, 2009, p. 1394-1400.

DORIGO, A. L.; KRÜGER, E. L. Uso de dispositivos de sombreamento em salas de aula: avaliação de método proposto por Olgyay. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2007, Ouro Preto. **Anais...**Ouro Preto: ENCAC, 2007, p. 580-589.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2003.

IIDA, I.**Ergonomia: projeto e produção.** São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA., F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

LANDGRAF, M. A. C.**Estudo das Condições Lumínicas e Térmicas de dois Blocos da Universidade Estadual de Maringá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto Editores Associados LTDA, 1991.

RORIZ, M. Software Luz do Sol 1.1. São Carlos, jun., 1995. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/luz-do-sol. Acesso em: 25 jul. 2012.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S.**Iluminação e Arquitetura.** São Paulo: Virtus, 2001.

WEBER, C. P.**O uso do *brise-soleil* na arquitetura da região central do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

FACHADAS ADAPTATIVAS: ARQUITETURA DINÂMICA ORIENTADA AO DESEMPENHO[1]

SCHELIGA, Renata (1); JOHN, Vanderley (2)

(1) POLIUSP, e-mail: renata.scheliga@usp.br; (2) POLIUSP, e-mail: vmjohn@lme.pcc.usp.br

RESUMO

As fachadas dos edifícios conformam o subsistema responsável pela interface entre o ambiente interno, protegido, e o ambiente externo. Junto com a cobertura, é responsável por "filtrar" as condições dinâmicas do mundo externo e prover um ambiente com condições estáveis de conforto. À parte das aberturas, a maioria das fachadas tem propriedades estáticas, o que limita a sua eficácia de proteção. O presente artigo se propõe a discutir as funções e modo de funcionamento das fachadas, explorando o potencial de fachadas adaptativas e apresentando as tecnologias relacionadas. Ele inclui um mapeamento dos aspectos que caracterizam uma fachada como adaptativa, visando identificar os sistemas, tecnologias, materiais e soluções empregadas. O artigo inicia com uma revisão bibliográfica, incluindo o desempenho esperado para edificações e os tipos de funções passiveis de serem adaptáveis. A partir das definições foram analisados casos de edificações e protótipos de fachadas adaptativas. Como produto final há um conjunto de relatos, sintético porém abrangente, a respeito das tecnologias adaptativas disponíveis e em desenvolvimento, possibilitando uma leitura do potencial de evolução deste conceito e os possíveis ganhos viabilizados por sua aplicação em projetos de fachadas de edificações no Brasil.

Palavras-chave: Inovação. Fachadas adaptativas. Desempenho.

ABSTRACT

The building skins are responsible for the interface between the interior and the exterior envinronment. Along with the roof, it is responsible for "filtering" the dynamic conditions of the external world and providing an environment with stable conditions of comfort. Apart from the window openings, most of facades have static properties, which limits its protective efficacy. This study aims to discuss the functions and operation of the facades, exploring the potential of adaptive façades and display related technologies. It includes a mapping of the aspects that characterize a facade as adaptive in order to identify the systems, technologies, materials and employed solutions. From the gathered definitions, selected cases were analyzed. As the final product, there is a set of reports, synthetic yet comprehensive regarding adaptive technologies available and under development, allowing an understanding of the development potential of this concept and the possible gains by its use in building facades projects in Brazil.

***Keywords**: Innovation. Kinetic Façades. Performance.*

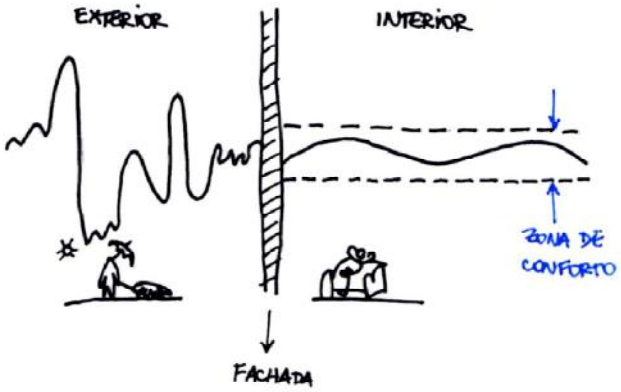
---

[1] SCHELIGA, Renata; JOHN, Vanderley. Fachadas adaptativas: arquitetura dinâmica orientada ao desempenho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

As fachadas das edificações são conhecidas como a terceira pele, sendo a primeira a pele humana e a segunda as roupas que alguém veste (FORTMEYER; LINN, 2014). As fachadas possuem um papel importante no desempenho do edifício como um todo. O envelope que faz a interface do edifício com o meio externo acaba por integrar diversas funções, com premissas técnicas que devem ser exploradas ao máximo para garantir a satisfação do usuário. Pode-se afirmar que a fachada é responsável por "filtrar" as condições dinâmicas do mundo externo e prover um ambiente com condições estáveis de conforto, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Ilustração da interface entre ambiente interno e externo



Fonte: adaptado de KLEIN, 2013

A tendência atual das investigações é a de interpretação das edificações como verdadeiros organismos. Assim como a pele humana, as fachadas dos edifícios do futuro deverão cada vez mais ser enxergadas como os elementos constituintes de um revestimento que protege a edificação contra agentes provenientes do exterior e que, entre outras funções importantes, participam ativamente no controle das condições internas. Em meio a este contexto, o presente artigo tem por objetivo coletar e avaliar qualitativamente as experiências desenvolvidas com fachadas adaptativas, a fim de sistematizar o conhecimento disponível sobre este assunto tão relevante e importante para os próximos passos a serem tomados na construção civil.

2 FACHADAS E DESEMPENHO

A avaliação do desempenho costuma ser a ferramenta para medir o quão satisfatório está sendo o papel de um subsistema específico. Apesar de se voltar em um primeiro momento apenas para edificações de uso residencial, a norma de desempenho (ABNT, 2013), faz com que usuários e projetistas olhem com mais cuidado para esta questão. A abordagem de desempenho pode ser definida como uma prática de se pensar nos fins e não diretamente

nos meios para se atingir um objetivo, já que desempenho é o comportamento relacionado ao uso.

Para atender suas funções de forma satisfatória e dentro de uma durabilidade especificada, é necessário que o subsistema, no caso de fachadas, seja projetado segundo alguns critérios que garantam o cumprimento dos requisitos de desempenho especificados (OLIVEIRA, 2002). O esquema mostrado abaixo visa sintetizar os principais requisitos de desempenho para a fachada de uma edificação:



SEGURANÇA

- Garantir a segurança dos usuários e dos transeuntes do entorno
- Segurança estrutural: contra ações da gravidade e da ação do vento
- Resistência ao impacto de pessoas/objetos (do lado interno para o externo)
- Componentes móveis devem ser seguros durante sua operação (janelas, por exemplo)
- Segurança contra incêndio: deve ser garantida a compartimentação entre pavimentos



USO

- Desempenho térmico: frente ao meio externo, devem ser proporcionadas temperaturas mais amenas no interior da edificação – sistema de condicionamento de ar é forte aliado nesta questão, deve haver equilíbrio com o gasto energético
- Desempenho acústico: deve-se garantir que as atividades a serem desempenhadas não sejam atrapalhadas pelo ruído proveniente do meio externo
- Desempenho lumínico: deve ser provida iluminação suficiente para o desempenho das atividades fins da edificação, sem gerar ofuscamento dos usuários - sistema de iluminação artificial é forte aliado nesta questão, deve haver equilíbrio com o gasto energético
- Qualidade do ar interno: barreira contra impurezas e equilíbrio da umidade - estanqueidade



VIDA ÚTIL

- Condições adequadas de uso por um longo período de tempo, dada a manutenção adequada – requisitos de durabilidade
- Durabilidade: capacidade de manutenção do desempenho ao longo do tempo – não é propriedade do material, mas sim o resultado de sua interação com o ambiente que o cerca
- Possibilitar a manutenção dos sistema, sem necessariamente suspender o uso da edificação para tal



CUSTO

- Sistema deve ter viabilidade econômica para sua execução – o mercado deve estar disposto a pagar pelo seu custo
- Custos de manutenção devem ser equilibrados, de modo a não desencorajar os usuários de realiza-la



ESTÉTICA

- Qualidade estética satisfatória para a edificação – facilmente relacionada com a identidade dos que ali habitam/trabalham, ou seja, seus consumidores
- Inserção urbana – respeito ao conjunto urbano de que a edificação faz parte

3 FACHADAS ADAPTATIVAS

As fachadas adaptativas não podem ser vistas simplesmente como fachadas que se movem. O movimento literal não é o objetivo final ao qual se interessa estudar, mas sim o desenvolvimento recente dos conceitos arquitetônicos em relação ao fluxo energético. Enquanto no passado as fachadas eram concebidas como barreiras energéticas, agora abre-se caminho para que sejam movimentadoras de energia e, em alguns casos, até geradoras de energia (FORTMEYER; LINN, 2014). No presente artigo, serão considerados fachadas adaptativas todos os sistemas que reagem de alguma forma às mudanças do ambiente externo, como meio para adaptação do desempenho interno.

A tecnologia para alcançar o desenvolvimento de fachadas inteligentes já está no mercado, crescendo em um ritmo rápido no últimos anos. O termo inteligente se refere justamente à capacidade da fachada de se transformar de acordo com as condições ambientais. A resposta dinâmica requer que o edifício "saiba" as mudanças que ocorrem tanto no ambiente interno quanto no externo e "decida" qual a solução mais eficiente para prover o conforto para os ocupantes, "respondendo" assim de acordo com a decisão tomada. Como as necessidades dos usuários e as condições climáticas são variáveis em constante mudança, as fachadas como elementos estáticos não possuem a competência necessária para trazer o máximo benefício. O envelope deve ser capaz de se adaptar a diferentes condições e responder às mudanças (MASRI, 2015).

A seguir será feita uma classificação dos sistemas de fachadas adaptativas, com agrupamentos definidos a partir de seu modo de acionamento, por similaridade do funcionamento do sistema. Para melhor entendimento serão desenvolvidos estudos de caso, de modo a destacar as características mais importantes de edificações desenvolvidas com tais sistemas. Os estudos de caso serão apresentados conforme o embasamento acerca dos requisitos de desempenho relatados anteriormente. Terá destaque também a maturidade tecnológica de cada um dos sistemas apresentados. A escala de maturidade ou prontidão tecnológica desenvolvida pela EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Tecnológica, conforme mostra a Figura 2, varia de 1 a 9, em função da observação de parâmetros atribuídos ao projeto, o qual pode consistir em uma nova ideia, conceito ou achado científico, constituir um novo produto, processo ou se integrar em sistema existente ou inovador ("Embrapii", [s.d.]).

Figura 2: tabela com a escala do TRL para a classificação de projetos, com base na norma ISO 16290:2013

TRL	DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE
1	Princípios básicos observados e reportados
2	Formulação de conceitos tecnológico e/ou de aplicação
3	Estabelecimento de função crítica de forma analítica ou experimental e ou prova de conceito
4	Validação funcional dos componentes em ambiente de laboratório
5	Validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante
6	Demonstração de funções críticas do protótipo em ambiente relevante
7	Demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional
8	Sistema qualificado e finalizado
9	Sistema operando e comprovado em todos os aspectos de sua missão operacional

Fonte: ("Embrapii", [s.d.])

3.1 Sistemas com acionamento pelo usuário

Os primeiros e mais comuns sistemas adaptativos de fachada são aqueles que funcionam através da interação com o usuário, os quais estão mais próximos do que se imagina. Uma janela, por exemplo, é um tipo de elemento ativo dentro de uma fachada. É por meio destas aberturas, que podem ser fechadas conforme desejo e necessidade do usuário, que muitos dos requisitos de desempenho podem ser controlados. Ruídos, temperatura, qualidade do ar, luminosidade tudo isso muda conforme se deixa uma janela aberta ou fechada.

O acionamento comandado pelo usuário, apesar de configurar sistemas mais simples e aparentemente com maior economia energética, possui a desvantagem de depender da subjetividade advinda da individualidade de cada um. A sensação de conforto varia entre os usuários que ocupam um mesmo edifício, fazendo com que o que é uma situação adequada para um possa não o ser para outros. Dessa forma, o acionamento dos elementos de controle pode não ser feita de forma a otimizar o desempenho do edifício em todo o seu potencial. Por outro lado, o controle pelo usuário pode favorecer as atividades exercidas nos espaços internos, uma vez que possibilita que os *brises* sejam abertos ou fechados conforme a necessidade. Em uma sala de reunião, por exemplo, se for do desejo dos usuários um ambiente mais escuro para uma apresentação, basta acionar o fechamento dos *brises* para atingir a atmosfera desejada.

Como exemplo de sistema com acionamento pelo usuário pode-se citar o edifício paulistano de Salvador Candia, que data do ano de 1974. A fachada conta com um painel de *brises* verticais móveis à frente das superfície de janelas dos escritórios. Tais elementos movimentam-se através de comando mecânico, controlado pelos usuários do edifício, que podem

desta forma controlar a quantidade de incidência solar diretamente nas janelas dos escritórios da instituição bancaria que ocupa a edificação. O edifício em questão possui um perfil emblemático na cidade de São Paulo. A estética é destaque neste edifício, conhecido por montar mensagens na fachada durante o período de festas (Figura 3).

Figura 3: Edifício sede do Unibanco, de Salvador Candia, em São Paulo.



Fonte: http://rafagushi.tumblr.com/page/9

3.2 Sistemas com acionamento por sensores

Este segundo grupo reúne projetos em que sensores são colocados nas fachadas para que se tenha uma leitura da situação externa. Os indicadores mensurados pelos sensores são então interpretados pelo sistema de automação e ativam os elementos adaptáveis das fachadas. A questão energética é primordial nesse sentido, pois há que se gastar energia para economizá-la em outros sistemas, como o de condicionamento de ar, por exemplo.

3.2.1 Estudo de caso 1: Institut du Monde Arabe

Este estudo de caso apresentará um dos projetos mais lembrados quando se trata de fachadas adaptativas. Construído ainda em 1988, de concepção de Jean Nouvel, o edifício parisiense possui um sistema mecânico de controle da entrada de luz com acionamento por sensores.

A fachada Sul possui elementos móveis modulares que se movimentam para controlar a quantidade de luz que adentrará o edifício. Cada um dos painéis sobrepostos à fachada de vidro (Figura 4) possui 57 diafragmas móveis,

divididos em dois grupos de controle através de sensores. No total são 480 sensores de luz controlando o movimentos destes elementos de fachada. Ao invés de se movimentares todos de uma vez em resposta a uma mudança geral da iluminação proveniente do sol, cada painel foi concebido para operar de forma totalmente independente dos demais (MEAGHER, 2015).

Figura 4 – Painel da fachada Sul do Institut du Monde Arabe



Fonte: Autores

Para a análise do funcionamento desta fachada é preciso dizer que o sistema da fachada Sul não funcionou conforme esperado em sua concepção. Não é claro se o problema decorreu de falhas no projeto ou se resultou de uma manutenção inadequada do cliente, mas o que se sabe é que após apenas três anos de sua inauguração em 1988, os diafragmas passaram a serem controlados de maneira central, inutilizando-se os 480 sensores presentes na fachada. Após 6 anos, a movimentação das peças cessou por completo. É quase certa a participação da manutenção inadequada para esta desativação do sistema, mas também é preciso destacar a importância da viabilidade de funcionamento a longo prazo para as fachadas responsivas (MEAGHER, 2014). A complexidade, ainda que permita um resultado mais eficiente, pode ser maléfica ao sistema caso inviabilize a sua correta manutenção, seja por aspectos técnicos ou econômicos.

A tabela 1 relaciona as características deste sistema de fachada com os requisitos de desempenho apresentados anteriormente.

Tabela 1: análise do estudo de caso 1 frente aos critérios de desempenho designados

Estudo de Caso 1: Institut du Monde Arabe	
SEGURANÇA 	O sistema é satisfatório do ponto de vista da segurança. As partes móveis localizam-se entre duas lâminas de vidro, impedindo que o usuário entre em contato direto com os diafragmas, evitando assim ferimentos durante sua operação.
USO 	O principal ganho para o usuário seria o do desempenho térmico e lumínico controlados pelos sensores. Como foram desativados após alguns anos de uso, não se pode afirmar que estes benefícios são satisfatórios.
VIDA ÚTIL 	A vida útil do sistema não pôde ser totalmente verificada já que o sistema cessou seu funcionamento conforme projetado. A manutenção não foi feita de maneira adequada, o que comprometeu a durabilidade da tecnologia proposta.
CUSTO 	A complexidade do sistema fez com que o mesmo fosse readaptado após certo tempo de uso (central de controle), até serem completamente desativados após alguns anos. Embora não esteja claro na literatura, certamente o custo de manutenção foi decisivo para esta medida de suspensão do sistema adaptativo.
ESTÉTICA 	É inquestionável que os painéis trouxeram uma qualidade estética à edificação. Foram desenvolvidos com uma geometria que remete à cultura árabe, para a qual se destina a instituição que ocupa o edifício. A estética foi tão privilegiada neste projeto que, mesmo após o fim do funcionamento do sistema adaptativo, as fachadas ainda são destaques de beleza arquitetônica.
MATURIDADE TECNOLÓGICA 	O sistema pode ser classificado como TRL em nível 7. A fachada, como não está disponível em mercado, é um protótipo o qual foi testado apenas nesta edificação. Para se atingir o próximo nível seria preciso aperfeiçoar as questões que surgiram nesta experiência e testá-lo novamente, para que fosse finalizado o seu desenvolvimento.

Fonte: Autores

3.3 Sistemas com acionamento através de propriedades físicas dos materiais

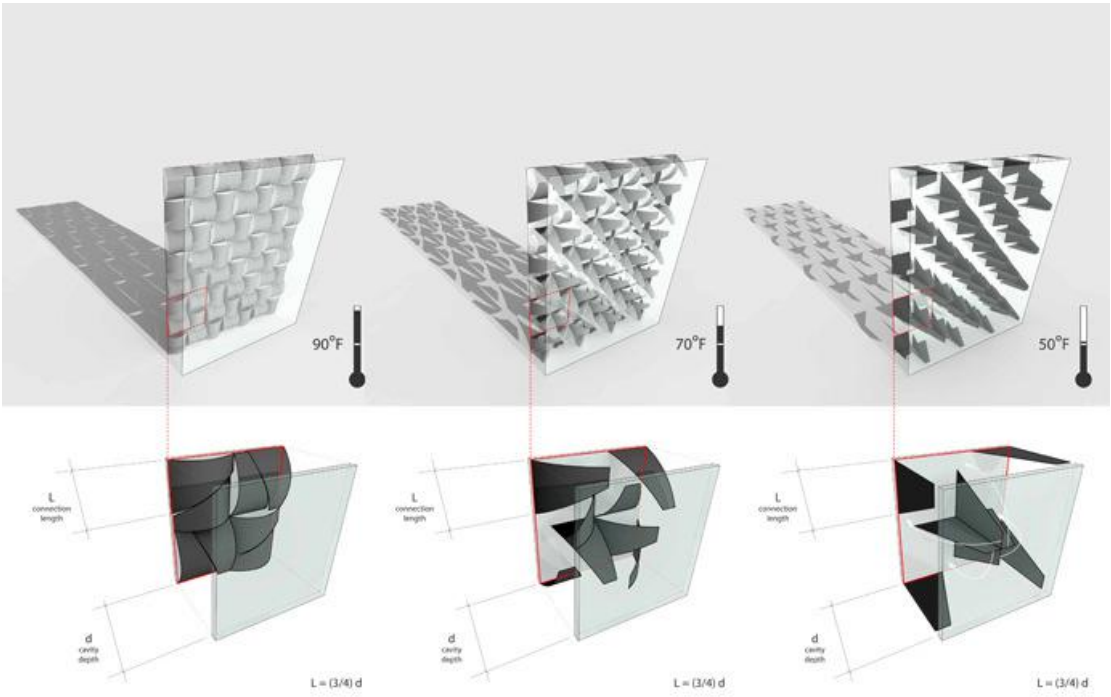
Atualmente a biologia é a inspiração para muito do pensamento tecnológico. Muitos estudos olham para a natureza como fonte de inspiração para a subsequente aplicação na arquitetura, uma tendência também conhecida como biomimética. As plantas, assim como os edifícios, possuem pouco movimento e permanecem sujeitas a uma locação específica, tendo portanto que resistir a condições climática que as atingem o tempo todo. Dessa forma, acabaram desenvolvendo meios especiais de proteção contra o excesso de vento, seca, frio, calor e luz (LÓPEZ et al., 2015).

3.3.1 Estudo de caso 2: Metal que respira

Doris Kim Sung, pesquisadora do MIT, desenvolveu um trabalho motivado pela vontade de ir além das possibilidades dos sensores, visando a criação de edificações inteligentes. A pesquisadora afirma acreditar que não é possível depender de maior eficiência de sistemas mecânicos com o objetivo de se atingir consumo energético líquido nulo (SUNG, [s.d.]). Para isso, foi conduzida uma pesquisa centrada em materiais que reagem ao ambiente por si só, deixando de escanteio os botões de "liga/desliga".

O protótipo desenvolvido usa um bimetal, elemento composto por duas finas camadas de metais diferentes, cada uma delas com um diferente coeficiente de dilatação. Quando a temperatura sobe, um dos lado reage "mais rapidamente" à ação do calor que o outro, fazendo com que o metal todo se curve (ANDERSON, 2012). A deformação das peças frente às diferentes temperaturas encontradas no meio externo, se aplicadas em painéis de fachadas, podem gerar áreas de sombreamento que, a depender de sua geometria, geram ganhos significativos de desempenho, sem a necessidade de energia para manter o sistema funcionando (Figura 5).

Figura 5: esquema ilustrativo do sistema desenvolvido por Doris Kim Sung.



Fonte: (SUNG, [s.d.])

A tabela 2 relaciona as características deste sistema de fachada com os requisitos de desempenho apresentados anteriormente.

Tabela 2: análise do estudo de caso 2 frente aos critérios de desempenho designados

Estudo de Caso 2: Metal que respira	
SEGURANÇA 	Por se tratar de um estudo ainda muito inicial, não há itens conclusivos a este respeito. Provavelmente a sua aplicação em uma edificação seria associada a um sistema de fachada independente, como uma camada de sombreamento, de forma que grande parte da segurança estaria a cargo do sistema principal. É importante que se garanta, principalmente em grandes altura, que nenhuma parte do material se desprenda e caia do edifício, gerando risco aos transeuntes.
USO 	A pesquisa propõe um sistema de sombreamento, que seria responsável por melhorias no desempenho térmico da edificação. Em dias quentes o sombreamento representaria um grande ganho, mas o modo de acionamento através de características físicas dos materiais elimina o usuário do papel de agente, o que pode comprometer o desempenho lumínico, deixando a iluminação totalmente a cargo das fontes artificiais.
VIDA ÚTIL 	Não foram encontrados dados suficientes para se chegar a conclusões sobre a vida útil do sistema proposto. Seria importante verificar a questão da fadiga, pois a movimentação dos metais pode ocasionar danos em suas propriedades físicas e este parece um sistema de difícil manutenção/ reposição.
CUSTO 	O grande foco do projeto desenvolvido pela pesquisadora está no baixo consumo energético. A ideia aqui seria a de que a fachada pode se adaptar às condições do ambiente de inserção sem a adição de energia durante seu ciclo de uso, o que teria reflexo direto no seu custo para o usuário. A questão que precisa ser mais profundamente estudada é a do custo para sua fabricação, onde talvez seja necessária uma grande quantidade energética para produção dos materiais com as características adequadas. Como a fase de uso é muito mais longa que a fase de implementação, os ganhos parecem significativos.
ESTÉTICA 	A mutação do material estudado leva a um ganho estético muito interessante. É raro ver um edifício que sofre mudanças em sua fachada ao longo de um mesmo dia e, neste caso, a sensibilidade seria separada entre cada pequena parte da membrana, formando composições diferentes a cada minuto.
MATURIDADE TECNOLÓGICA 	Ainda não foi feito um protótipo completo com uso do sistema em questão, portanto podemos afirmar que a tecnologia encontra-se com o TRL no nível 4. Este nível corresponde a componentes que tiveram sua validação funcional em ambiente de laboratório apenas.

Fonte: Autores

3.4 Sistemas geradores de energia

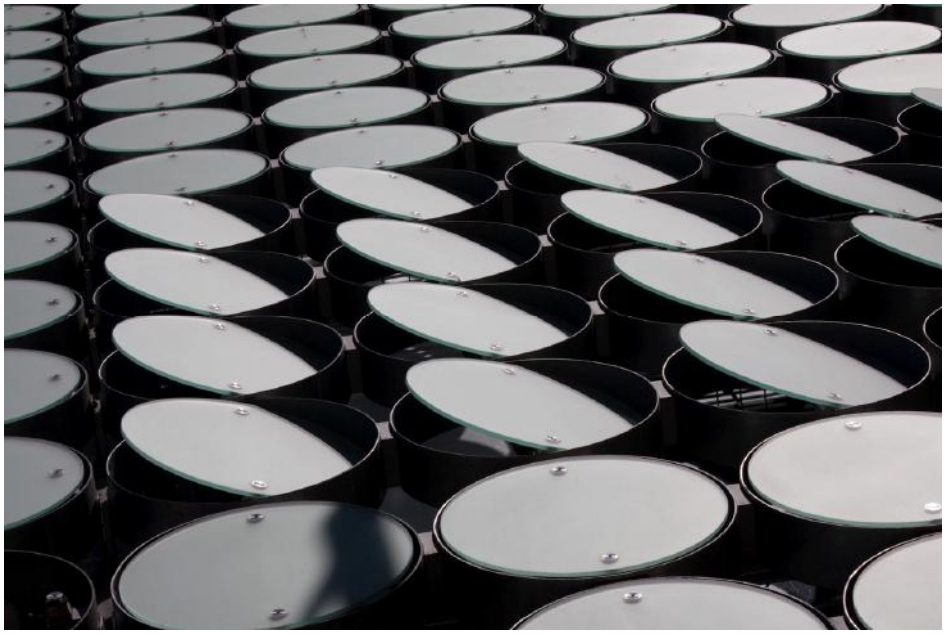
As fachadas adaptativas possuem ainda um passo além da melhoria do desempenho: a possibilidade de se agregar outras funções além daquelas que tradicionalmente se espera de uma fachada. Na seção a respeito de desempenho foram definidas as funções principais de uma fachada, mas algumas pesquisas vão além disso e aproveitam o potencial presente nesta

parte exposta para não só economizar a energia investida para funcionamento do edifício, como também gerar energia.

3.4.1 Estudo de caso 3: RMIT Design Hub

A edificação em estudo localiza-se em Melbourne, na Australia. Projetada por Sean Godsell e Hayley Franklin, foi inaugurada em 2012. O propósito do Design Hub é acomodar em um edifício uma gama diversa de pesquisa em design e um curso de pós-graduação. O centro possui um grande número de recursos de eficiência energética e incorpora estratégias de gestão de resíduos, água e reciclagem.

Figura 6: painéis fotovoltaicos móveis do RMIT Design Hub.



Fonte: (DELAQUA, 2013)

O revestimento externo em particular incorpora um elemento de sombreamento automatizado que inclui células fotovoltaicas e entradas de ar fresco para melhorar a qualidade do ar interno e reduzir custos, conforme se observa na Figura 6. As células solares foram desenhadas exclusivamente e podem ser facilmente substituídas à medida que as pesquisas empreendidas em energia solar atinjam tecnologias melhores (DELAQUA, 2013). Os discos da fachada são móveis, podendo rotacionar em direção à luz solar, visando a otimização da geração de energia (KNOL; KNEEPKENS; ZVINONAITE, [s.d.]).

A tabela 3 relaciona as características deste sistema de fachada com os requisitos de desempenho apresentados anteriormente.

Tabela 3: análise do estudo de caso 2 frente aos critérios de desempenho designados

Estudo de Caso 2: RMIT Design Hub	
SEGURANÇA 	As questões relacionadas à segurança estão satisfeitas no sistema de fachada desta edificação. A mobilidade dos painéis se dá no meio externo, sem sujeitar os usuários da edificação a riscos.
USO 	Interessante que neste exemplar, ao invés de se tratar de uma fachada completamente vedada, a entrada de ar é propiciada pelos painéis móveis com o propósito de melhorar a qualidade interna do ar. O sombreamento é responsável pela melhoria no desempenho térmico.
VIDA ÚTIL 	Com relação à vida útil ainda não é possível fazer afirmações seguras. Um ponto focal do projeto está na possibilidade facilitada da troca das placas fotovoltaica, de modo a acompanhar sua evolução tecnológica.
CUSTO 	O custo de implementação deste sistema, por sua complexidade, é elevado. A geração de energia visa compensar esta questão, uma vez que possibilita a economia de gastos durante sua operação através da autonomia energética.
ESTÉTICA 	A forma dos painés e movimentação dos mesmos pode ser colocada como uma característica favorável à estética. A cor dos painéis necessariamente escuros para a geração de energia acaba por limitar as possibilidades cromáticas para a arquitetura. Para contornar tal questão seria necessário associar a solução a outros materiais, mantendo os painéis fotovoltaicos apenas nas fachadas necessárias.
MATURIDADE TECNOLÓGICA 	Pode-se afirmar que o TRL do sistema está no nível 7, caminhando para 8. O prédio é um protótipo para o estudo de diversas tecnologias, portanto em constante desenvolvimento. Dessa forma, é possível dizer que há a possibilidade de, em breve, o sistema estar qualificado com os ajustes provenientes desta experiência, podendo então ser utilizado em outras edificações.

Fonte: Autores

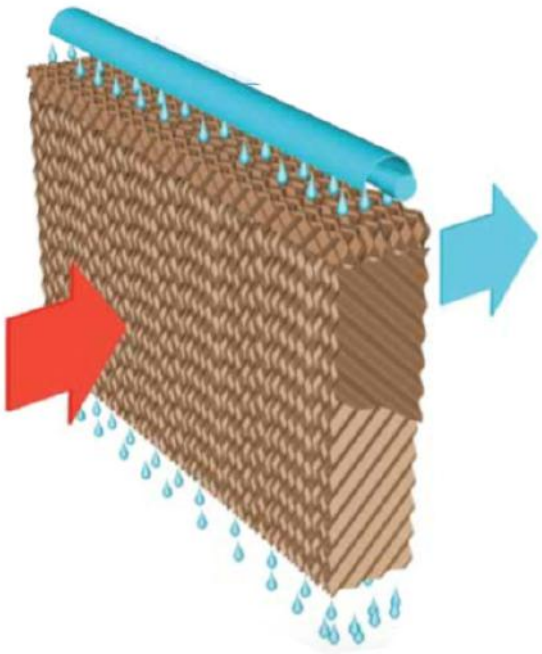
3.5 Sistemas evaporativos

A evaporação passiva oferece uma solução com baixos recursos e baixo impacto ambiental de resfriamento das edificações, podendo ser classificada como direta ou indireta. O resfriamento por evaporação direta faz a temperatura do ambiente baixar enquanto a umidade sobe, mantendo uma temperatura de bulbo molhado constante. Em oposição ao sistema de resfriamento por evaporação direta, os sistemas indiretos fazem o resfriamento sem aumentar a umidade do ar interno, utilizando-se de troca de calor entre as partes (CHEN; LIU; LIN, 2015).

A empresa norte americana Nature Cool oferece um produto feito a partir de celulose especial e fibra de vidro para aplicação em fachadas. Os módulos ilustrados na Figura 7 recebem tratamento para resistir tanto à degradação mecânica quanto à biológica, trazendo assim maior durabilidade. Com aplicação em edifícios industriais, o sistema conta com o resfriamento evaporativo para atingir uma significativa queda de

temperatura. O desenho das peças potencializa a superfície de contato do ar com o substrato úmido, otimizando assim o resfriamento do ar que adentra o ambiente. As superfícies onduladas contribuem também para que o ar mude de direção quando está atravessando o painel, fazendo com que seja mais garantido que entrará em contato com uma superfície úmida.

Figura 7: painel de celulose e fibra de vidro



Fonte: www.nature-cool.com

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa desenvolvida mostra que as fachadas ativas já são uma realidade da arquitetura e engenharia mundiais. Com o mesmo objetivo de otimização de recursos, os diferentes estudos de caso puderam reunir as diversas estratégias já desenvolvidas. É interessante perceber que, dentre tanta diversidade tecnológica, a busca por maior eficiência do desempenho térmico é um fator comum. Ao se tratar de fachadas de edifícios isso pode ser esperado, já que a principal função destes subsistemas das edificações é a de mediar os meios externo e interno

Para estudos posteriores nota-se a necessidade de abordagem mais aprofundada da vida útil dos sistemas apresentados. O primeiro caso estudado é o único com maior tempo de existência, enquanto que com os demais não é possível concluir por quanto tempo seria possível manter a qualidade dos ganhos de desempenho.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15.575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANDERSON, L. **Biologist-Turned-Architect Invents "Breathing" Metal Building Skin - Architizer**. Disponível em: <http://architizer.com/blog/doris-kim-sung-thermo-bimetal/>. Acesso em: 22 fev. 2016.

CHEN, W.; LIU, S.; LIN, J. Analysis on the passive evaporative cooling wall constructed of porous ceramic pipes with water sucking ability. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 541–549, jan. 2015.

DELAQUA, V. **RMIT Design Hub / Sean Godsell | ArchDaily Brasil**. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/01-102382/rmit-design-hub-slash-sean-godsell>. Acesso em: 24 fev. 2016.

Embrapii. Disponível em: <http://embrapii.org.br>. Acesso em: 22 fev. 2016.

FORTMEYER, R.; LINN, C. D. **Kinetic Architecture: designs for active envelopes**. Australia: Images Publishing, 2014.

KLEIN, T. **Integral Façade Construction: towards a new product architecture for curtain walls**. Alemanha: Delft University of Technology, 2013.

KNOL, A.; KNEEPKENS, S.; ZVINONAITE, K. Kinetica: A playful way through the world of moving facades. **University of Technology Delft**, [s.d.].

LÓPEZ, M. et al. Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. **Journal of Facade Design and Engineering**, p. 27–38, 2015.

MASRI, Y. Intelligent Building Envelopes: design and applications. **Proceedings of the International Conference on Building Envelope Design and Technology - Advanced Building Skins 2015**, 2015.

MEAGHER, M. Responsive Architecture and the Problem of Obsolescence. **International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR**, v. 8, n. 3, p. 95–104, 30 nov. 2014.

MEAGHER, M. Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. **Frontiers of Architectural Research**, v. 4, n. 2, p. 159–165, jun. 2015.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. Dissertação de mestrado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

SUNG, D. K. **Doris Kim Sung: O metal que respira**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ted.com/talks/doris_kim_sung_metal_that_breathes?language=pt>. Acesso em: 22 fev. 2016

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

PORTAL R3E: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA TODOS[1]

SILVA, Anaísa Rocha Lima Fernandes da (1); RODRIGUES, Clara Ovídio de Medeiros (2); PEDRINI, Aldomar (3)

(1) UFRN, e-mail: anaisarocha.lfs@gmail.com; (2) UFRN, e-mail: claraovidio@gmail.com; (3) UFRN, e-mail: apedrini@ufrnet.br

RESUMO

O Portal R3e foi criado pela Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3e), um projeto de pesquisa formada por 14 laboratórios em todo o país. Aqui será discutido o desenvolvimento em duas etapas dessa ferramenta digital para difusão da eficiência energética em edifícios, da Etiqueta PBE-Edifica e do Selo Procel para edificações. Na primeira, o Portal R3e foi criado na linguagem Java Server, colocado no ar e tornou-se um domínio independente. Também na primeira fase foi criado um catálogo de materiais e sistema para auxiliar a escolha de produtos nas obras. A segunda fase buscou migrar o site para uma linguagem de programação que o tornasse mais funcional para visitantes e desenvolvedores. Após essa migração, o site, criado inicialmente para visualização em computadores, ganhou uma versão adaptada para smartphones e tablets, além disso, foi criada uma fanpange para que as informações pudessem chegar às pessoas de maneira rápida. O Portal R3e também passou a contar com o auxílio de uma ferramenta que exibe relatórios sobre os acessos do site. Com este artigo, pretende-se descrever o desenvolvimento do Portal R3e e as estratégias que o site usa para atrair o interesse do público.

Palavras-chave: Portal R3e. Eficiência energética. Difusão do conhecimento. Etiqueta PBE-Edifica.

ABSTRACT

Portal R3e was created by Rede de Eficiência Energética em Edificações, a research project network composed by 14 laboratories across the country. Here will be discussed the two parts development of this digital tool to spread the building energy efficiency, Etiqueta PBE-Edifica and Selo PROCEL for buildings. In the first part Portal R3e was created in the Java Server language, published and become an independent domain. In the first part too, was created a catalogue of materials and systems to help choose products in buildings. The second part sought to create a functional website to spread the knowledge. This way, the web site had a change of programming language to turn the page more functional for visitors and developers. After this change, the website, initially created for computers, got an adapted version for smartphones and tablets, moreover, was created a fanpage for that the information could reach people quickly. Portal R3e also has a tool that display full reports about the accesses of the website. With this paper aims describe the development of Portal R3e and the strategies used to attract the interest of the public.

***Keywords**: Portal R3e. Energy efficiency. Diffusion of knowledge. Etiqueta PBE-Edifica.*

[1] SILVA, Anaísa Rocha Lima Fernandes da; RODIRGUES, Clara Ovídio de Medeiros; PEDRINI, Aldomar. Portal R3e: eficiência energética para todos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Após a entrada em vigor da Lei n 10.295 de 2001(BRASIL, 2001), o PROCEL Edifica e o INMETRO, em parceria, lançaram a regulamentação para se obter a etiqueta brasileira de edificações (Etiqueta PBE-Edifica). Essa etiquetagem faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), portanto é similar à etiqueta presente em eletrodomésticos, já muito conhecida pelos consumidores. Ao adotar esse sistema de certificação de edifícios, o Brasil passou a ser um dos poucos países capazes de classificar as edificações quanto à classe de eficiência energética.

A Etiqueta PBE-Edifica é a certificação do nível de eficiência energética do edifício e pode ser obtida de duas maneiras: pelo método prescritivo que utiliza equações para determinar o consumo de energia e pelo método da simulação que precisa de programas de computador para reproduzir o edifício de acordo com as normas determinadas nos regulamentos, os quais estão disponíveis no site, e simular seu consumo. As classificações da etiqueta vão de A até E sendo da melhor para a pior em desempenho, respectivamente (COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA et al., 2009).

No princípio, a etiqueta tinha como objetivo incentivar o uso eficiente de energia nos grandes consumidores de uso comercial, de serviço e público(COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA et al., 2009). Atualmente a etiquetagem inclui o atendimento a estádios, hotéis e edificações residenciais (unifamiliar, multifamiliar e áreas de uso comum). Também foi lançado o Selo Procel para edifícios, o qual destaca a edificação que conseguiu nível A na classificação de cada um dos quesitos analisados. Também em 2014 foi lançada a Instrução Normativa do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão que determina a obrigatoriedade de etiquetagem dos edifícios de uso público financiados com verbas federais, visando a obtenção do nível A.

No entanto, a falta de conhecimento sobre essa etiqueta, desde o seu lançamento, apresenta-se como um dos fatores predominantes no difícil acesso à ela. Desse modo, foi necessário investir na divulgação desta etiqueta.

Para suprir essa lacuna, uma das medidas adotadas foi a criação do site: Portal R3e pela Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3e) como parte de um projeto de pesquisa formada inicialmente por 12 laboratórios em todo o país com o objetivo de difundir a eficiência energética. O projeto de pesquisa R3e é fruto de um convênio entre a Eletrobrás e as 12 universidades participantes cujos laboratórios têm estudos focados em eficiência energética.

O site visa difundir conhecimentos sobre a eficiência energética em edificações, Etiqueta PBE-Edifica e o Selo Procel para edificações. A fim de atingir esse objetivo o site utiliza uma linguagem acessível e simplificada para o público leigo e técnica para alcançar o público especializado, atendendo assim todo o público envolvido no processo de etiquetagem: projetistas,

consultores, fabricantes, proprietários, empresas e pesquisadores membros da rede.

Este artigo tem como objetivo descrever o processo de desenvolvimento do Portal R3e e as estratégias que o site usa para atrair o interesse do público.

2 MÉTODO

O Portal R3e foi desenvolvido a partir de pesquisas realizadas nas áreas de eficiência energética e etiquetagem de edifícios juntamente com estudo de casos de outros sites com objetivos similares e da mesma área de conhecimento. Baseado nos regulamentos que determinam os requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética em edificações comerciais, de serviço e públicas e o residencial, RTQ-C (COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA *et al.*, 2009) e RTQ-R (COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA *et al.*, 2011), respectivamente, o site foi criado para ser uma ferramenta de difusão do conhecimento sobre o conteúdo posto nesses regulamentos.

Em 2010, quando começou a pesquisa, o site foi pensado para incorporar o sítio eletrônico do Procelinfo e, em 2012, foi migrado para o domínio independente (portalr3e.com.br). Esse foi registrado em registo.br para assegurar os direitos de uso da Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3e) sobre ele.

O artigo abordará esse segundo período, durante o qual o site contou com duas versões. A primeira versão gráfica do site foi desenvolvida utilizando a linguagem *Server Faces* e banco de dados MySQL e contou com o desenvolvimento dos ícones, legendas gráficas e estruturação do *layout* nos programas *CorelDraw* e *Photoshop*.

A segunda versão do site foi desenvolvida na plataforma *Wix* (linguagem HTML5), a qual permite ao usuário criar sua própria página na web sem que precise conhecer de programação. De maneira rápida e fácil é possível gerenciar a página desenvolvendo-a livremente e de forma criativa. Além disso, o *Wix* permite que o site seja desenvolvido para visualização em mídias como *tablets* e celulares.

À essa segunda versão, foram agregados ferramenta para a contagem e acompanhamento de acessos e redes sociais para auxiliar na divulgação do Portal. Para a contagem e acompanhamento de acessos foi utilizada a ferramenta *Google Analytics*, que está vinculada à sua hospedagem na plataforma *Wix* e produz relatórios completos sobre os acessos da página, podendo ser escolhido o período que se deseja obter os dados. As informações geradas por essa ferramenta e utilizada nesse artigo são: seções mais acessadas, quantidade de seções acessadas por visitante, origem do visitante e quantidade de visitantes.

Para a inserção nas mídias sociais, utilizou-se do *facebook.com.br*. Essa inserção permitiu divulgação semanal das novas notícias inseridas no Portal, bem como dos materiais didáticos disponibilizados no Portal R3e e de

profissionais e empresas cadastrados, entre outros.

3 FASES DO DESENVOLVIMENTO DO SITE

Durante a primeira fase do site no domínio próprio, suas seções foram reestruturadas e ele foi colocado no ar juntamente com um catálogo de materiais. Na segunda, o site migrou de plataforma, passou por uma grande mudança estética, tornou-se mais conectado com as mídias atuais e passou a ter como objetivo atingir um público cada vez maior.

3.1 Primeira fase

A primeira fase do desenvolvimento do Portal R3e contempla sua criação, desenvolvimento de comunicação visual, hospedagem online e independência de domínio.

Figura 1 – Página inicial do site com domínio independente



Fonte: Acervo próprio

A princípio o Portal R3e foi criado para ser uma parte integrante do Procel Info. Todo seu funcionamento e comunicação visual foram pensados para atender as especificidades do site do qual fazia parte, o Procel Info. Com a independência do domínio (figura1), foi dado ênfase ao reagrupamento do conteúdo das seções em seis menus:

- Sou R3e
- Sou Projetista
- Sou Consultor
- Sou Fabricante
- Sou Proprietário
- Sou Empresa

A divisão em menus foi feita com o objetivo de levar conteúdo diferenciado para todos os tipos de públicos e espalhar o conhecimento específico para todas as pessoas de acordo com seu interesse.

No menu para membros da Rede de Eficiência Energética em Edificações as informações estão dispostas visando ampliar o conhecimento, seja com a divulgação de cursos e eventos, seja informando sobre a rede e seus parceiros. Nos menus para projetistas, consultores e fabricantes é possível encontrar informações técnicas como estratégias bioclimáticas, materiais e sistemas construtivos, simuladores e glossário. O menu proprietários tem o objetivo de guiar aqueles que desejam obter a etiqueta A em seus edifícios, para isso conta com uma lista de profissionais que fazem este trabalho de projeto e/ou consultoria. No menu para empresas pode-se encontrar uma lista com as empresas parceiras da Rede que estão aptas a realizar trabalhos de consultoria e projeto para aqueles que desejam obter a etiqueta. Além disso, todas as sessões contam com publicações, dúvidas frequentes e uma página explicativa sobre o que é a etiquetagem de edifícios.

Figura 2 – Página inicial do catálogo



Fonte: Acervo próprio

Nesta primeira fase também foi criado um catálogo (figura 2) com materiais e sistemas construtivos para auxiliar a escolha na hora da execução dos projetos. Este catálogo é vinculado ao Portal e sua comunicação visual é semelhante. O Portal R3e tem o link para retornar ao catálogo e vice-versa. O catálogo também foi dividido em seções para que o usuário possa ir direto para o item que deseja. Assim, após escolher o sistema construtivo, o componente construtivo ou o equipamento que deseja pesquisar, o usuário tem uma ficha do que escolheu com todas suas características detalhadas.

Durante a primeira fase alguns problemas foram enfrentados. O primeiro deles foi a ausência de um bolsista com conhecimentos de programação em Java Server, linguagem utilizada na hospedagem do site. O segundo problema foi as ações pensadas pela equipe estarem limitadas à linguagem de programação, frequentemente, a linguagem "não suportava" estas ações. O terceiro problema era os grandes períodos de tempo em que o site ficava completamente ou parcialmente fora do ar, ou seja, não estavam disponíveis para acesso, devido a atualizações. A quarta e principal limitação desse modelo era a impossibilidade de qualquer membro da equipe realizar edições diretamente no site. Isto tornou o site pouco funcional e foi um dos principais motivos que levaram à segunda fase.

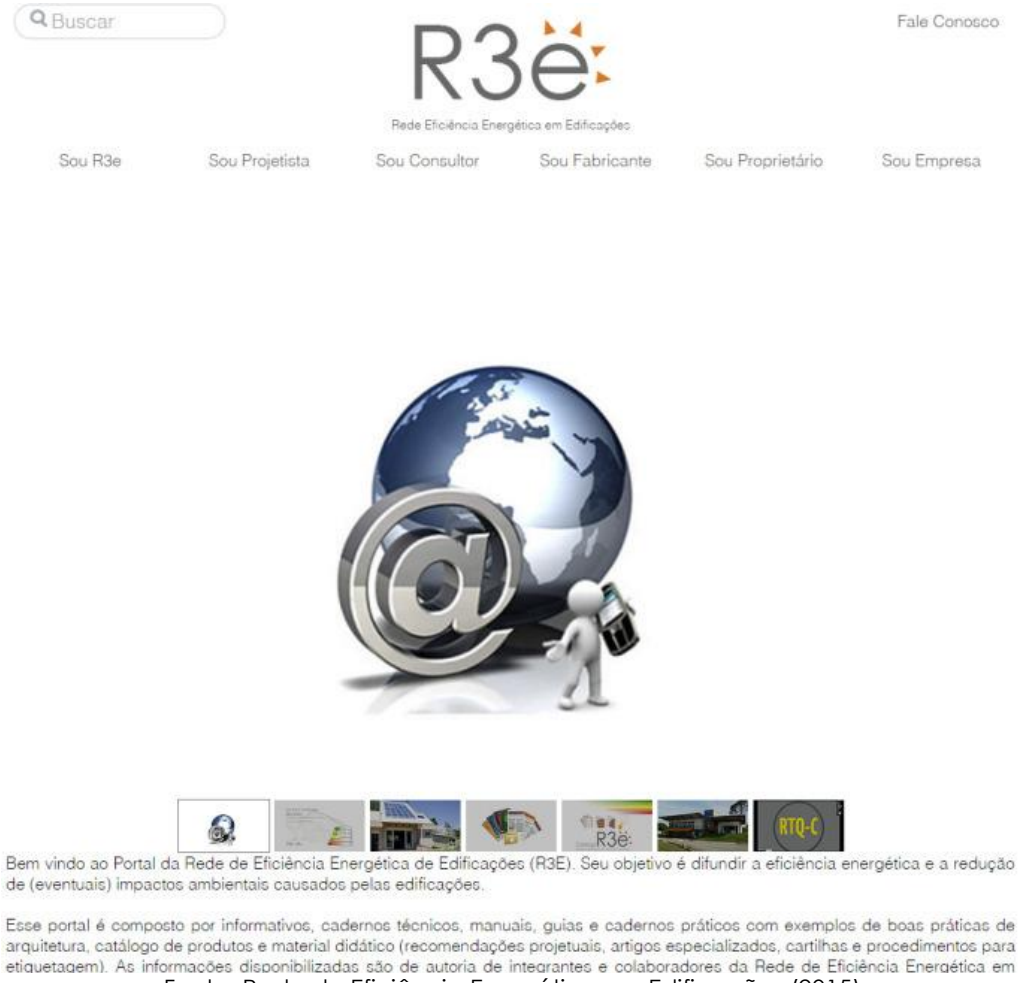
3.2 Segunda fase

A segunda fase do desenvolvimento do Portal R3e começou com a migração do site para uma plataforma com linguagem de programação HTML5 por meio da plataforma *Wix*. Essa permitiu que os bolsistas de iniciação científica do Portal fizessem edições no layout do site sem qualquer conhecimento de linguagem de programação. Assim foi possível realizar alterações, lidando somente com os comandos inserir e mover. Com a mudança, as ações que antes eram inviabilizadas tornaram-se possíveis e o Portal R3e ficou mais interativo, didático e completo.

O principal objetivo da segunda fase foi fazer com que as informações do site cheguem a um número maior de pessoas, por isso a migração não foi a única ação adotada. Na nova plataforma foi usada uma aparência mais agradável esteticamente, informações menos densas e mais diretas, e um menu mais funcional onde as pessoas não precisariam passar por tantas páginas até chegar na seção desejada. Assim a estética da página se tornou mais atrativa. Além disso, as listas nas seções: notícias, glossário e quem faz esse trabalho, que contam com informações interativas foram soluções pensadas para atrair o interesse dos usuários.

A página inicial do site (figura 3) também foi modificada para privilegiar o fácil acesso das informações mais importantes. A partir do início do site é possível acessar as seções: fale conosco, notícias, publicações, estudos de caso que também se encontram disponíveis nas publicações o catálogo de materiais e sistemas construtivos, vídeos educativos e também a página informativa sobre o que é a etiquetagem em edificações.

Figura 3 – Página inicial após a migração



Fonte: Rede de Eficiência Energética em Edificações (2015)

3.2.1 *Google Analytics*

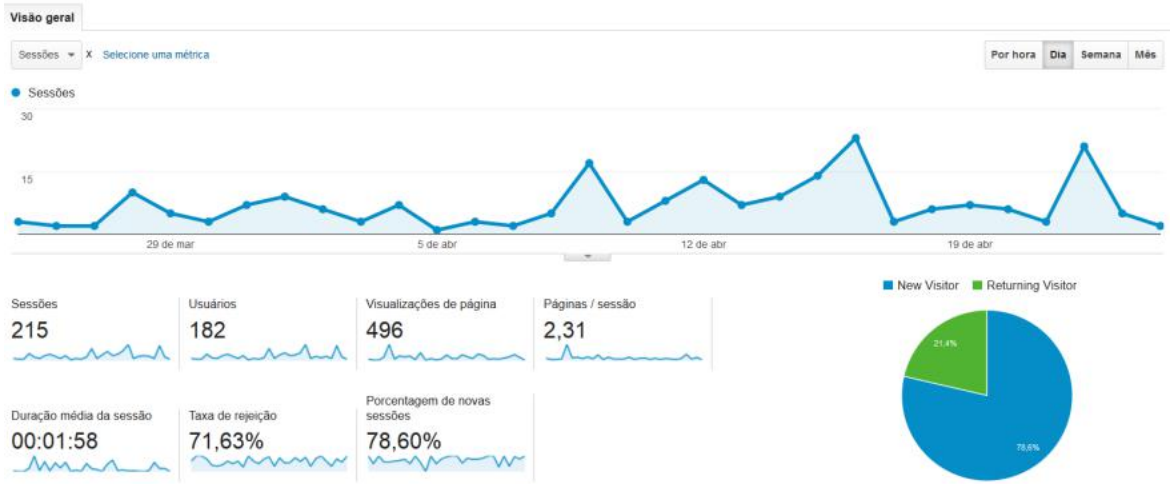
Ainda na segunda fase foi instalada a ferramenta *Google Analytics* que funciona vinculada ao *Wix*, e exibe relatórios sobre os acessos ao site. Com esta ferramenta é possível saber de onde estão sendo feitos os acessos, quais as seções visitadas, o número de usuários, a porcentagem de visitantes novos e visitantes que retornam, tempo médio gasto por acesso, quantidade de páginas visualizadas, média de páginas visualizadas por acesso e taxa de rejeição[2].

Ao se conectar com a ferramenta, é exibido um gráfico da quantidade de acessos que o Portal R3e teve nos 30 dias anteriores (figura 4). Logo abaixo, são apresentadas as informações: quantidade de sessões[3] naquele período, quantidade de usuários, quantidade de páginas visualizadas, a média de página visualizada por sessão, duração média da sessão e porcentagem de novos usuários. Essa última informação também é apresentada em forma de gráfico.

[2] Taxa de rejeição é a razão entre os acessos rejeitados sobre todas as sessões, onde acesso rejeitado é considerado aqueles que somente uma página foi visualizada durante a visita do usuário.

[3] As sessões chamadas pelo *Google Analytics* são os acessos

Figura 4 – Gráficos exibidos ao se conectar com a ferramenta



Fonte: Google Analytics (2016)

As informações acima podem ser visualizadas por dia, por hora (figura 5), semana e mês. O período de 30 dias exibido no gráfico da figura 4 também pode ser exibido por período personalizado.

Figura 5 –Quantidade de sessões exibidos por hora



Fonte: Google Analytics (2016)

Desde a instalação da ferramenta no dia 25/10/2015 até o dia 25/04/2016 foram feitos 2.340 acessos por 1.613 usuários, com duração média da sessão de 3min e 7seg, uma média de 2,57 páginas visualizadas por sessão e um total de 5.967 páginas visualizadas (figura 6). A página mais visitada no período foi a página inicial seguida das seções quem faz esse trabalho onde o visitante pode encontrar profissionais aptos a realizarem serviços de projeto e/ou consultoria. Em terceiro lugar de visitas está a página de cursos da R3e, o interesse dos visitantes por cursos também foi notado nos e-mails recebidos a partir da seção fale conosco do site. A maioria dos acessos foram feitos no Brasil, em segundo lugar aparece Estados Unidos e em terceiro Rússia. O estado brasileiro onde mais ocorreram sessões foi o Rio Grande do Norte, local onde o site é desenvolvido, em seguida estão São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, respectivamente.

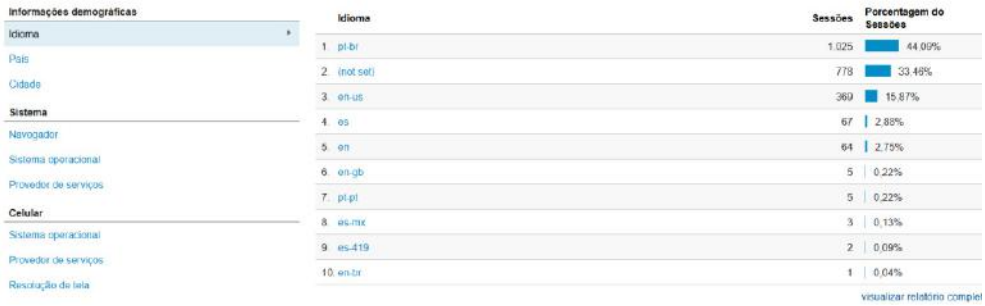
Figura 6 – Quantidade de sessões desde o cadastramento na ferramenta



Fonte: Google Analytics (2016)

Na parte inferior da página da ferramenta é possível acessar informações de acesso específicas dos usuários que entraram no site, como: idioma, país, cidade, navegador, sistema operacional, provedor de serviços e informações específicas dos acessos feitos por aparelhos móveis (figura 7). Ao clicar em uma dessas informações específicas um novo gráfico será exibido, nele também é possível escolher o período de tempo e a visualização por hora, dia, semana ou mês.

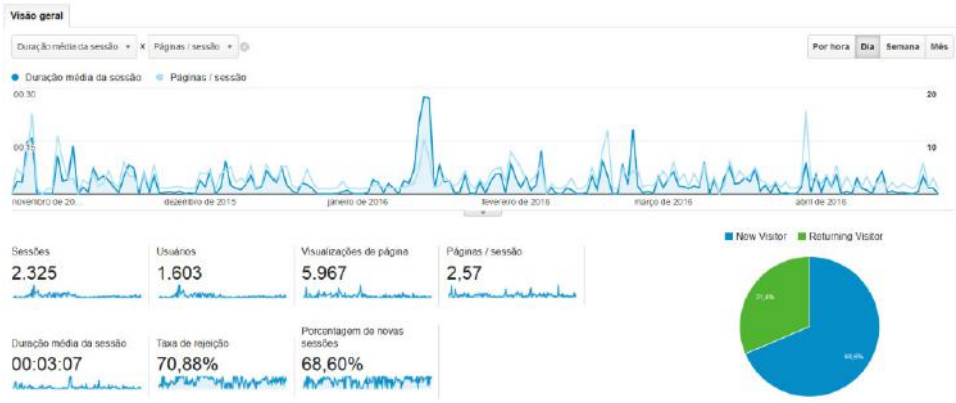
Figura 7 – Mais opções de dados



Fonte: Google Analytics (2016)

Todos os gráficos permitem ainda comparar duas informações, como no exemplo a seguir (figura 8) que a linha azul escuro é a duração média da sessão e a azul claro é a média de páginas visualizadas por sessão.

Figura 8 – Duração da sessão x quantidade de sessões desde a instalação da ferramenta



Fonte: Google Analytics (2016)

Logo após a instalação da ferramenta notou-se uma alta taxa de rejeição do site (38,33 % na primeira quinzena após a instalação). Isso fez a equipe pensar em formas de atrair os usuários a visitarem mais seções, por exemplo, com novos botões e mudanças na página inicial.

A ferramenta também possibilitou um entendimento de que novas mídias poderiam ser utilizadas para aumentar o número de visitantes. Neste sentido, antes da adoção dessas melhorias no período de 25/10/2015 até 12/11/2015, 41 pessoas acessaram o Portal R3e. No dia 13/11/2015, dia da primeira ação para se melhorar os acessos uma *fanpage* foi criada na rede social *Facebook* e a partir desse dia até o dia 01/12/2015 o site foi visualizado por 512 pessoas. O aumento foi de mais de 1000% em uma mesma quantidade de dias.

3.3 Novas mídias

Junto com a migração ocorrida na segunda fase do desenvolvimento do site veio a integração com as mídias atuais. A nova plataforma escolhida dispunha de uma versão exclusiva para aparelhos móveis, de forma a tornar mais funcional e prático o acesso a partir de celulares, smartphones e *tablets*. Desse modo o acesso pode ser feito de qualquer lugar na palma da mão sem que as pessoas dependam de ter um computador ou laptop a disposição.

Ainda nesse sentido, foi criada uma *fanpage* na rede social *Facebook* para ajudar ao conhecimento a chegar mais rápido para as pessoas. Na *fanpage* são compartilhadas as atualizações e postagens do site, de maneira que as novidades do site cheguem às pessoas mais facilmente. Além disso, é na *fanpage* do *Facebook* que a equipe divulga as seções existentes, permitindo ampliar o número de acessos e direcionar os acessos aos interesses dos usuários.

Após a criação da *fanpage* notou-se um maior número de acessos ao site nos dias que eram feitas publicações. Porém, de certa forma, isso incentiva um aumento na taxa de rejeição pois com a divulgação diretamente das seções as pessoas tendem a visitar somente aquela específica, sem passar por mais páginas. Por exemplo, no dia 09/06/2016, quando não houve publicações na *fanpage,* 7 acessos foram feitos, já em 10/06/2016, quando ocorreram 2 publicações no *Facebook,* as sessões aumentaram para 17.

4 MELHORIAS FUTURAS

A partir das duas fases de desenvolvimento do site foi pensado em mais soluções para que o site ficasse ainda melhor, mais acessível e mais comunicativo. Com o auxílio da ferramenta Google Analytics se torna possível saber que melhorias buscar quanto aos acessos ao site.

Outra solução pensada foi o desenvolvimento de um plano de negócios para que o projeto do Portal R3e possa ter continuidade sem de maneira independente ao apoio financeiro do Convênio, a partir do qual o Portal foi

criado. Com o plano de negócios é possível estipular metas e focar resultados, uma maneira de organizar e gerenciar o trabalho desenvolvido no site que pode até resultar em melhor funcionamento da página, com períodos fixos para alimentação de seu conteúdo, por exemplo.

5 CONCLUSÕES

A criação do Portal R3e foi algo pensado para ser parte integrante de outro domínio virtual com o objetivo de difundir os conhecimentos sobre eficiência energética e etiquetagem de edifícios. O catálogo de materiais e sistemas construtivos veio para ser um complemento ao site com informações adicionais colocadas de forma prática para os usuários, organizadas em seções. A independência do domínio do Portal R3e veio para que o site pudesse ser incrementando contando com informações direcionadas ao público.

Após algum tempo da independência do domínio do Portal R3e, este foi migrado para outra plataforma com linguagem de programação diferente. Com essa mudança foi possível alterar a estética do site, publicar mais materiais, adicionar informações de forma interativa e editá-lo sem maiores conhecimentos sobre linguagem de programação. A migração foi importante para que o site se adequasse as linguagens atuais, visto que a partir dela o site passou a ter uma versão exclusiva para *tablets* e celulares, possibilitando o acesso de qualquer lugar com praticidade. Além disso, foi após a migração é que foi criada uma *fanpage* na rede social *Facebook* para trazer o site a um dos meios de comunicação mais utilizados na atualidade.

Com a migração também foi instalada uma ferramenta capaz de monitorar os acessos, assim, a partir desta, é possível identificar os problemas e pensar nas melhorias para continuar fazendo mudanças no site dando continuidade ao trabalho da rede.

O desenvolvimento de um site é um processo incessante. A continuidade do Portal R3e focará na rapidez da apreensão das informações por parte dos usuários, na ampliação do número de acessos e na sustentabilidade do site.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram para o desenvolvimento do Portal R3e. A Eletrobrás por ter financiado o projeto e tornado este possível. Aos bolsistas de iniciação científica que ajudaram a desenvolver o site. E aos laboratórios da R3e com seus respectivos pesquisadores.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Norma de desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, Renata de Oliveira; SILVA, Anaísa Rocha Lima Fernandes da. Portal R3e: do desktop ao smartphone. In: SEMANA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E CULTURA (CIENTEC), 2015, Natal. **Pôster.**

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Procel Info.** Disponível em:<www.procelinfo.com.br>. Acesso em 12 abr. 2016

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências: Diário Oficial da União - Seção 1 - 18/10/2001, Página 1 2001.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa n° 2 de 04 de jun. de 2014.** Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Diário Oficial da União, 05 de junho de 2014, Seção 1.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA; GRUPO TÉCNICO EDIFICAÇÕES DO MME; SECRETARIA DO GRUPO TÉCNICO DE EDIFICAÇÕES – GT EDIFICAÇÕES; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, N. E. Q. I.; ELETROBRÁS/PROCEL; EQUIPE DO PROCEL EDIFICA; LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE – UFSC. **RTQ-C.** Regulamento Técnico Da Qualidade Do Nível De Eficiência Energética De Edifícios Comerciais, De Serviços E Públicos, 2009.

_____. **RTQ-R.** Regulamento Técnico Da Qualidade Do Nível De Eficiência Energética De Edifícios Residenciais, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Florianópolis, 2014.

PROCEL EDIFICA; PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **PBE Edifica.** Disponível em:<www.pbeedifica.com.br>. Acesso em 12 abr. 2016.

REDE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**. Portal R3e.** Disponível em:<www.portalr3e.com.br>. Acesso em 12 abr. 2016.

REDE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**. Catálogo R3e.** Disponível em:<http://socrates.ct.ufrn.br/catalogor3e/>. Acesso em 14 abr. 2016.

RODRIGUES, C. O. M. et al. **Portal R3e como ferramenta indutora e disseminadora de eficiência energética em edificações**. In: Anais... XXIII Seminário Nacional De Produção E Transmissão De Energia Elétrica (SNPTEE), 2015, Foz do Iguaçu.

WIX.COM, INC. **Wix.** Disponível em: <pt.wix.com>. Acesso em: 25 abr. 2016.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FECHAMENTOS VERTICAIS DURANTE O PROCESSO DE PROJETO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO[1]

SILVA, Marcela (1); PEDRINI, Aldomar (2); GOULART, Solange (3)

(1) UFRN, e-mail: marcelamgermano@gmail.com; (2) UFRN, e-mail: apedrini@ufrnet.br; (3) UFRN, e-mail: aasolange@hotmail.com

RESUMO

O desempenho térmico da envoltória de habitações sustentáveis naturalmente ventiladas determina e influencia a abrangência do seu impacto ambiental. Este artigo aborda a integração do processo de concepção projetual à otimização do desempenho térmico, a partir do dimensionamento das áreas correspondentes aos ganhos térmicos por radiação solar e às perdas de calor por renovação de ar. Tem como objetivo quantificar as áreas transparentes e as áreas permeáveis da envoltória visando o conforto térmico durante todo ano de uma habitação localizada na cidade do Natal. O método é composto por três abordagens principais: determinação das estratégias bioclimáticas na etapa de concepção projetual; simulações do desempenho térmico da habitação; tratamento e análise dos resultados a partir do número de ocorrências das horas em conforto térmico. As simulações dão respaldo à evolução do partido arquitetônico ao quantificar a influência dos aspectos da envoltória no conforto térmico. Esta avaliação contribuirá para a futura elaboração de recomendações projetuais, viabilidade das alternativas e potenciais aplicações.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitação. Conforto Térmico.

ABSTRACT

The thermal performance of naturally ventilated sustainable dwelling envelope determines and influences the scope of its environmental impact. This article discusses the integration of design process in order to optimize the thermal performance, from the design of the corresponding areas to the thermal benefits obtained from the solar radiation and heat loss form the air renewal. It aims to quantify the transparent areas and permeable areas of the surface area having as a goal thermal comfort all year long of a housing located in the city of Natal. The method consists of three main approaches: determining the bioclimatic design strategies; simulations of the thermal performance; processing and analysis of results of the aspects of thermal comfort. The simulations support the development of the architectural side in order to quantify the environmental impact of housing. This will contribute to the future development of projective recommendations, feasibility of alternatives and potential applications.

[1] SILVA, Marcela; PEDRINI, Aldomar; GOULART, Solange. Otimização do desempenho térmico de fechamentos verticais durante o processo de projeto de uma habitação de baixo impacto ambiental em clima quente e úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

Keywords: *Thermal Performance. Dwellings. Thermal Comfort.*

1 INTRODUÇÃO

Esse artigo aborda a otimização do desempenho térmico da envoltória de uma habitação que tem como premissa o baixo impacto ambiental, da concepção do projeto ao detalhamento da envoltória (áreas transparentes e/ou permeáveis, cores externas e formas de uso).

A habitação de baixo impacto ambiental abordada é um projeto piloto no contexto das pesquisas realizadas pelo Labcon-UFRN, com rebatimento no ensino e na extensão, que visa difundir práticas apropriadas para o clima quente e úmido (GERMANO *et al.*, 2014). O projeto foi denominado HABT0 em referência às mudanças de hábitos dos ocupantes necessárias para que realmente tenha um impacto ambiental diferenciado do usual, a começar pelo programa de necessidades enxuto.

Os principais aspectos programáticos correspondem à necessidade do casal de proprietários, metas de desempenho e conforto ambiental, compatibilização com as pesquisas desenvolvidas pelo LabCon-UFRN, recursos financeiros disponíveis, condicionantes ambientais bioclimáticas, análise e integração com o entorno, competências profissionais acessíveis, promoção de saúde aos proprietários, processo projetual e construtivo integrado, estratégias de gestão da água, resíduos e energia.

Um dos aspectos a ser explorado no desenvolvimento da Habt0 é a otimização do desempenho térmico dos fechamentos verticais, tendo em vista que arquitetura deve ser tratada como uma envoltória reguladora, permeável e controlada entre os ambientes externo e interno (CEF, 2010).

Considerando-se o desempenho térmico da edificação por meio de soluções adotadas em projeto visando propiciar maior conforto térmico, a definição de alguns fatores é determinante. Itens como: orientação solar para minimização de ganhos solares indesejáveis, disposição das aberturas em relação aos ventos dominantes, dimensionamento de abertura de ventilação e iluminação natural e dos materiais de construção levando o clima local contribuirão para melhorar o conforto ambiental e, consequentemente, para a racionalização no uso de equipamentos para climatização destes ambientes e na redução do consumo energético.

Entre as características solicitadas pelos proprietários tem-se uma construção modular leve, em madeira, pré-fabricada, com envoltória flexível que possibilite uma melhor integração com o entorno.

Nesse artigo são descritas as características que levaram à concepção do partido e os procedimentos de determinação das características principais dos fechamentos verticais para obtenção do conforto térmico de modo passivo.

2 OBJETIVO

O objetivo é quantificar as áreas transparentes e as áreas permeáveis da

envoltória para que a habitação possa proporcionar conforto térmico durante todo ano. As áreas transparentes correspondem aos ganhos térmicos por radiação solar e as áreas permeáveis correspondem as perdas de calor por renovação de ar. A quantificação das áreas está integrada ao desenvolvimento do projeto arquitetônico: ocorre após a concepção da implantação e volumetria baseadas em diretrizes. Nessa abordagem, a edificação ainda tem caráter de esboço quanto às soluções estéticas da envoltória.

3 MÉTODO

O método consiste de três abordagens principais: concepção de projeto por meio de estratégias bioclimáticas; simulações do desempenho térmico da habitação; e tratamento dos resultados com a análise das ocorrências de conforto térmico.

3.1 Concepção do projeto

O projeto é concebido a partir das estratégias bioclimáticas e recomendações de condicionamento passivo (OLGYAY E OLGYAY, 1957; OLGYAY, 1963; SZOKOLAY, 2004; ABNT, 2005; 2008; PACHECO, 2016) para o sítio (Figura 1). O clima de Natal é predominantemente confortável, sendo que o desconforto ao frio não é suficiente para incentivar estratégias de aquecimento passivo, e o desconforto ao calor pode ser resolvido com o movimento de ar. O princípio para obter conforto térmico é evitar a entrada da radiação solar ou geração de carga térmica interior que exija resfriamento (ativo). Além disso, gerar potencial de ventilação para mover o ar internamente e remover o calor interno por renovação, na tentativa de proporcionar condições internas similares ao do exterior, porém sem radiação térmica. Em síntese, as recomendações são sombrear e ventilar.

Figura 1. Localização do terreno



Fonte: Adaptado de (Google, 2016)

O rebatimento em soluções arquitetônicas implica em volume largo e pouco profundo com implantação das maiores fachadas para o Norte e Sul. Para a solução das recomendações bioclimáticas, consideram-se os benefícios da incidência solar mais tangencial do que a de topo (como no caso Leste e Oeste) para inserir elementos de sombreamento que não comprometam a integração e contato visual entre o interior e o exterior, e que possibilitem

uma fração de céu visível suficiente para o uso de luz natural. Também há o favorecimento do potencial de ventilação por diferença de pressão, uma vez que a incidência de vento varia entre o Leste e o Sul. Os elementos de sombreamento são pré-dimensionados por meio do programa Sun Tool (MARSH, 2001). O programa permite verificar se o tipo e forma dos protetores são adequados e otimizados para o sombreamento desejado.

3.2 Simulações térmicas

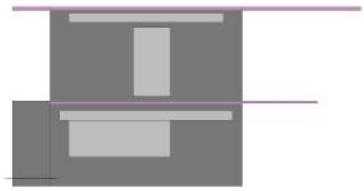
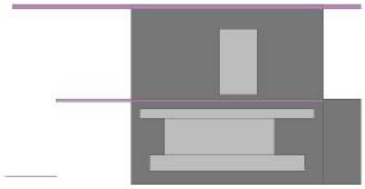
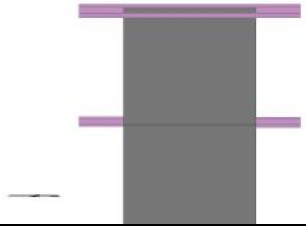
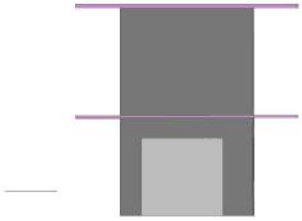
A segunda abordagem consiste na simulação do caso base e suas variações para a análise paramétrica dos fatores relacionados aos ganhos de calor por radiação solar e a remoção do calor por meio da ventilação natural. As simulações são realizadas no programa DesignBuilder 3.4.0.041 (DesignBuilder Software, 2006) com o arquivo climático de 2009 (RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA, 2014). O programa permite simular as condições de temperatura interna a partir dos materiais e sistemas construtivos, assim como condições de usa da edificação.

3.2.1 Caso base

O caso base é modelado e simulado de acordo com as características da Tabela 1, com rotinas de ocupação estipuladas pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA *et al.*, 2011).

Tabela 1. Características do caso base

Item	**Descrição**	
Ambientes	Sala, cozinha, quarto e banheiro.	
Ocupação	Número de ocupantes	2 pessoas
	Densidade	Densidade – 0,01 pessoas/m²
	Taxa metabólica	108W - sentado ou assistindo TV (COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, GRUPO TÉCNICO EDIFICAÇÕES DO MME *et al.*, 2011)
	Carga interna equipamentos	1,5W/m² (Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, Grupo Técnico Edificações do MME et al., 2011) – rotina de uso: 24h
	Carga interna iluminação natural	Densidade de Potência Instalada – 5W/m² (Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, Grupo Técnico Edificações do MME et al., 2011)
Sistemas construtivos	Fechamento vertical	Fechamento em painel modulado de madeira de 1,5cm de espessura, com transmitância térmica de 2,985 W/m².K (ABNT NBR 15220, 2005) e absortância de 0,7 (SCHAEFER, 2014)
	Cobertura	Cobertura em telha branca termo acústica com transmitância térmica de 0,787 W/m².K (ABNT NBR 15220, 2005) e absortância de 0,1 (SCHAEFER, 2014)

	Piso	Piso elevado em madeira de 2,0cm de espessura com transmitância térmica de 1,95 W/m².K (ABNT NBR 15220, 2005) e absortância de 0,30 (SCHAEFER, 2014)
Aberturas	Fachada Norte 	Pav. Térreo com aberturas sombreadas a protetor solar horizontal de 1,20m de profundidade com baixa refletividade: (1) 1,478m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta; (2) esquadria em madeira e vidro simples 3mm com 3,796 m² e área efetiva de ventilação de 100%; (3) Abertura superior em bandeira de luz com 1,716 m², e área efetiva de ventilação de 50%; Pav. Superior com abertura sombreada o beiral de 1,20m de profundidade: (4) 1,478m² e 2,598m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta.
	Fachada Sul 	Pav. Térreo com aberturas sombreadas a protetor solar horizontal de 1,20m de profundidade com baixa refletividade: (1) 2,502m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta; (2) esquadria em madeira e vidro simples 3mm com 4,136 m² e área efetiva de ventilação de 100% – rotina de uso: 50% do tempo aberta; (3) Abertura superior em bandeira de luz com 1,632 m², e área efetiva de ventilação de 50%; Pav. Superior com abertura sombreada o beiral de 1,20m de profundidade: (4) 2,523m² de veneziana (vent) – rotina de uso: sempre aberta.
	Fachada Leste 	Sem abertura
	Fachada Oeste 	Pav. Térreo com aberturas sombreadas a protetor solar horizontal de 2,40m de profundidade com baixa refletividade: Esquadria de madeira e vidro simples 3mm com 4,611 m² e área efetiva de ventilação de 100% – rotina de uso: sempre aberta.

Fonte: Os autores

Desconsidera-se o sombreamento que pode ser obtido por meio do paisagismo no futuro, e a correção da velocidade e direção do vento porque a edificação não está na esteira de vento de outra edificação. Não

houve necessidade de corrigir a temperatura do solo porque a edificação está elevada 80 cm. Para tanto, o modelo foi deslocado em 80cm acima do zero no eixo Z do programa.

3.2.2 Alternativas

Os procedimentos de análise do impacto das alternativas se iniciam com a **análise de impacto da cor externa**. Trata-se de uma característica e definição em aberto que impacta na absorção pelos fechamentos opacos de radiação solar. Foram analisadas absortâncias de 0,3 (caso A1), 0,5 (caso A2) e 0,7 (caso A3), sem aberturas e com infiltração de 5 trocas por hora, para destacar o impacto da absortância.

A questão das **aberturas permeáveis** à ventilação no projeto também está aberta no partido e por isso foram realizadas simulações exploratórias prévias. Estas demonstraram que poucas variações de aberturas são suficientes para identificar seu impacto. As aberturas permeáveis ao vento são consideradas opacas, à exemplo das venezianas regionais conhecidas como o tabicão (Figura 2). As trocas de ar são calculadas a cada hora por meio do EnergyPlus Airflow Network (GU, 2007), que considera o período e a fração permeável da abertura, o setpoint de abertura, dimensões, coeficiente de descarga e coeficiente de pressão de acordo com o ângulo de incidência do vento.

A quantidade de tabicões varia quanto à:

- Localização na fachada: inferior na fachada Sul e superior na fachada Norte (caso B1)
- Orientação: em todas as fachadas (caso B2)
- Quantidade: com todas as áreas de tabicão dobradas (caso B3).

Foram considerados os modelos sem carga interna e sem áreas transparentes para destacar o impacto da ventilação.

Figura 2 – Exemplo de esquadria com Tabicão



Fonte: http://www.madeireiramaraponga.com.br/janelas.html

O partido também não apresenta uma definição estética quanto às áreas transparentes, desde que proporcionem luz natural e interação com o exterior. Nas simulações foram considerados:

- Modelagem de aberturas que abrem: foi considerada a limitação do programa que, ao abrir uma porta ou janela, não considera o ganho térmico de radiação térmica porque o programa considera a abertura opaca[2] (mesmo aberta) à radiação e transparente somente à ventilação. Portas ou janelas que abrem devem ser transparentes para garantir que haverá ganho de radiação solar, sendo que é importante considerar uma rotina para prever sombreamento na abertura quando aberta, a exemplo da porta voltada para Oeste.
- Impacto das aberturas envidraçadas: quando as áreas envidraçadas abrem, há grande aumento da ventilação, fazendo com que as temperaturas internas e externas tendem a se igualar, sendo que o desconforto por calor é decorrente da temperatura radiante média.
- Adição de áreas transparentes:
    1. A partir de modelos sem áreas transparentes e com ventilação proporcionada por tabicões no Sul e no Norte com área de ventilação efetiva de 100% (caso B4) e com área de ventilação efetiva de 50% (caso B5);
    2. Colocação de três módulos transparentes (mantendo o guarda corpo opaco) para o Sul e três para o Norte somente no pavimento térreo, e dois totalmente abertos para o mezanino, sem acionamento do sombreamento (caso B6);
    3. Modelagem de um protetor externo vertical tipo retrátil nas aberturas envidraçadas: quando a radiação solar supera 120 W/m² (caso B7).

O impacto do **sombreamento** é analisado como procedimento final para justificar a preservação dos protetores pensados durante o partido, em condições de ventilação (caso C1) e sem ventilação natural (caso C2).

3.3 Critérios de análise

Os resultados são analisados quanto ao percentual de horas em conforto térmico no ambiente integrado sala/cozinha/quarto. Foi utilizado o método adaptativo (SPAGNOLO E DE DEAR, 2003) integrado à ventilação natural (NEGREIROS, 2010)[3], e atualizado com as proposições para a norma de conforto térmico brasileira (LAMBERTS *et al.*, 2013), que considera velocidade do ar interna[4] de 1,2 m/s (obtida naturalmente ou por ventilador de teto). São quantificadas as ocorrências de desconforto ao frio, conforto, conforto obtido por movimento de ar, e desconforto ao calor a cada hora, conforme

[2] Testado no modelo.

[3] Para a determinação das condições de conforto considerou-se um incremento de ± 3,5°C para a definição dos limites superior e inferior da zona de conforto – equivalente a 80% dos usuários em conforto – e uma velocidade do ar de 1,2 m/s, que estabelece o limite superior da zona de conforto com movimentação de ar em 2,2°C acima do limite da zona de conforto.

[4] De acordo com Lamberts (2013), se a temperatura operativa é maior que 25°C, então permite-se um incremento de até 2,2°C para velocidade de 1,2m/s.

apresentado nos gráficos 1, 2, 3 e 4.

Os resultados são apresentados em termos de ocorrência de conforto térmico, conforto térmico com movimento de ar, desconforto ao frio e ao calor, comparados ao do clima externo.

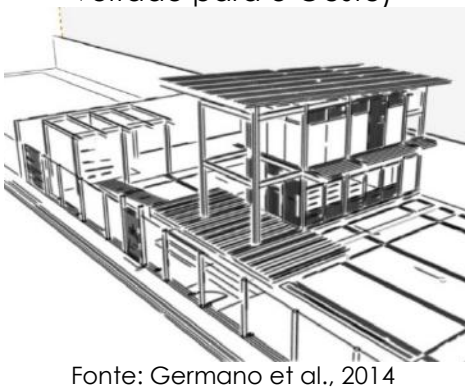
Foram realizadas análises complementares que empregam gráficos horários do DesignBuilder para análises combinadas específicas. Renovação de ar para avaliar o impacto das aberturas na ventilação natural. Temperatura de bulbo seco do ar para avaliar as mudanças de temperaturas, mais influenciadas pela renovação de ar. Temperatura radiante média para avaliar o impacto das aberturas transparentes e da absortância térmica do exterior, que impactam mais no aquecimento das superfícies.

4 RESULTADOS

4.1 Descrição do partido arquitetônico

O partido consiste de um bloco com maiores fachadas para Norte e Sul, coberta com uma única água com longos beirais (Figura 3). É composto por ambientes integrados entre sala, cozinha e quarto (no mezanino), e um banheiro no térreo, além das áreas de serviço e varanda (Figura 4 e Figura 5). Sua área construtiva total é de 43,50m².

Figura 3. Esboço do partido (testada maior do terreno voltado para o Oeste)



Fonte: Germano et al., 2014

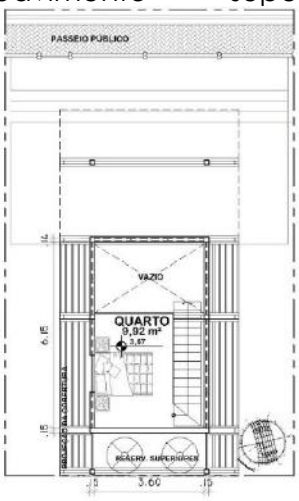
Figura 4. Planta baixa térreo



PLANTA TÉRREO

Fonte: Germano et al., 2014

Figura 5. Planta pavimento superior



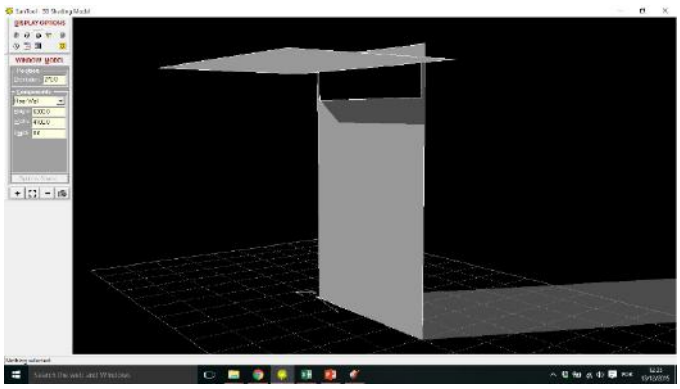
PAVTO. SUPERIOR

Fonte: Germano et al., 2014

A cobertura apresenta grandes beirais, formado por telha sanduíche metálica termo acústica na cor branca. O sistema construtivo da coberta é leve, e necessita de reduzido sistema estrutural. Integrado a este, os protetores solares laterais são empregados nas fachadas Norte e Sul, ao longo de toda sua extensão. Os elementos de sombreamento, beirais (Figura 6 e Figura 7) e protetores solares, modelados por meio do programa Sun Tool

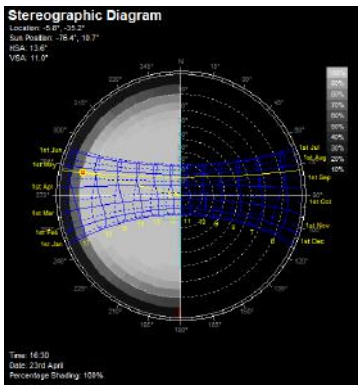
(MARSH, 2001), demonstra seu desempenho e influência no conforto térmico. Nessa fachada, há 100% de sombreamento ao longo de todo o ano até as 16h30, podendo chegar até as 17h nos meses de verão.

Figura 6. Sombreamento do beiral da fachada Oeste (23 de abril, 16h30)



Fonte: Os autores

Figura 7. Diagrama solar da fachada Oeste (23 de abril, 16h30)



Fonte: Os autores

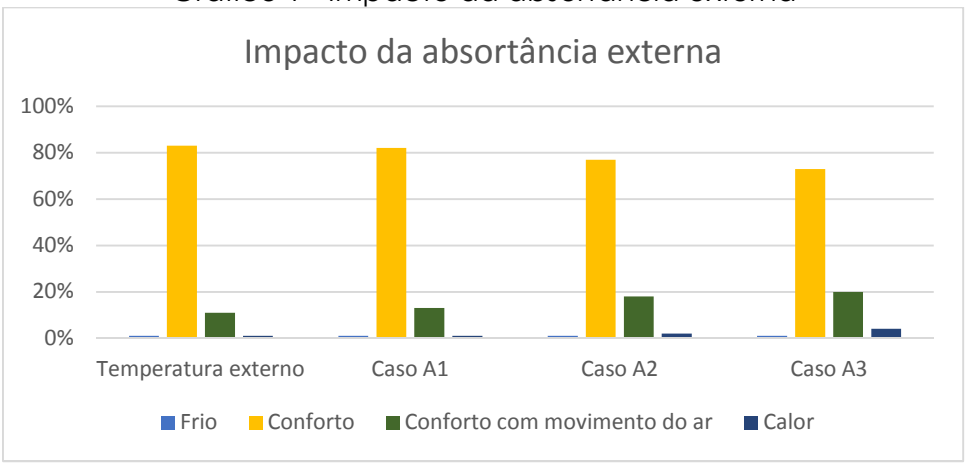
A elevação da habitação com relação ao solo aumenta a exposição do volume à ventilação natural, permite o acesso à manutenção de instalações, diminui o impacto ao terreno local, preserva a madeira e protege o sistema construtivo escolhido da umidade natural do solo.

4.2 Análise de impacto da cor externa

As análises começam pela absortância, seguida de áreas permeáveis, transparentes e sombreamento.

Absortância de 30% é suficiente para aproximar os valores de temperatura interna com os de temperatura externa (clima externo), enquanto que o aumento da absortância impacta na maior necessidade de movimento do ar para remoção do calor a fim de proporcionar o conforto, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 - Impacto da absortância externa

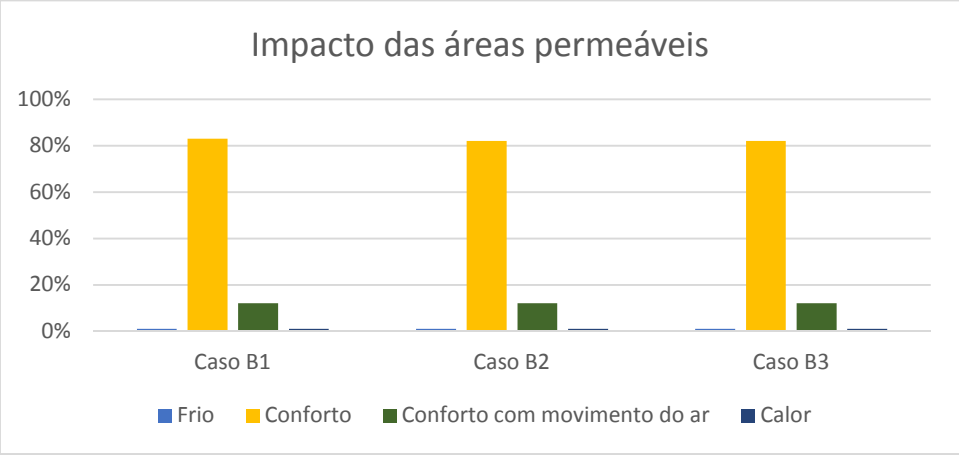


Fonte: Os autores

4.2.1 Análise das aberturas permeáveis

A área permeável pensada inicialmente, com tabicões na parte de baixo da fachada Sul para entrada de ar, e tabicões ao alto da fachada Norte para a saída de ar, são suficientes para aproximar as condições de ar interna da externa (Gráfico 2[5]). O motivo é o alto potencial de ventilação, que facilmente atinge 100 renovações/h, com exceção dos períodos de calmaria, como no início da manhã. O aumento de áreas permeáveis pode se justificar se houver maior carga interna de calor do que o previsto. Na prática, basta abrir as janelas.

Gráfico 2 - Impacto das áreas permeáveis



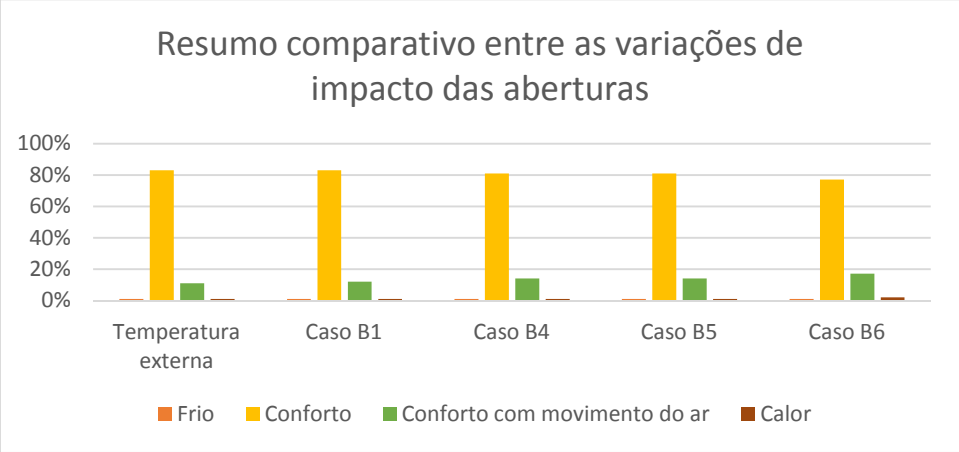
Fonte: Os autores

Conforme Gráfico 3[6], as bandeiras de luz pouco impactam no conforto térmico, justificando seu uso. Ao aumentar as áreas envidraçadas, há um aumento de 4% de horas de conforto com movimento de ar, e aumento de 1% para 2% de ocorrência de desconforto por calor. A presença de um protetor externo quando a radiação solar supera 120 W/m² diminui a carga térmica e aumenta a ocorrência de conforto de 77% para 79%, e o desconforto por calor cai de 2 para 1%, demonstrando sua eficácia.

[5] O caso B1 representa o caso base corrigido com porta para Oeste sem isolamento, sem carga interna

[6] O caso B1 representa o caso base corrigido com porta que não abre

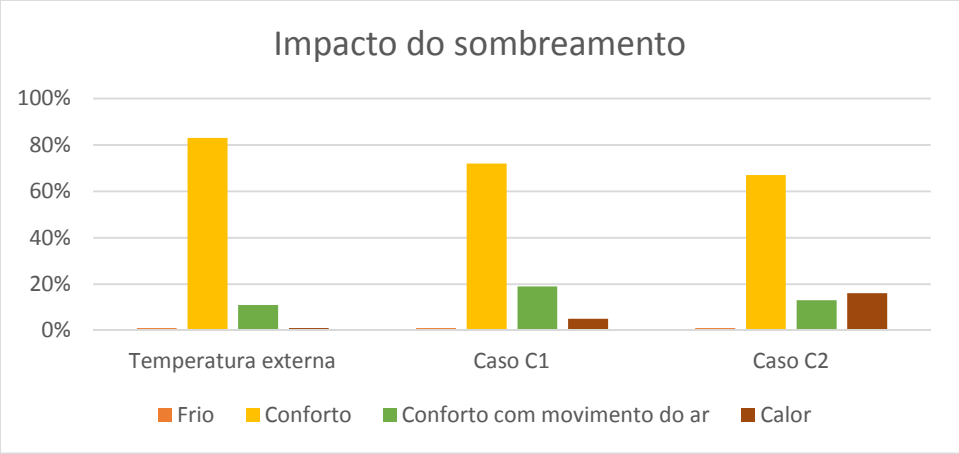
Gráfico 3 - Resumo comparativo entre as variações de impacto das aberturas



Fonte: Os autores

A influência do sombreamento na temperatura do ar é pequena quando há muita ventilação natural. Na ausência de sombreamento, o desconforto por calor aumenta para 5% enquanto houver ventilação. Entretanto, ao eliminar a ventilação, o desconforto por calor aumenta para 16% (Gráfico).

Gráfico 4 - Impacto do sombreamento



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

As simulações se mostraram úteis para dar continuidade ao desenvolvimento do partido arquitetônico ao quantificar o impacto das principais características ainda indefinidas. Foram descartadas as cores escuras de madeiras brasileiras, a necessidade de muita área de tabicão (que é caro) e o uso de muita transparência quando fechada, além de confirmar a importância do sombreamento, conforme Figura 8.

Foi demonstrado o desempenho satisfatório das áreas permeáveis originais do projeto arquitetônico, indicando a eficiência da envoltória e o potencial de ventilação da implantação. A inserção de áreas transparentes impacta pouco desde que haja movimento de ar, facilmente garantido pelos tabicões e aberturas das janelas existentes.

Figura 8. Partido após as simulações



Fonte: Germano et al., 2014

AGRADECIMENTOS

Ao CAPES pela Bolsa de Mestrado, ao Laboratório e ao Programa de Pós-Graduação, pelo apoio.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Desempenho térmico de edificações**. RIO DE JANEIRO: ABNT. NBR15220**:** 66 p. 2005.

_____. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas**. Parte 4: Sistemas de vedações verticias externas e internas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR15575-1:2008**:** 58 p. 2008.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, CEF. **Selo Casa Azul**: Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável. São Paulo: Páginas & Letras – Editora e Gráfica, 2010.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA; GRUPO TÉCNICO EDIFICAÇÕES DO MME; SECRETARIA DO GRUPO TÉCNICO DE EDIFICAÇÕES – GT EDIFICAÇÕES; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, N. E. Q. I.; ELETROBRÁS/PROCEL; EQUIPE DO PROCEL EDIFICA; LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE – UFSC. **RTQ-R**. REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS 2011.

DESIGNBUILDER SOFTWARE, L., Ed. **DesignBuilder 1.2 User Manual**, p.363ed. 2006.

GERMANO, M. D. M.; RUCK, A.; OVÍDIO, C.; PACHECO, G.; OLIVEIRA, R. **Habt0, projeto de habitação tropical de energia zero**. Natal: LabCon 2014.

GOOGLE. Google Earth. 2016. Acesso em: fevereiro.

Gu, Lixing. **Airflow Network Modeling in EnergyPlus**. 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition on September 3-6, 2007 in Beijing, China

LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C.; DEAR, R. D.; VECCHI, R. D. **Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort**. Research Report. Florianópolis**:** 123 p. 2013.

LIGGETT, R.; MILNE, M.; GOMEZ, C.; LEEPER, D.; BENSON, A.; BHATTACHARYA, Y. **Climate Consultant 6**. California, Los Angeles: Murray Milne 2016.

MARSH, A. **SUNTOOL v1.10 - Window Shading and Overshadowing**. Perth (Australia) 2001.

NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. 2010. (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLGYAY, A.; OLGYAY, V. **Solar control & shading devices**. Princeton: Princeton University Press, 1957. 201p.

OLGYAY, V. **Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1963. 190.

OLIVEIRA, B. L. F.; PEDRINI, A.; PINTO, E. M. Análise multicritério de duas edificações de madeira em Natal/RN. XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2016, Curitiba. 09 a 11 de março.

PACHECO, G. H. S. **DETERMINAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES BIOCLIMÁTICAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL DE QUATRO CLIMAS DO RIO GRANDE DO NORTE**. 2016. (mestrado). PPGAU, UFRN, Natal.

RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA. Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros. São Carlos - SP, 2014. Disponível em: < http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: outubro.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment,** v. 38, n. 5, p. 721-738, MAY 2003. Disponível em: < <Go to ISI>://000181570400010 >.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Bullington, Great Britain: Architectural Press, 2004. 328 ISBN 0750658495.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM SALA DE ESTUDOS: APLICABILIDADE DOS MODELOS ESTÁTICO E ADAPTATIVO COMPARADOS AOS DADOS COMPORTAMENTAIS DO USUÁRIO[1]

FINGER, Felipe (1); GOEDERT, Gabriela (2); MELO, Natália R. (3)

(1) UFSC, e-mail: felipefinger@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: gabrielasgoedert@gmail.com; (3) UFSC, e-mail: nataliarosa.arquitetura@gmail.com

RESUMO

Os estudos de conforto térmico visam estabelecer métodos de avaliação e aplicação das condições necessárias para um ambiente se adequar termicamente às atividades e à ocupação humana, visando produtividade e conforto. O objetivo desta pesquisa é avaliar as condições de conforto térmico em uma sala ocupada, naturalmente ventilada, considerando tanto as preferências subjetivas dos usuários, como as variáveis ambientais obtidas em medições. Propõe-se uma comparação entre os modelos estático e adaptativo com os resultados dos dados subjetivos, obtidos através da aplicação de questionários, a fim de discorrer sobre a aplicabilidade destes métodos e modelos. Nos resultados finais obtidos, o modelo adaptativo apresentou a condição de conforto e o modelo estático apresentou um PPD igual a 16%. É possível verificar através da análise, que o modelo adaptativo obtém resultados mais coerentes com os dados subjetivos dos questionários, considerando a faixa de aceitabilidade e possibilidade de adaptação do usuário. O modelo estático apresentou discrepâncias a serem consideradas, principalmente por indicar desconforto por frio enquanto os questionários sinalizavam desconforto por calor. Pode-se verificar, contudo, que os limites estabelecidos por este modelo são mais restritivos e específicos, onde qualquer alteração nas variáveis reflete em mudanças significativas nos resultados calculados.

Palavras-chave: Conforto térmico. Usuário. Medição.

ABSTRACT

Studies of thermal comfort are designed to establish methods of evaluation and implementation of the necessary conditions for an environment fit thermally the activities and human occupation, aiming at productivity and comfort. The objective of this research is to assess the conditions for thermal comfort in an occupied room, considering both the subjective preferences of users, such as environmental variables obtained in measurements. It proposes a comparison between the static and adaptive models, with the results of the subjective data, obtained from the questionnaires, in order to discuss the applicability of these methods and models. In the results, the adaptive model showed the condition of comfort and the static model had a PPD equal to 16%. It is possible to verify through the analysis, that the adaptive model gets results that are more consistent with the subjective data from the questionnaires, considering the range of acceptability and possibility of user

[1] FINGER, Felipe; GOEDERT, Gabriela; MELO, Natália R.. Avaliação das condições de conforto térmico em sala de estudos: aplicabilidade dos modelos estático e adaptativo comparados aos dados comportamentais de preferência do usuário. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

adaptation. The static model presented discrepancies to be considered, especially for indicating cold discomfort, while the questionnaires signaled heat discomfort. It can be seen, however, that the limits established by this model are more restrictive and specific, where any change in the variables just reflect significant changes in the calculated results.

Keywords: *Thermal comfort. Users. Measurement.*

1 INTRODUÇÃO

Cerca de 90% da nossa existência transcorre dentro de espaços fechados que abrigam as diversas funções diárias, entre elas a de trabalhar e habitar. Segundo Freixanet (2000), é importante que o ambiente tenha condições ambientais apropriadas, permitindo o desenvolvimento das atividades dos usuários de modo produtivo e confortável. Em diferentes tipos de projeto é muito comum encontrar falhas que comprometem a funcionalidade, os modos de ocupação e o conforto do usuário. Utilização indevida de materiais e aberturas, má orientação quanto aos ventos e radiação solar, ausência de tratamento em fachadas, más condições de iluminação, entre outros fatores, podem implicar no mau desempenho do edifício, queda de produtividade e gastos desnecessários com energia elétrica e equipamentos de climatização artificial.

Os estudos aprofundados em conforto térmico visam auxiliar no projeto e estabelecer métodos de avaliação das condições necessárias para um ambiente se adequar termicamente às atividades e ocupação humana, baseados principalmente na busca pela satisfação do homem com o ambiente e no desempenho de suas atividades. De acordo com Hertz (1998), uma das principais funções do ambiente construído consiste em aproveitar as condições climáticas de seu local de inserção, a fim de amenizar "as condições negativas e aproveitar os aspectos positivos" do clima. Outrossim, Frota e Schiffer (2003) afirmam que a adequação da arquitetura ao local significa a construção de espaços confortáveis, cabendo a arquitetura "(...) tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como as de excessiva radiação solar, calor, frio ou vento, quanto propiciar ambientes, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos".

Diversos estudos sobre o tema demonstram o anseio por ambientes mais adequados para ocupação, novos parâmetros e níveis de satisfação. Dois modelos, que possuem abordagens distintas de como tratar o meio e o homem, são utilizados na estruturação dessas pesquisas. O modelo estático considera que o homem é apenas um agente passivo nas trocas térmicas do ambiente, e é baseado no “voto médio predito” – PMV (FANGER,1970). Já o modelo adaptativo, por sua vez, reconhece o usuário como agente ativo que interage com o ambiente conforme suas preferências térmicas (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

Nesse contexto, o presente artigo consiste na avaliação das condições térmicas de um ambiente real quanto aos níveis de conforto do usuário, através da comparação dos dados analíticos e subjetivos, obtidos por meio de medições ambientais e aplicação de questionários, respectivamente.

Comparou-se os resultados aplicados aos modelos estático e adaptativo, com as respostas dos usuários, a fim de discorrer sobre a aplicabilidade dos modelos e avaliar o ambiente termicamente.

3 MÉTODO

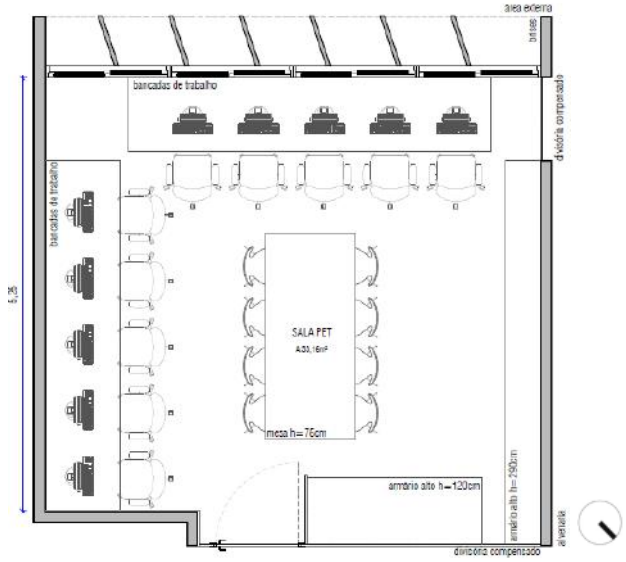
O ambiente escolhido para análise foi a sala do Programa de Educação Tutorial (PET), apresentando medidas de 5,25m x 6,00m, totalizando uma área de 33,16m², localizada na porção sudoeste no terceiro andar do edifício do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 01). Através de registros fotográficos, diálogos com os usuários, desenhos e anotações, pode-se obter a disposição do layout da sala, bem como os materiais e os modos de ocupação e utilização do espaço (Figura 02). A sala possui três de suas superfícies verticais voltadas para o interior do edifício, e uma voltada para o exterior, onde nesta última estão as aberturas que totalizam uma área de 7,2 m². Em decorrência de um padrão arquitetônico, estas aberturas possuem brises inclinados e estão voltadas para um pátio externo, situado entre os dois blocos do departamento.

Figura 01 - Em destaque, localização da sala em análise, no prédio do departamento de Engenharia Civil – UFSC



Fonte: Os autores.

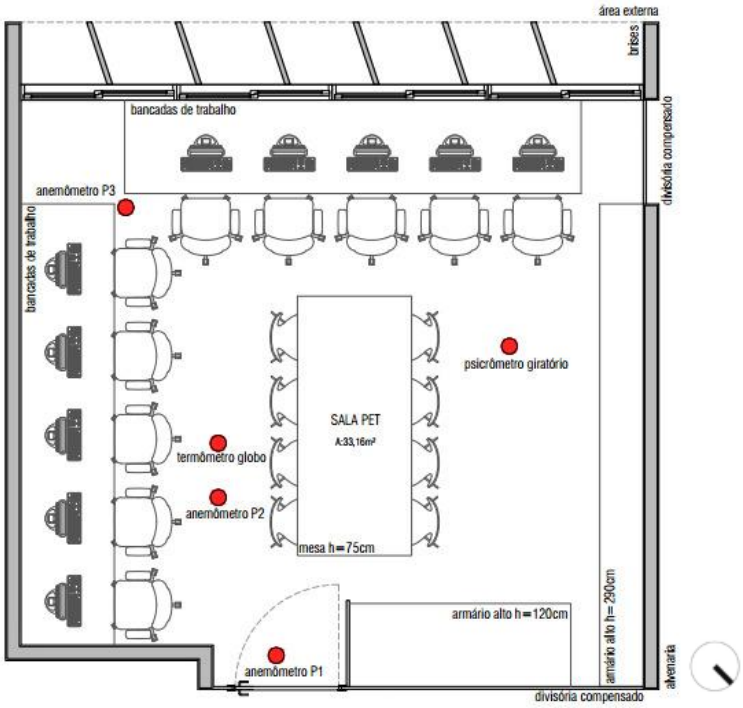
Figura 02 - Planta Baixa do ambiente em análise



Fonte: Os autores.

Após a constatação da homogeneidade do ambiente, conhecido o próprio e sua dinâmica de ocupação, foram feitas medições nos períodos da manhã e da tarde, no dia 14 de agosto de 2015. Antes de iniciadas as medições foram realizados procedimentos de testes dos instrumentos de medição e mantidas as configurações normais de uso da sala: algumas janelas e a porta estavam abertas, bem como os usuários do ambiente em seus postos de trabalho, realizando suas tarefas normalmente. As variáveis ambientais e o posicionamento dos instrumentos de medição seguiram as recomendações do projeto de norma brasileira de conforto térmico de Lamberts et al. (2013), e ISO7726 (1998), que regulamenta os instrumentos e métodos para a medição dos parâmetros físicos. (Figura 03).

Figura 03 - Destaque para o posicionamento dos instrumentos para medição



Fonte: Os autores.

Com o uso do instrumento psicrômetro giratório, obteve-se os valores de temperatura do ar, também chamada de temperatura de bulbo seco. Foram feitos giros de um minuto a cada 20 minutos, tendo sido feita a leitura com o instrumento à 90º. A temperatura de globo foi obtida através do instrumento termômetro de globo, onde aplicada em fórmulas normatizadas obtêm-se a temperatura radiante média. As leituras foram realizadas de 5 em 5 minutos, durante 1 hora e 20 minutos. A medição da velocidade do ar foi realizada com o instrumento anemômetro digital e seu posicionamento foi influenciado pela principal corrente de ar do ambiente. Também foram registradas as temperaturas das superfícies das paredes, piso e teto, com o auxílio de um radiômetro infravermelho. Obtidos os dados das medições, foram calculados outros resultados, como por exemplo a umidade relativa do ar, a temperatura operativa, e a já mencionada temperatura radiante média.

Paralelamente às medições das variáveis ambientais, aplicaram-se questionários aos usuários, atendendo às orientações do projeto de norma brasileira de Lamberts et al. (2013). A aplicação dos questionários aos usuários teve ocorrência de 20 em 20 minutos, buscando avaliar a sensação térmica dos ocupantes com base na escala de sete pontos da ASHRAE 55 (2013) que leva em consideração os níveis de "muito quente" a "muito frio". No período da manhã, obteve-se a participação de 5 pessoas, totalizando 25 votos, já no período da tarde, participaram 8 estudantes, totalizando 40 votos de preferência (Figura 04). Além de considerar os votos obtidos através de questionários, com o auxílio de câmera digital e anotações, estimou-se as taxas metabólicas dos ocupantes (met) e o valor de isolamento das vestimentas (clo) com base nas tabelas disponibilizadas nos anexos A e B de Lamberts et al. (2013), fato importante para a precisão dos resultados encontrados. Houve predominância de usuários do sexo feminino, as roupas eram leves, com aproximadamente 0,5 Clo (referente à calça e camisa de manga curta) e a maioria das atividades desempenhadas foram relacionadas à digitação e uso do computador (1,1 met).

Figura 04 - Fotos do ambiente durante a aplicação dos questionários, manhã e tarde respectivamente



Fonte: Autores.

Para análise dos dados e discussão dos resultados, foram aplicados os modelos estático e adaptativo. Para determinar os índices de conforto do modelo estático, utilizou-se a ferramenta online Comfort Tool, da Universidade de Berkeley, que plota em gráficos os dados de PMV e PPD. Por fim, pode-se obter resultados comparativos e conclusivos da aplicação dos modelos e satisfação dos usuários.

4 RESULTADOS

4.1 Variáveis Ambientais

Os dados obtidos das variáveis ambientais foram transcritos para uma tabela síntese (Tabelas 01 e 02), que concentra todos os valores obtidos de cada variável nas medições de um mesmo período, possibilitando análise

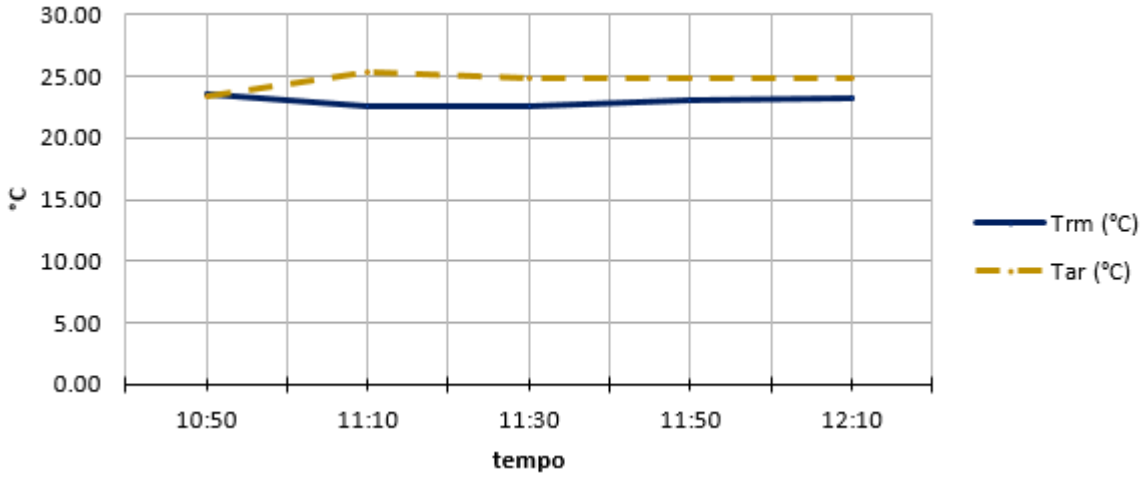
comparativa das flutuações dos valores. No período da manhã a temperatura do ar e temperatura radiante variaram de acordo com o Gráfico 01.

Tabela 01 - Síntese dos valores medidos no período da manhã

	INTERVALO	HORÁRIO	QUEST.	Tg (°C)	coef. convecção natural	coef. convecção forçada	Trm (p/forçada)	Var**	Tbu (°C)	Tar (°C) Tbs	Ur (%)	To (°C)
				Termômetro de globo	*calculado*	*calculado*	*calculado*	*Anemômetro digital*	*Psicrômetro giratório*		*calc.*	*calc.*
								*Média**				
estabilização	30 min	10:15	-	-	-	-			-	-		
1		**10:50**	**APLICAR**	23.47	1.27	6.09	**23.54**	**0.27**	21.2	**23.4**	**80**	**23,45**
2		**11:10**	**APLICAR**	23.50	2.61	2.65	**22.65**	**0.07**	21.8	**25.3**	**75**	**23,97**
3		**11:30**	**APLICAR**	23.43	2.45	3.38	**22.61**	**0.1**	21	**24.8**	**70**	**23,70**
4		**11:50**	**APLICAR**	23.70	2.30	3.38	**23.04**	**0.1**	20.8	**24.8**	**70**	**23,92**
5		**12:10**	**APLICAR**	23.77	2.30	2.65	**23.23**	**0.07**	21.1	**24.9**	**70**	**24,06**
5a	5min	12:15	-	-	-	-	-		-	-		

Fonte: Os autores.

Gráfico 01 - Variação da Temperatura radiante média (Trm) e Temperatura do Ar (Tar) no tempo - Medição Período da manhã



Fonte: Os autores.

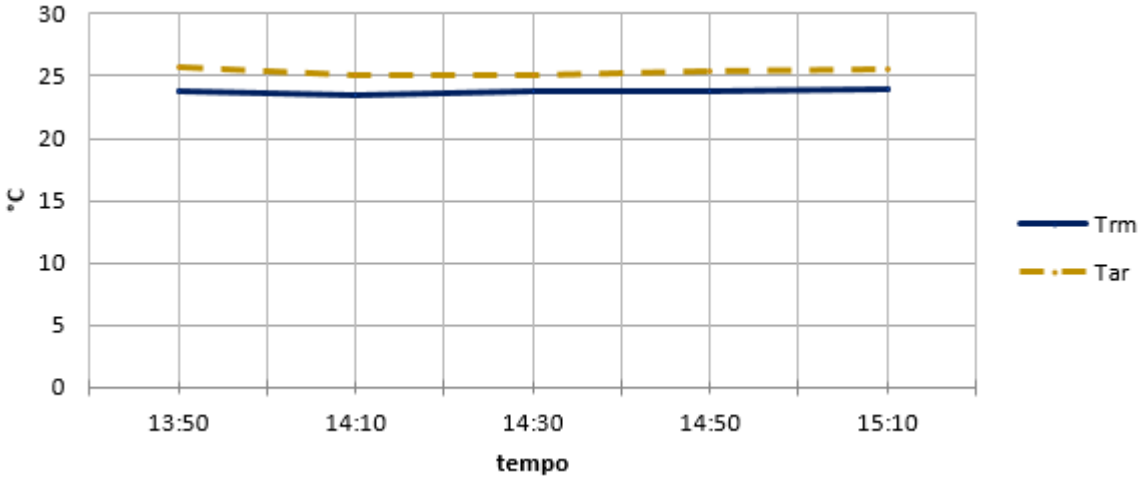
No período da tarde, por sua vez, a temperatura do ar e temperatura radiante variaram de acordo com o gráfico 02.

Tabela 02 - Síntese dos valores medidos no período da tarde

	INTERVALO	HORÁRIO	QUEST.	Tg (°C)	coef. convecção natural	coef. convecção forçada	Trm (p/natural)	Trm (p/forçada)	Var**	Tbu (°C)	Tbs (°C)	Ur (%)	To (°C)
				Termômetro de globo	*calculado*	*calculado*	*calculado*	*calculado*	Anemômetro digital	*Psicrômetro giratório*		*calculado*	*calculado*
									*Média**				
estabilização	30 min	13:15	-	-						-	-		
1		**13:50**	**APLICAR**	24.30	2.45	1.75	**23.72**		**0.03**	21.4	**25.7**	**69**	**24,7**
2		**14:10**	**APLICAR**	24.10	2.25	3.38		**23.50**	**0.10**	21.1	**25.1**	**70**	**24,3**
3		**14:30**	**APLICAR**	24.37	1.98	5.62		**23.74**	**0.23**	21.2	**25**	**70**	**24,5**
4		**14:50**	**APLICAR**	24.50	2.19	4.59		**23.77**	**0.17**	21.4	**25.4**	**70**	**24,6**
5		**15:10**	**APLICAR**	24.53	2.30	3.38		**23.90**	**0.10**	21.3	**25.6**	**69**	**24,75**
5a	5min	15:15	-	-						-	-		

Fonte: Os autores.

Gráfico 02 - Variação da Temperatura radiante média (Trm) e Temperatura do Ar (Tar) - medição tar



Fonte: Os autores.

4.2 Aplicação do Modelo Estático - PMV e PPD

Os valores obtidos através das medições das variáveis ambientais e os valores de taxa metabólica e isolamento térmico de vestimenta dos usuários foram processados com o uso da calculadora online Comfort Tool, da Universidade de Berkeley. A síntese dos valores obtidos com a utilização da calculadora online foi organizada nas tabelas 03 e 04.

Tabela 03 - PMV e PPD calculados, medição período da manhã

	USUÁRIO 01		USUÁRIO 02		USUÁRIO 03		USUÁRIO 04		USUÁRIO 05		MÉDIA		MÉDIA Geral	
	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %
Voto 01	-0.83	20	-1.31	41	-0.19	6	-0.36	8	-0.17	6	-0.57	11		
Voto 02	0.05	5	-0.49	10	0.34	7	0.2	6	0.44	9	0.11	5		
Voto 03	-0.14	5	-0.65	14	0.15	5	0.01	5	0.26	6	-0.07	5	-0.07	5
Voto 04	-0.08	5	-0.58	12	0.21	6	0.47	10	0.31	7	0.07	5		
Voto 05	0.02	5	-0.49	10	0.31	7	0.17	6	0.5	10	0.10	5		

Fonte: Os autores.

Tabela 04 - PMV e PPD calculados, medição período da tarde

	USUÁRIO 06		USUÁRIO 07		USUÁRIO 08		USUÁRIO 09		USUÁRIO 010		USUÁRIO 11		USUÁRIO 12		USUÁRIO 13		MÉDIA		MÉDIA Geral	
	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %	PMV	PPD %
Voto 01	0.47	10	-0.11	5	0.11	5	0.04	5	-0.16	6	-0.16	6	-0.23	6	-0.41	9	-0.06	5		
Voto 02	0.18	6	-0.23	6	0.42	9	-0.15	5	-0.35	8	-0.35	8	-0.43	9	-0.36	8	-0.16	6		
Voto 03	-0.03	5	-0.5	10	-0.35	8	-0.4	8	-0.63	13	-0.55	11	-0.71	16	-0.92	23	-0.51	10	-0.21	6
Voto 04	0.22	6	-0.32	7	-0.22	6	0.11	5	-0.37	8	-0.15	5	-0.45	9	-0.6	13	-0.22	6		
Voto 05	0.31	7	-0.08	5	-0.04	5	-0.01	5	-0.2	6	-0.2	6	-0.27	7	-0.44	9	-0.12	5		

Fonte: Os autores.

Os autores.

4.3 Aplicação do Modelo Adaptativo

Para aplicação do modelo adaptativo, algumas variáveis devem ser calculadas a partir dos dados medidos. A primeira delas é a temperatura

média predominante do ar externo, que é determinada pela média de temperatura dos sete últimos dias antes do dia em questão (tabela 05).

Tabela 05 - Valores de temperaturas: máxima, mínima e média

Dia		T máxima (°C)	T mínima (°C)	T Média (°C)
07/08	*Tod7*	21,25	20,52	**20,88**
08/08	*Tod6*	21,95	21,11	**21,53**
09/08	*Tod5*	22,05	21,44	**21,74**
10/08	*Tod4*	21,94	21,44	**21,69**
11/08	*Tod3*	22,03	21,43	**21,73**
12/08	*Tod2*	21,32	20,72	**21,02**
13/08	*Tod1*	21,60	20,94	**21,27**

Fonte: INMET, acesso agosto 2015.

Tpm *ar (ext)* = 21, 38 °C

Com os dados levantados durante a medição, pode-se calcular a temperatura operativa (Tabela 6 e 7), conforme indicado em Lamberts et al. (2013).

Tabela 6 - Valores calculados para Temperatura Operativa para o período da manhã

MANHÃ	10:50	11:10	11:30	11:50	12:10
To (°C)	23.45	23.97	23.7	23.92	24.06

Fonte: Os autores.

Tabela 7 - Valores calculados para Temperatura Operativa para o período da tarde

TARDE	13:50	14:10	14:30	14:50	15:10
To (°C)	24.7	24.3	24.5	24.6	24.75

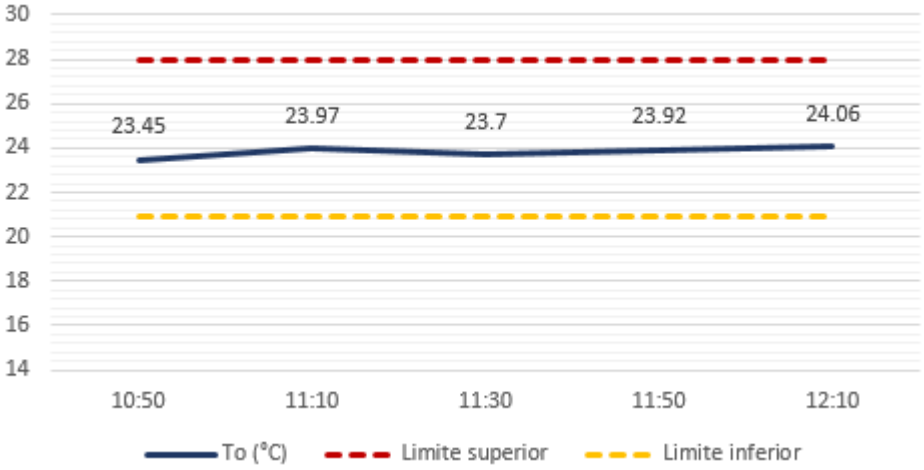
Fonte: Os autores.

O projeto de norma brasileira especifica as equações para o cálculo das temperaturas operativas internas admissíveis. Para este caso tem-se:

- Limite superior de 80% de aceitabilidade (°C) = **27,93°C**
- Limite inferior de 80% de aceitabilidade (°C) = **20,93°C**

Tendo os limites superiores e inferiores de 80% de aceitabilidade calculados, pode-se observar no Gráfico 03, que os valores de temperatura operativa se mantiveram dentro da faixa estipulada pelos mesmos.

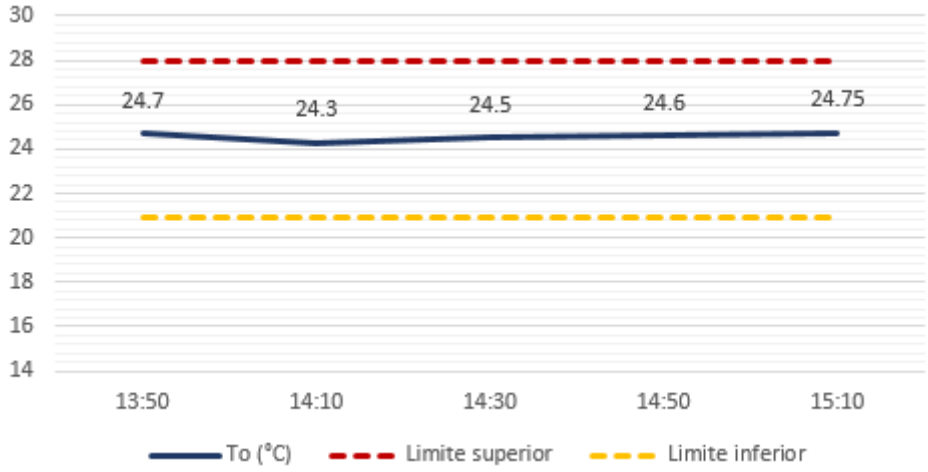
Gráfico 03 - Valores da Temperatura Operativa por tempo, entre os limites superior e inferior, para o período da manhã



Fonte: Os autores.

Para o período da tarde, os valores de temperatura operativa também se mantiveram dentro dos limites de aceitabilidade (Gráfico 04).

Gráfico 04 - Valores da Temperatura Operativa por tempo, entre os limites superior e inferior, para o período da tarde

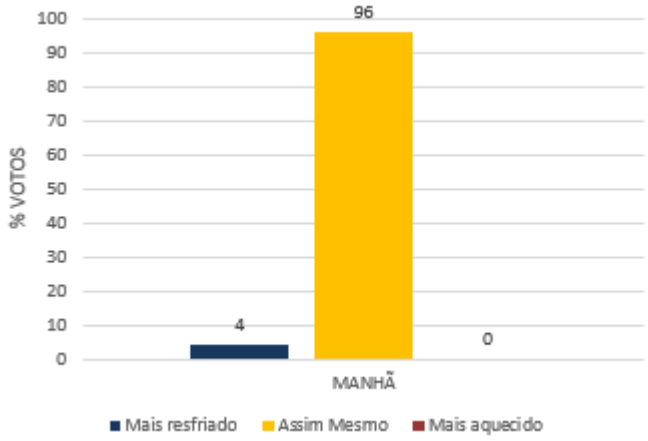


Fonte: Os autores.

4.4 Questionários

As perguntas do questionário foram baseadas no modelo disponível no projeto de norma brasileira de conforto térmico de Lamberts et al. (2013). De uma maneira geral, essas questionavam se o usuário considerava as condições ambientais "aceitáveis" ou "inaceitáveis", e solicitavam descrições de vestimentas e ações de tarefas realizadas. Para o período da manhã, 100% dos ocupantes consideraram o ambiente aceitável termicamente. Com relação à preferência térmica alguns usuários optaram por este ser mais resfriado (Gráfico 05).

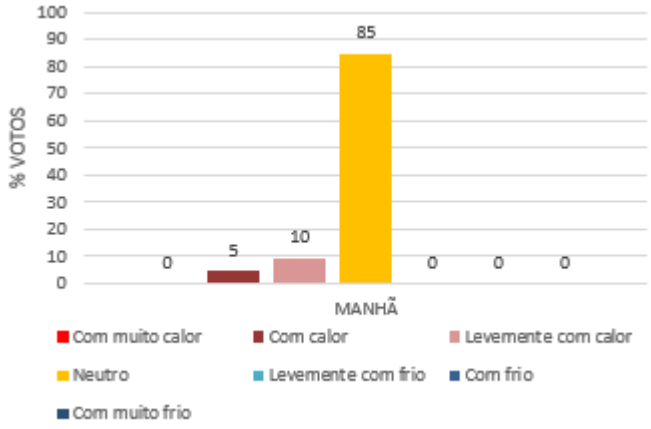
Gráficos 05 - Preferência do ambiente térmico pelos usuários no turno manhã



Fonte: Os autores.

Para a verificação da sensação térmica, utilizou-se a escala de sete pontos da ASHRAE (2013), variando de "muito calor" até "muito frio". Analisando as respostas dos usuários do período matutino, prevalece uma sensação de neutralidade (88%) (Gráfico 06).

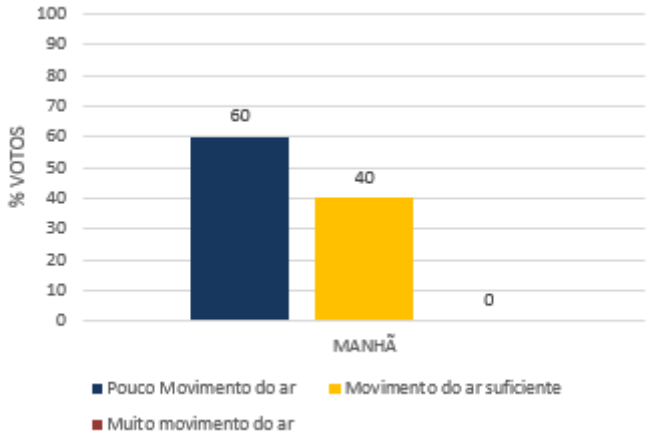
Gráfico 06 - Voto da sensação térmica dos usuários no período da manhã



Fonte: Os autores.

Na questão "aceitabilidade da velocidade do ar", este foi considerado suficiente por 40% votos ou com pouco movimento de ar para 60% dos votos (Gráfico 07). Quanto à preferência, 58% dos votos indicaram que não gostariam de mudar esta situação, enquanto 42% gostariam de movimento de ar mais intenso.

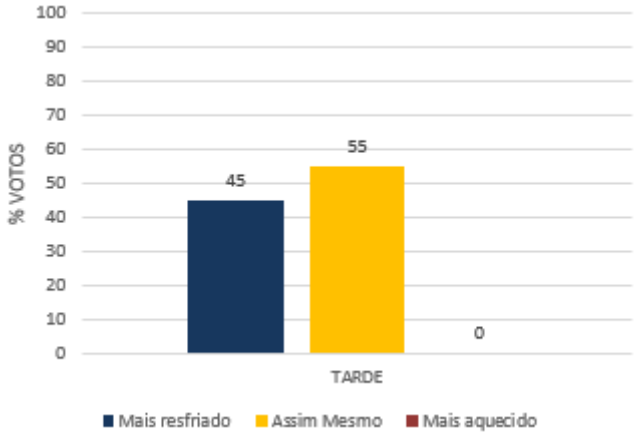
Gráfico 07 - Voto da aceitabilidade da velocidade do ar no período da manhã



Fonte: Os autores.

No período da tarde, o ambiente permaneceu aceitável entre a maioria dos votos (90%). Quanto a preferência térmica, 18 votos (45%) indicaram que gostariam do ambiente mais resfriado, sendo que estas respostas aconteceram, em sua maioria, no horário das 13:45h (Gráfico 08).

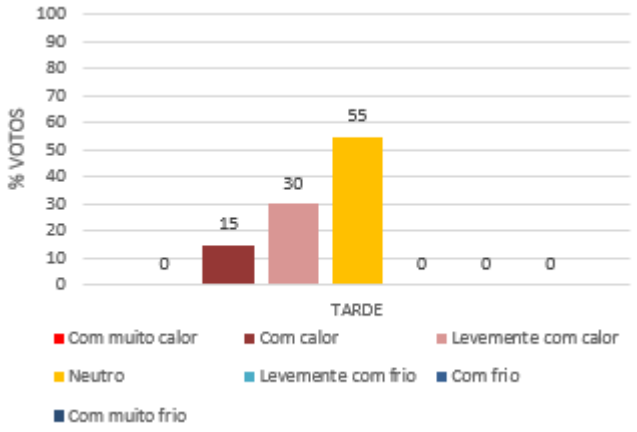
Gráfico 08 - Aceitabilidade e Preferência do ambiente térmico pelos usuários, no período tarde



Fonte: Os autores.

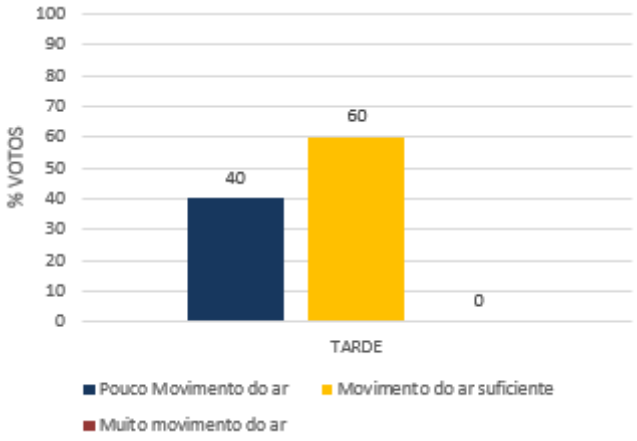
Neste período, a sensação térmica dos usuários prevaleceu neutra (55% do total). Porém, vale ressaltar o aparecimento de 30% de votos indicando a condição "levemente com calor" (+1) no período das 13:45, e 15% de votos indicando "calor" (+2) (Gráfico 09). Quanto à velocidade do ar, 40% dos votos indicaram "pouco movimento do ar", e o restante (60%) definiram o mesmo como suficiente (Gráfico 10). Quanto à preferência por movimentação de ar, 60% dos votos indicaram que não gostariam de mudanças, enquanto 40% preferiram maior movimentação de ar.

Gráfico 09 - Voto da Sensação térmica, período da tarde



Fonte: Os autores.

Gráfico 10 - Aceitabilidade da velocidade do ar, no período da tarde



Fonte: Os autores.

4.5 Comparação dos Modelos Analisados com os Questionários

A comparação entre os valores de PMV e os dados de preferência dos usuários, obtidos com os questionários, demonstrou algumas diferenças. A maioria dos votos dos usuários nos questionários, mantiveram-se entre a sensação neutra, em +-1, variando alguns votos em "levemente quente". Nos valores obtidos de PMV, a maioria manteve-se na condição de neutralidade (PMV +-0,5), com alguns votos fora dessa faixa, indicando "levemente frio". Essa contrariedade de resultado pode ser verificada no voto 01 do usuário 03, no período da manhã, como também no voto 03 do usuário 10, no período da tarde.

Outras incongruências foram registradas, onde alguns valores calculados indicaram situação de desconforto, enquanto os dados do questionário para o mesmo voto mantiveram-se em conforto, como por exemplo, o voto 01, para o usuário 01 e 02, no período da manhã. O inverso também ocorreu, com valores calculados na faixa de conforto, e opiniões dos usuários nos questionários, em desconforto. Cita-se como exemplo, o voto 01 para o usuário 03 e o voto 05 para o usuário 04.

Abaixo, na tabela 8 está a síntese da comparação entre PMV calculado e o valor obtido através dos questionários, para o período da manhã:

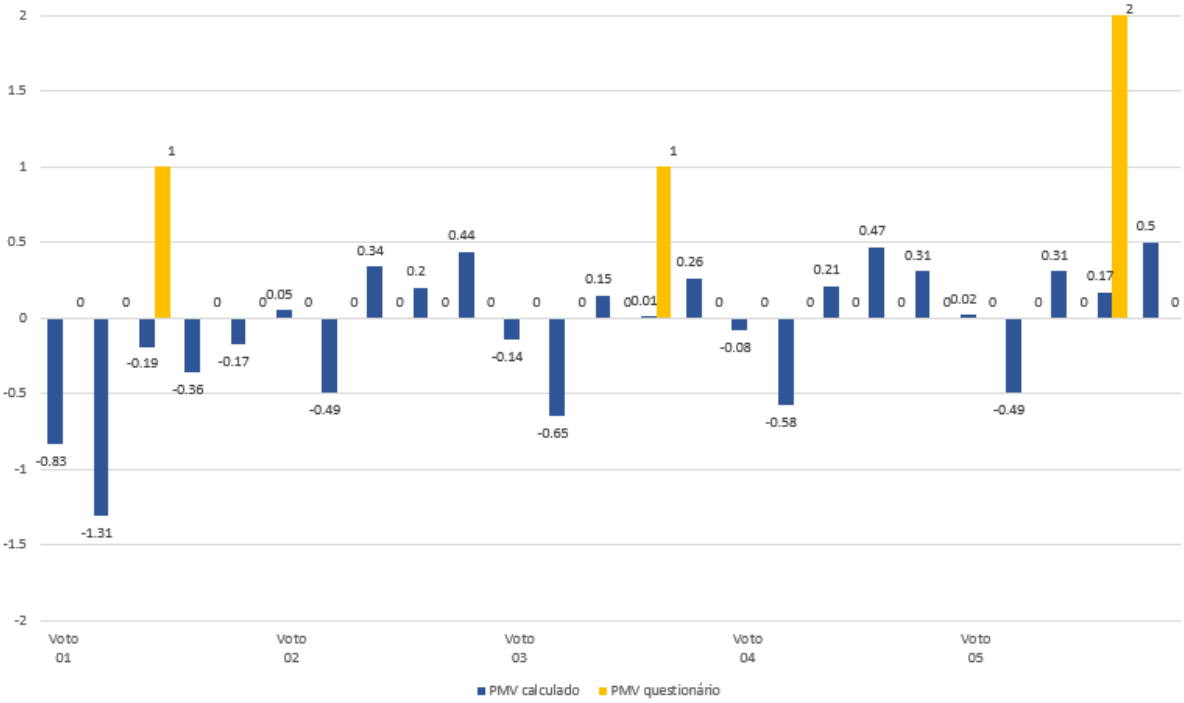
Tabela 8 - Tabela síntese dos valores de PMV calculados e dos valores obtidos com os questionários, no período da manhã

	USUÁRIO 01		USUÁRIO 02		USUÁRIO 03		USUÁRIO 04		USUÁRIO 05		MÉDIA		MÉDIA Geral	
	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.
Voto 01	-0.83	0	-1.31	0	-0.19	1	-0.36	0	-0.17	0	-0.57	0.2		
Voto 02	0.05	0	-0.49	0	0.34	0	0.2	0	0.44	0	0.11	0		
Voto 03	-0.14	0	-0.65	0	0.15	0	0.01	1	0.26	0	-0.07	0.2	**-0.07**	**0.16**
Voto 04	-0.08	0	-0.58	0	0.21	0	0.47	0	0.31	0	0.07	0		
Voto 05	0.02	0	-0.49	0	0.31	0	0.17	2	0.5	0	0.10	0.4		

Fonte: Os autores.

Para auxiliar na análise, os valores foram dispostos no Gráfico 11 abaixo, onde as barras que não são visualizadas (tanto azul, quanto amarela) encontram-se no valor igual a zero (0):

Gráfico 11 – PMV calculado e PMV questionários, para o período da manhã



Fonte: Os autores.

Para o período da manhã, o ambiente foi definido como aceitável, em todos os votos subjetivos (questionário). Quanto à preferência do ambiente, 96% dos votos indicaram a opção para manter o ambiente como este se encontrava, e 4% sinalizaram a preferência por um ambiente mais resfriado. Referente à sensação térmica, por sua vez, 96% dos votos situaram-se na faixa de conforto (+-1) e 4% fora dessa faixa. O modelo adaptativo, para o mesmo período, apresentou condição de conforto - dentro da faixa de

aceitabilidade de 80%, e o modelo estático apresentou um PPD igual a 16%, ou seja, 4 votos fora da faixa de conforto (+- 0,5) de um total de 25 votos.

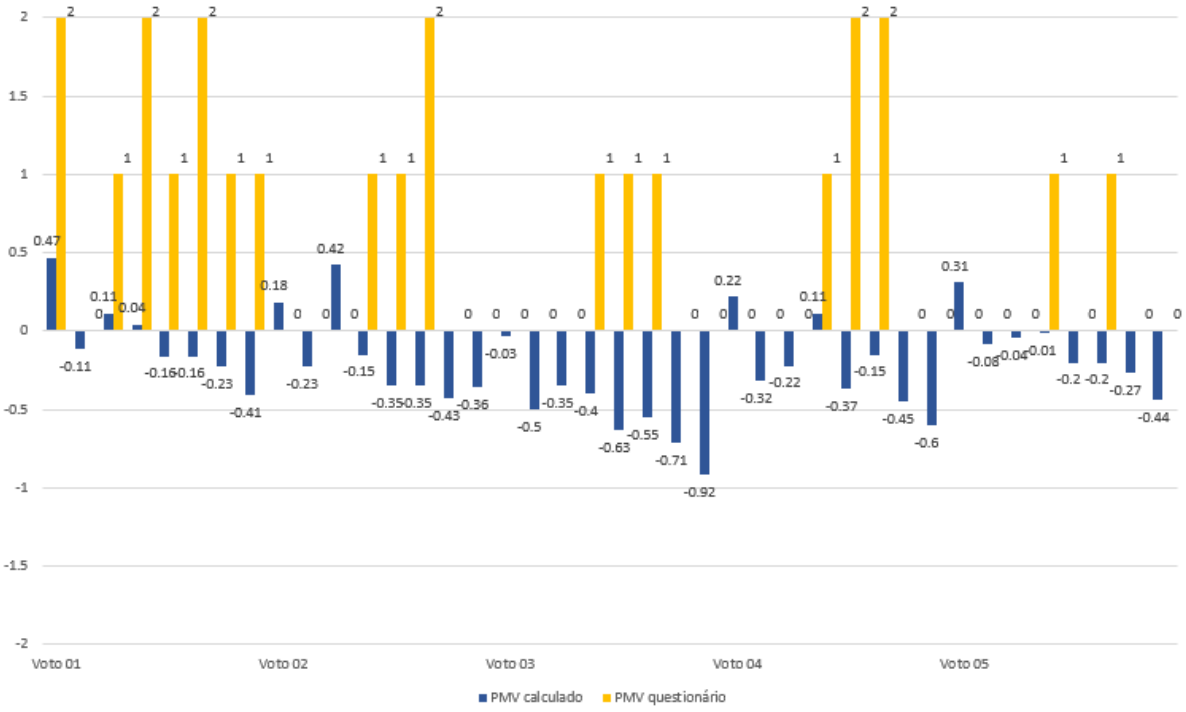
Segue abaixo a tabela 9 e Gráfico 12, com a síntese dos valores comparados entre PMV calculado e PMV do obtido através do questionário, pra o período da tarde:

Tabela 9 - Tabela síntese dos valore de PMV calculados e dos obtidos com os questionários, no período da tarde

	USUÁRIO 06		USUÁRIO 07		USUÁRIO 08		USUÁRIO 09		USUÁRIO 010		USUÁRIO 11		USUÁRIO 12		USUÁRIO 13		MÉDIA		MÉDIA Geral	
	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.	calc.	quest.
Voto 01	0.47	2	-0.11	0	0.11	1	0.04	2	-0.16	1	-0.16	2	-0.2	1	-0.41	1	-0.06	1.25		
Voto 02	0.18	0	-0.23	0	0.42	0	-0.15	1	-0.35	1	-0.35	2	-0.4	0	-0.36	0	-0.16	0.5		
Voto 03	-0.03	0	-0.5	0	-0.35	0	-0.4	1	-0.63	1	-0.55	1	-0.7	0	-0.92	0	-0.51	0.375	**-0.21**	**0.60**
Voto 04	0.22	0	-0.32	0	-0.22	0	0.11	1	-0.37	2	-0.15	2	-0.5	0	-0.6	0	-0.22	0.625		
Voto 05	0.31	0	-0.08	0	-0.04	0	-0.01	1	-0.2	0	-0.2	1	-0.3	0	-0.44	0	-0.12	0.25		

Fonte: Os autores.

Gráfico 12 - PMV calculado e PMV questionários, para o período da tarde



Fonte: Os autores.

No período da tarde, 10% dos votos subjetivos sobre aceitabilidade do ambiente, indicaram o mesmo como inaceitável. Sobre a preferência, 45% dos votos totais desejavam a situação de "mais resfriado" e 55% preferiam mantê-lo como estava. Obteve-se, quanto a sensação térmica, 85% do total dos votos na faixa de conforto (+-1) e 15% em desconforto. O modelo adaptativo apresentou valores dentro da faixa de aceitabilidade de 80%, considerando os valores de temperatura operativa do mesmo período. O modelo estático, por sua vez, apresentou um PPD igual a 15%, que se refere a 6 votos fora da faixa de conforto (+- 0,5) do total de 40 votos. A tabela 10 abaixo sintetiza os valores apresentados, possibilitando a avaliação

comparativa dos dados do questionário e dos modelos estático e adaptativo, nos dois períodos de análise:

Tabela 10 - Síntese dos resultados obtidos nos modelos estático, adaptativo e nos questionários

	PMV / PPD	ADAPTATIVO (80%)	QUESTIONÁRIO
MANHÃ	*PPD 16%*	CONFORTO	4% DESCONFORTO (96% CONFORTO)
TARDE	*PPD 15%*	CONFORTO	15% DESCONFORTO (85% CONFORTO)

Fonte: Os autores.

5 CONCLUSÕES

A análise apresentada neste artigo demonstrou que o modelo adaptativo apresentou resultados coerentes com os dados subjetivos dos questionários, considerando a faixa de aceitabilidade e possibilidade de adaptação do usuário. O modelo estático, por sua vez, apresentou algumas discrepâncias na mesma comparação, principalmente por indicar situações de desconforto por frio enquanto os questionários indicavam desconforto por calor. O modelo adaptativo, específico para ambientes naturalmente ventilados, se adequou à análise do ambiente estudado, onde este apresentou, de uma maneira geral, características favoráveis à execução de tarefas e satisfação pelos usuários com as condições térmicas do mesmo.

Pode-se verificar, contudo, que os limites estabelecidos pelo modelo estático são mais restritivos e específicos, onde qualquer alteração mínima nas variáveis reflete em alterações significativas nos resultados calculados, principalmente quanto à taxa metabólica e isolamento da vestimenta. Esses dados obtidos através dos questionários, podem não descrever com exatidão a realidade, o que foi verificado através do uso de equipamento de filmagem, para registro simultâneo das atividades dos usuários. O ajuste dos valores de atividade metabólica, seguindo o registro simultâneo, influenciou no resultado obtido, contribuindo com maior aproximação da condição real do estudo. Entretanto, é importante ressaltar que o ambiente analisado se encontrava naturalmente condicionado, aspecto que deve ser levado em consideração pela limitação de análise do modelo estático nessa condição.

Uma maior amostragem de usuários na análise subjetiva através dos questionários, pode contribuir para maior precisão e amplitude dos resultados obtidos. Outro sim, deve ser considerado um número maior de medições em diferentes dias e estações do ano, possibilitando maior abrangência dos resultados e acuracidade na caracterização do ambiente.

Aspectos como características culturais e outras questões subjetivas não são consideradas pelas normas em questão. Logo, uma análise sensível e crítica quanto a essas questões deve ser sinalizada. Sugere-se para próximos

estudos a consideração de forma mais específica do meio em que está inserido o local de análise, bem como uma maior variedade de medições.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), e ao Laboratório de Pesquisa e Extensão do Curso de Engenharia Civil (PET) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Aos professores orientadores da pesquisa, Roberto Lamberts e Renata De Vecchi, pelo conhecimento compartilhado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASHRAE 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.

Calculadora Web - Berkeley. Disponível em: http://smap.cbe.berkeley.edu/comforttool. Acesso em Agosto, 2015.

Dados de condição climática da estação automática de Florianópolis - São José. Disponível em www.inmet.gov.br. Acesso em Agosto,2015;

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference.** ASHRAE RP-884, Research Report, 1997.

FANGER, O.P. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Danish Technical Press, Copenhagen, 244p, 1970.

FREIXANET, Victor Armando Fuentes. **Clima y Arquitectura**. 1 ed. Universidad Autônoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco: México, 2004.
GOOGLE EARTH. **Imagem digital do mapeamento de Maceió 2014**. Disponível em http://www.googlearth.com. Acesso em Agosto, 2015.

HERTZ, John B. **Ecotécnicas em arquitetura - Como projetar nos trópicos úmidos do Brasil.** São Paulo: Pioneira, 1998.

ISO Standard 7726 (1998). **Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities.** Geneva International Standards Institution, 1998.

LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R.; DE VECCHI, R. **Towards a Brazilian standard on thermal comfort**. Research Report, 2013. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version.pdf. Acesso em Agosto, 2015

LAMBERTS,R.; DUTRA, L.; PEREIRA,F. O. **R Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, Pró Livros, 2ª Ed., 2004.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ADEQUABILIDADE DA ILUMINAÇÃO NATURAL: AVALIAÇÃO LUMÍNICA DE SALA DE AULA CONSIDERANDO A SATISFAÇÃO DO USUÁRIO[1]

GOEDERT, Gabriela (1); PEREIRA, Fernando Ruttkay (2); FONSECA, Raphaela Walger da (3)

(1) UFSC, e-mail: gabrielasgoedert@labcon.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: feco@arq.ufsc.br; (3) UFSC, e-mail: raphawf@gmail.com

RESUMO

Com a finalidade de comparar os valores das medidas estipulados pela IES com padrões de satisfação dos usuários, este artigo propôs uma análise comparativa através da verificação de um ambiente real. Foi escolhida uma sala de aula para a realização de medições de iluminâncias, coleta de dados subjetivos através da aplicação de questionários e simulações. O foco da análise foi dado nas condições de iluminação do ambiente, considerando planos de tarefa e as atividades desenvolvidas, bem como reflexões a partir dos resultados de preferência expostos pelos usuários. Os resultados finais foram obtidos através da análise comparativa dos dados levantados e simulados. Na medição, a sala obteve a maioria dos pontos entre 300lux e 1000lux, confirmando os valores de sDA igual a 100% da simulação. Concluiu-se, que mesmo com níveis elevados de iluminância (cerca de 4000lux medidos) a tolerância dos usuários também é alta, sendo que 76% dos entrevistados responderam que gostam de estar neste ambiente e apenas 7% se dizem não motivados em realizar suas tarefas. A pesquisa abre caminhos para futuros estudos de ofuscamento relacionados ao ambiente analisado.

Palavras-chave: Iluminação. Medição. Simulação.

ABSTRACT

In order to compare the metrics and luminal comfort values stipulated by IES, with user satisfaction standards, this article proposes a comparative analysis by checking a real environment. Was chosen a classroom for holding illuminance measurements, subjective data collect through the questionnaires and simulations. The focus of the analysis was given on the environment lighting conditions considering task plans and developed activities, as well as reflections from the preference results exposed by users. The results are obtained by comparative analysis of the collected and simulated data. In measuring, the room got the most points between 300lux and 1000lux, confirming the sDA values equal to 100 % of the simulation. It was concluded that even with high levels of illuminance (about 4000lux measured) tolerance of users is also high, with 76% of respondents who "like to be in this environment" and only 7% saying they are not motivated to do their jobs. The research paves the way for future glare studies related to this environment.

Keywords: *Lighting. Measurement. Simulation.*

[1] GOEDERT, Gabriela; CONTATTO, Marcelo; PEREIRA, Fernando; FONSECA, Raphaela. Adequabilidade da iluminação natural: Avaliação lumínica de sala de aula considerando a satisfação do usuário. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a iluminação em um ambiente influencia o desempenho das atividades desenvolvidas pelos usuários, podendo sua falta ocasionar desconforto, queda na produtividade e até mesmo danos à saúde. Segundo LAMBERTS et al. (1997) deve-se ter uma preocupação com a boa iluminação na direção e na quantidade apropriada, permitindo o uso dos ambientes para realização das atividades visuais. A luz natural possibilita ainda, a regulação do ciclo circadiano e a percepção do ciclo diurno.

Além da preocupação com uma quantidade mínima desejada de iluminância normatizadas, estudos de iluminação estão cada vez mais preocupados com a satisfação do usuário, buscando integrá-los às pesquisas. Para Kevin Van Den Wymelenberg (2010), previsões precisas das preferências dos ocupantes sob condições de luz irão progredir a indústria de duas maneiras significativas. Primeiro, irão ajudar os designers a fazer escolhas entre as possíveis soluções e, portanto, melhorará a qualidade da iluminação natural em edifícios. E em segundo lugar, essas previsões tem o potencial para impulsionar significativamente os controles de iluminação e de sombreamento, podendo aperfeiçoar economias de energia enquanto acomoda e se adequa às preferências do usuário.

Com o intuito de estipular quais seriam as medidas mais adequadas para a avaliação do conforto lumínico em edificações, e quantificar os seus limites superiores e inferiores, a IES (*Illuminating Engineering Society of North America*) propôs um estudo (HESCHONG, 2011) onde foram entrevistados usuários, feitas simulações e correlações de satisfação. Este estudo resultou na proposição do método de avaliação atualmente recomendado pela instituição: IES LM8312 – *Approved Method – Spacial daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure* (ASE). Neste documento, as medidas de "autonomia de luz natural espacial" e "exposição solar anual" foram apresentadas como as medidas mais representativas da preferência dos ocupantes. Foi estipulado que para autonomia de luz natural espacial ($sDA_{300,50\%}$), seriam considerados um mínimo de 300lx em superfícies horizontais, em 50% da área do ambiente, 50% do tempo (das 8am até 6pm). Já para exposição solar anual ($ASE_{1000,250h}$), consideraram-se os pontos que estiveram expostos acima de 1000 lux, para mais de 250horas do ano. Diante do exposto, este trabalho visou avaliar as condições de conforto visual de uma sala de aula com base nas medidas estabelecidas pela IES e contrastá-las com a percepção do usuário. O estudo do conforto visual em ambientes de estudo é importante, pois estes espaços abrigam atividades humanas durante longos períodos, influenciando na qualidade de vida, na produtividade e na apreensão do conteúdo ensinado.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do Ambiente

O ambiente escolhido para avaliação do conforto visual foi a sala de Ateliê, localizada no terceiro andar do Departamento de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, Santa Catarina (Figura 01).

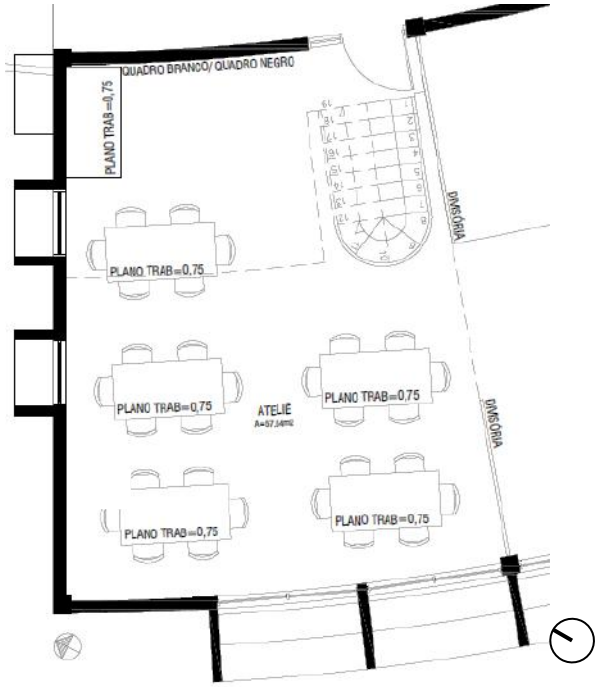
Figura 01 – Localização do ambiente em análise



Fonte: Os autores

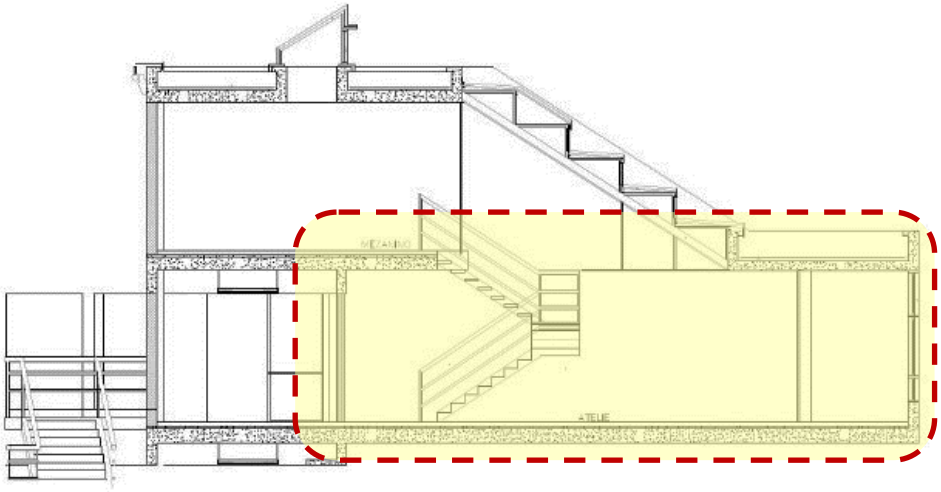
A sala caracteriza-se por conter revestimentos de cores claras tanto no piso, como no teto e parede. Possui quatro aberturas laterais e cinco aberturas zenitais. Por se tratar de uma sala de aula, o plano de trabalho horizontal foi considerado nas mesas de desenho, com altura igual a 75cm (Figura 02 e 03).

Figura 02 –Planta baixa com mobiliário



Fonte: Os autores

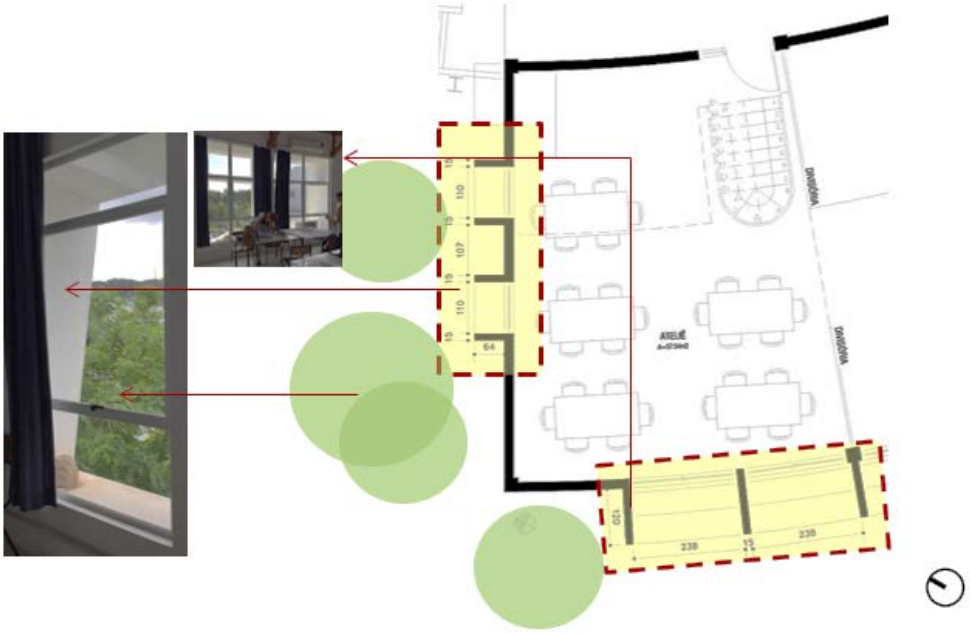
Figura 03 - Corte esquemático, destaque para sala em análise



Fonte: Os autores

Nas janelas laterais, voltadas para noroeste e sudoeste, tem-se brises verticais em decorrência de uma continuidade projetual, com a finalidade de sombrear o interior do ambiente (Figura 04).

Figura 04 - Elementos de sombreamento



Fonte: Os autores

2.2 Medição

As medições foram realizadas em três dias com condições de céu e horários distintos. Para uma avaliação dos níveis de iluminância, levaram-se em consideração os resultados do instrumento de medição Luxímetro, que possibilita obtenção dos valores de iluminância de cada ponto no plano de trabalho. Foram utilizados dois instrumentos, sendo assim apenas duas medições simultâneas. Para que as medições obtivessem resultados mais

precisos, foram tomadas precauções, sendo evitada a incidência direta de luz no instrumento e mantendo-se a posição do sensor paralelo à superfície a ser avaliada. Evitou-se também o sombreamento sobre a fotocélula. Apesar de também serem feitas medições no plano vertical, esta pesquisa focou nos resultados das medições no plano horizontal. As medições de iluminâncias externas foram descartadas, pois seriam utilizadas para o cálculo do fator de luz diurna e este não reflete a variabilidade do clima local.

A partir das especificações normatizadas pela NBR15215-4 (2003), foi calculada a quantidade mínima de pontos necessária para medição. Sendo assim, caracterizou-se uma malha com distribuição uniforme de 20 pontos, a fim de obter resultados suficientes de iluminâncias (Figura 05).

Figura 05 - Malha de pontos da medição



Fonte: Os autores

A medição 01 ocorreu no dia 11 de novembro de 2015, no período da manhã, mais precisamente às 08hrs e 45min. O céu se encontrava claro, com poucas nuvens conforme observado na Figura 06. Encontravam-se na sala 14 estudantes de graduação e 1 pós-graduando. A medição foi realizada com o ambiente com todas as cortinas e portas abertas, e com a iluminação artificial desligada (Figura 07).

Figura 06 - Condição do céu medição 01



Fonte: Os autores

Figura 07 – Foto do interior, medição 01



Fonte: Os autores

A medição 02 ocorreu no dia 16 de novembro de 2015, às 11hrs e 30min. O céu se encontrava encoberto (Figura 08). A medição foi realizada com portas fechadas e algumas cortinas parcialmente fechadas. A divisória estava aberta e a iluminação artificial desligada (Figura 09).

Figura 08 - Condição do céu medição 02



Fonte: Os autores

Figura 9 – Foto do interior, medição 02



Fonte: Os autores

Por fim, a terceira medição ocorreu no dia 18 de novembro de 2015, no período da tarde, às 15hrs. O céu se encontrava claro com poucas nuvens (Figura 10), sendo o ambiente medido também como encontrado: algumas cortinas parcialmente fechadas, porta fechada, divisória aberta e iluminação artificial desligada (Figura 11).

Figura 10 - Condição do céu medição 03



Fonte: Os autores

Figura 11 – Foto do interior, medição 03



Fonte: Os autores

2.3 Aplicação de questionários

A fim de aferir a satisfação do usuário quanto às condições de conforto do ambiente, foram aplicados questionários paralelos às três medições. Os dados subjetivos possibilitam a análise das opiniões individuais da qualidade do ambiente, a verificação de desconforto, e a percepção da influência da iluminação natural percebida pelo usuário. O questionário, mais do que uma análise qualitativa do ambiente, visa à detecção de possíveis problemas ou aspectos peculiares a serem estudados com maior profundidade.

O questionário foi baseado na tradução do modelo usado para o estudo criado pela PIER junto da CEC (HESCHONG, 2011). Este foi dividido em duas etapas, a primeira contendo 8 questões que caracterizam o grupo amostral, e a segunda, contendo 17 questões, relacionadas com a percepção do usuário com relação ao ambiente. A primeira etapa tratou de classificar o grupo amostral a partir de respostas objetivas quanto à caracterização pessoal, localização, operação e tempo de uso do ambiente. Um total de 29 participantes, considerando as três medições realizadas, foram selecionados para integrar o estudo, cuja composição etária caracteriza o perfil do

usuário habitual do ambiente, definido predominantemente (93%) por jovens universitários com idades entre 20 a 30 anos. Durante as medições, as condições climáticas do céu variaram, mas os dias ensolarados foram predominantes. A fim de estimar a percepção a longo prazo, os usuários foram solicitados a informar o período total de utilização do ambiente, onde 73% dos participantes indicaram já fazerem uso do espaço por período igual ou superior a um ano.

A segunda etapa do questionário, caracterizada pelas questões de 09 a 24, buscou identificar a percepção do usuário através de uma escala de resposta psicométrica do tipo Likert. Neste método, ao responderem o questionário, os participantes especificaram seu nível de concordância ou não acerca de determinada afirmação. O modelo adotado é composto por 05 níveis de respostas, conforme observado na Figura 12:

Figura 12 – Questão típica questionário

Considere sua experiência neste ambiente baseada em TODO o tempo que passou aqui.	DISCORDO MUITO	DISCORDO	NEUTRO	CONCORDO	CONCORDO MUITO
9. Eu gosto de estar neste ambiente. Por quê? _____					

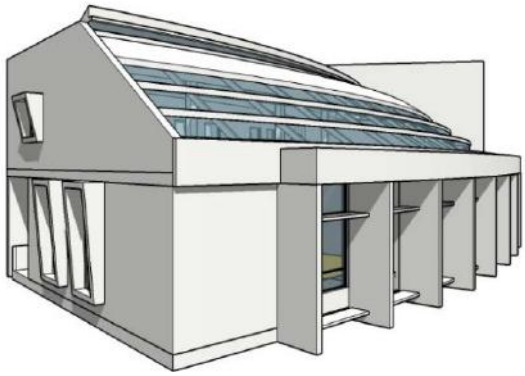
Fonte: Os autores

As questões 09 e 24, buscaram avaliar subjetivamente o grau de adequabilidade do ambiente de estudo, de acordo com a percepção dos usuários. As questões 10, 11 e 12, por sua vez, buscaram identificar as possíveis variáveis de conforto ambiental que mais estariam correlacionadas com a formação da percepção de bem-estar e/ou motivação, quando na operação do espaço em estudo. Apesar da abrangência de variáveis que possam ser consideradas pelo usuário quando na avaliação dos níveis de conforto de um determinado ambiente, a intensidade das respostas tomadas a partir do grupo amostral, podem fornecer pistas sobre quais valores poderiam ou não estar mais associados às sensações de bem-estar informadas pelos usuários. As questões 13 e 14 buscaram caracterizar a impressão dos usuários acerca da influência das vistas externas e tamanho das aberturas para o conforto visual do ambiente. As questões 21 e 22, por outro lado, questionam a existência de excessos de brilho, reflexões incomodas e ofuscamento no ambiente, possivelmente potencializados pelo tamanho das aberturas. Análises de ofuscamento e as demais questões do questionário não foram incluídas neste artigo. Depois de respondidas as questões foi solicitado aos alunos que, através de desenhos à mão livre em planta baixa, representassem as áreas mais e menos iluminadas do ambiente. O conjunto de desenhos sobrepostos gerou uma única imagem que posteriormente foi comparada com os dados obtidos da medição.

2.4 Simulação

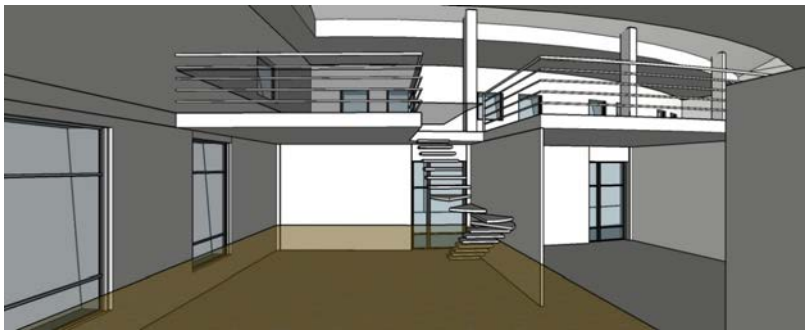
Com a finalidade de simular a sala de aula em suas condições originais, modelou-se as principais características da mesma no programa SketchUP (Figura 13 e 14). Os fechamentos e aberturas foram modelados de acordo com as necessidades de leitura e interpretação do programa de simulação de iluminação LightStanza. Os resultados foram obtidos através de um plano de análise horizontal situado à 75cm do piso (Figura 15).

Figura 13 – Modelagem da sala



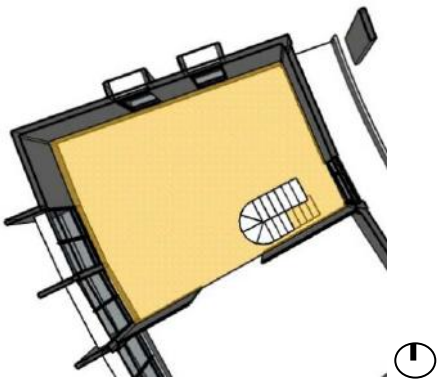
Fonte: Os autores.

Figura 14 – Modelagem da sala



Fonte: Os autores.

Figura 15 – Plano de análise da sala



Fonte: Os autores.

Através da simulação, foram obtidos valores anuais e diários do comportamento lumínico da sala, bem como valores das medidas relacionadas à iluminação. Com isto, ampliam-se as possibilidades de avaliação do ambiente, considerando valores além dos obtidos nas três medições *in loco*. Primeiramente foram realizadas simulações estáticas para os equinócios de primavera e outono e os solstícios de inverno e verão, ao meio dia. Em seguida foi realizada a simulação anual, que forneceu resultados das medidas anuais ASE, sDA e UDI:

- ASE(1000,250h) – exposição solar anual – das 8am às 6pm. Considera as horas de sol direto que ficaram acima de 1000 lux.
- sDA(300, 50%) – autonomia de luz natural espacial – das 8am às 6pm. Considera a porcentagem de pontos em que atingiu o alvo de 300lux para 50% do tempo.
- UDI(100,3000) – iluminância usual de luz natural – do nascer ao por do sol. Considera a porcentagem de tempo em que os pontos atingiram iluminância entre 100 e 3000 lux.

Os limites de iluminância e horas adotados para as medidas de desempenho de iluminação natural foram os mesmos estipulados pela LM8312.

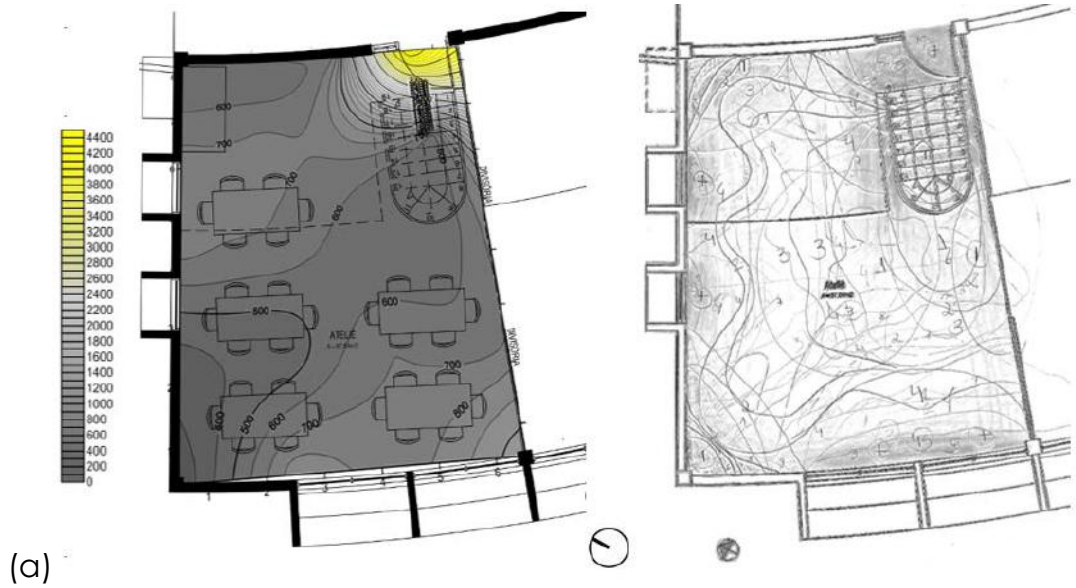
3 RESULTADOS

3.1 Medição

Medição 01

Os valores obtidos da medição 01 foram plotados no programa Surfer, onde foi possível perceber as curvas das áreas que possuem maiores iluminâncias (Figura 16a e b). Os níveis de iluminância, nas condições da medição, são elevados e variam de 200lux até aproximadamente 4000lux. Por se tratar de uma medição no turno matutino, considerando a orientação da sala, os valores medidos mais elevados se encontraram próximos à porta de entrada. A maioria dos pontos da sala obteve valores a cima de 300lux, mínimo estipulado para iluminação artificial pela norma ISO8995 (2013) para atividades escolares. Os desenhos dos alunos condizem com a distribuição da iluminação natural, onde estes ressaltaram, através de curvas muito semelhantes, os pontos que possuem maiores iluminâncias.

Figura 16 – (a) Curvas ISOLux Medição 01; (b) sobreposição dos desenhos dos alunos



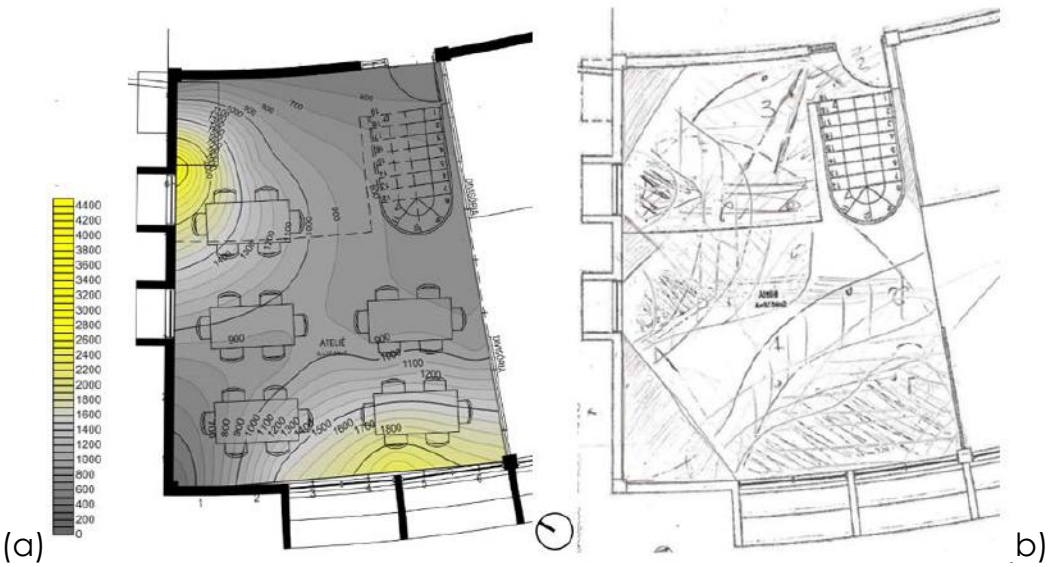
(a) b)

Fonte: Os autores

Medição 02

Na medição 02 observa-se que as iluminâncias mais elevadas se dão próximas às aberturas laterais, variando entre 1500 lux até valores a cima de 3000lux (Figura 17a e b). A sala se comportou de maneira pouco homogênea, apresentando valores de 200lux até 4000lux de iluminância. Apesar de poder gerar diferenças de brilho, esta permite a execução de tarefas sem o uso de luz artificial mesmo nos pontos menos iluminados do ambiente. Os alunos, comprovam através de seus desenhos, perceberem a presença de iluminância mais elevada nas regiões das aberturas e também a inexistência de pontos não iluminados naturalmente no ambiente.

Figura 17 – (a) Curvas ISOLux Medição 02. (b) sobreposição dos desenhos dos alunos



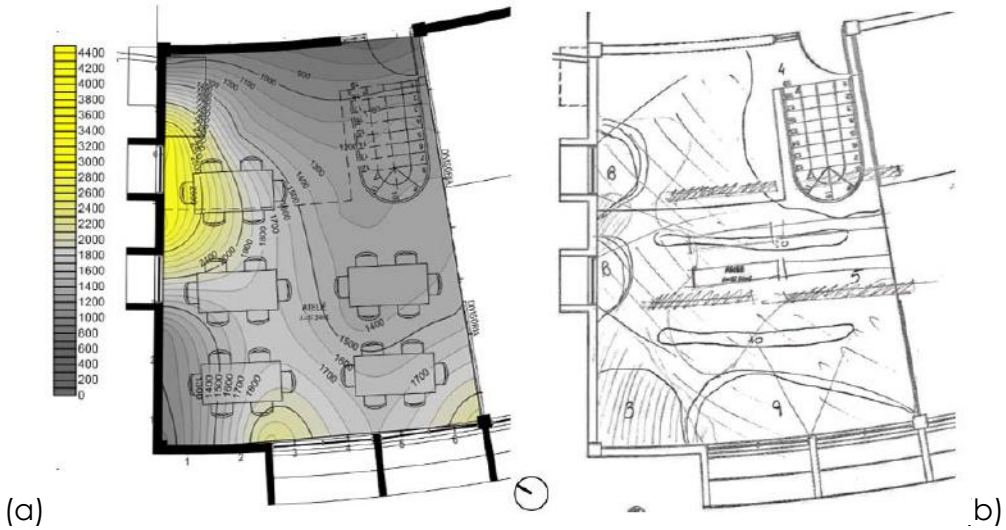
(a) b)

Fonte: Os autores

Medição 03

Percebeu-se neste caso, que os níveis de iluminância da sala se intensificaram com relação às outras medições (Figura 18a e b). Teve-se um aumento significativo na contribuição das janelas posicionadas para o norte, alcançando valores a cima de 4000lux. Como a medição foi realizada no período da tarde, a contribuição das aberturas zenitais superiores é mais intensa, sendo observada radiação solar direta no piso e nas áreas de trabalho. Esta radiação direta gera problemas na execução das tarefas, podendo ocasionar incômodo por ofuscamento e aquecimento, e foram pontuadas pelos alunos tanto nos desenhos como no diálogo realizado com os mesmos.

Figura 18 – (a) Curvas ISOLux Medição 03. (b) sobreposição dos desenhos dos alunos



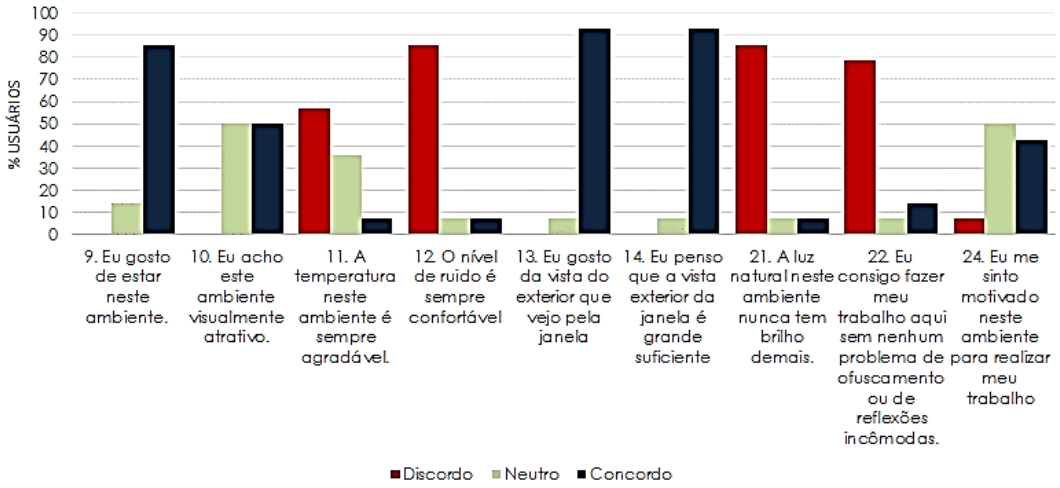
(a) b)

Fonte: Os autores

3.2 Questionários

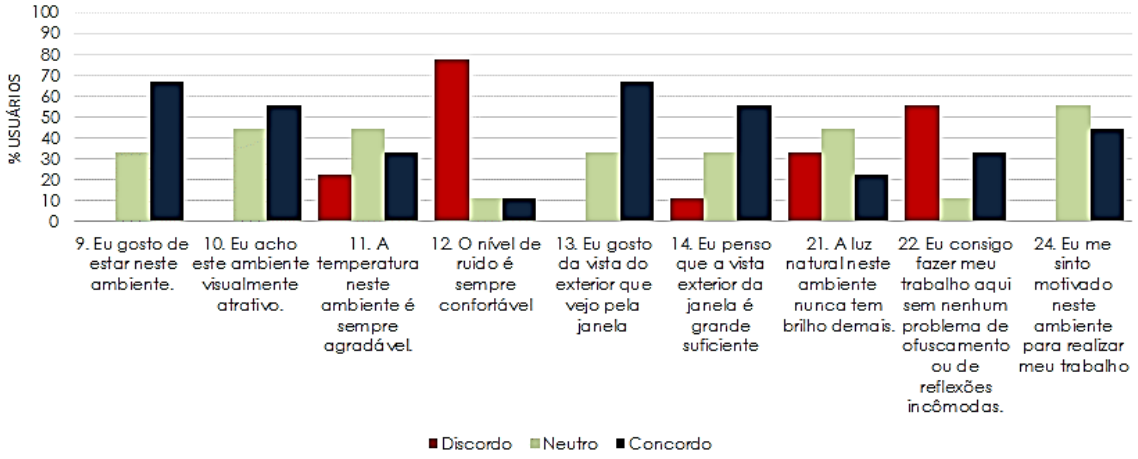
Foram selecionadas as principais perguntas do questionário das três medições para serem representadas nos Gráficos 01,02 e 03. As respostas com opção "concordo muito" foram agrupadas no grupo "concordo", assim como as opções "discordo muito" foram agrupadas no grupo "discordo", com a finalidade de facilitar a leitura e interpretação dos dados positivos e negativos.

Gráfico 01 – Respostas questionário, medição 01



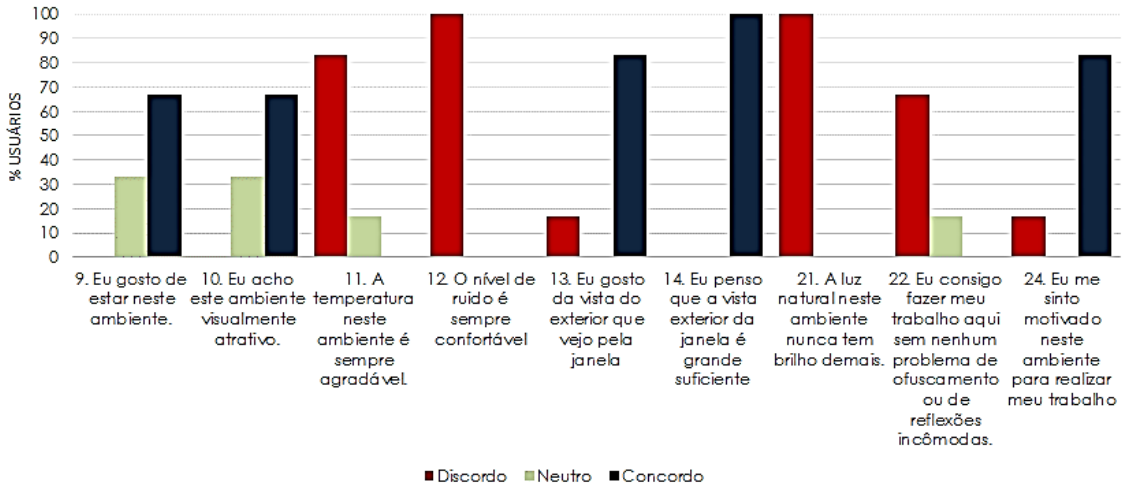
Fonte: Os autores

Gráfico 02 – Respostas questionário, medição 02



Fonte: Os autores

Gráfico 03 – Respostas questionário, medição 03



Fonte: Os autores

Através dos gráficos foi feita análise global das respostas com relação ao ambiente em análise. Considerando o total de 29 participantes e agrupando os resultados dos questionários de cada medição, encontra-se, de uma maneira geral, resultado qualitativamente favorável ao espaço. Na questão 09, 76% dos 29 entrevistados indicaram gostar de permanecer na sala, enquanto que nenhum informou o contrário. Já na questão 24, 52% dos entrevistados alegaram sentirem-se motivados no ambiente, enquanto que apenas 7%, optaram pelo contrário. As respostas reiteram o senso comum de que usuários mais satisfeitos com um ambiente tendem a estar mais motivados para nele trabalharem.

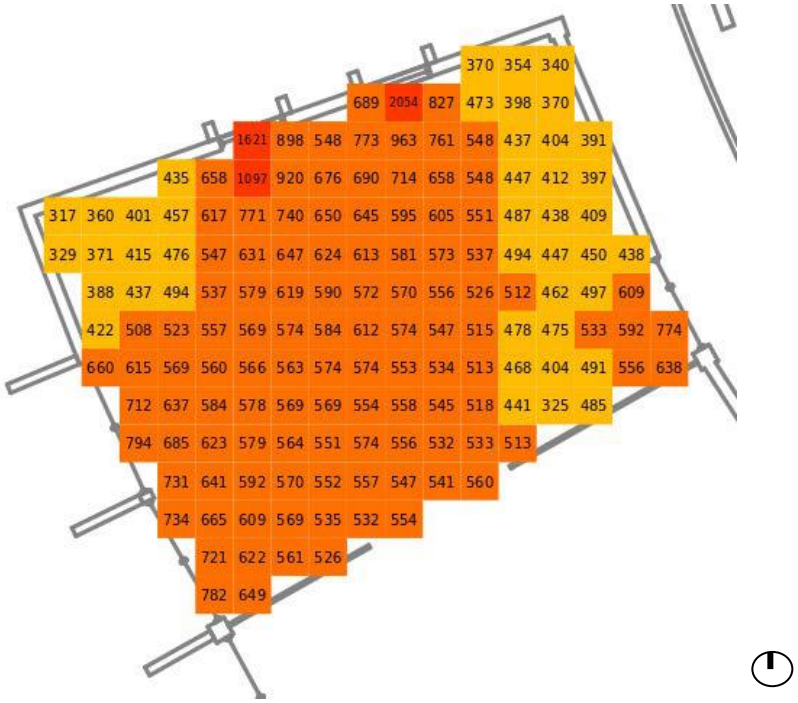
Do ponto de vista do conforto visual, 55% dos entrevistados informaram que o ambiente é visualmente atrativo, enquanto nenhum informou o contrário. É possível perceber uma relação da percepção visual com a motivação do usuário votante. Dessa forma, na medida em que os usuários se apresentaram mais motivados, os votos individuais de cada usuário para conforto visual, também foram progressivamente superiores. Do ponto de vista do conforto térmico, na questão 11, 52% dos entrevistados informaram haver algum problema referente a temperatura em ao menos algum período do ano, enquanto que apenas 14% informou estar sempre termicamente satisfeito com o ambiente. Com relação ao conforto acústico, 86% dos entrevistados informaram haver algum problema referente a qualidade acústica em ao menos algum período do ano, enquanto que apenas 7% informou estar sempre acusticamente satisfeito com o ambiente.

Ante o exposto, e considerada a maior correlação percebida para a variável "conforto visual" e "motivação do usuário" no caso em estudo, a análise seguinte pretende explorar dentre as variáveis de conforto visual pesquisadas, aquelas que possivelmente tenham desempenhado papel mais relevante para a consideração 100% neutra ou positiva que configuraram os votos para a atratividade visual do ambiente. As questões 13 e 14, 83% dos entrevistados informaram serem os visuais externos adequados e grandes suficientes, enquanto que apenas 3,5% dos usuários mostraram-se insatisfeitos com os visuais e o tamanho das aberturas. Usuários que consideraram o ambiente visualmente confortável tenderam a considerar a vista proporcionalmente adequada. As questões 21 e 22, 73% dos usuários assinalaram a existência de excessos de brilho e outros 69% também se demonstraram insatisfeitos quanto à problemas de ofuscamento e reflexões incômodas. Interessante observar, que em sua maioria, usuários que consideraram o ambiente visualmente confortável declararam baixa percepção quanto a ocorrência de brilhos, ofuscamentos e reflexões incômodas. Finalmente, considera-se que os usuários se manifestaram majoritariamente insatisfeitos acerca da ocorrência de ofuscamentos e reflexões incomodas no ambiente.

3.3 Simulação

Nas simulações estáticas, para 4 dias representativos do ano (21 de março; 21 de junho; 21 de setembro; 21 de dezembro), foram observados valores de iluminância em sua maioria em torno de 500 a 1000lux, exceto para o mês de junho (de 200 a 400lux). Nas Figuras 19,20,21 e 22 estão representados em amarelo valores até 500lux, em laranja valores até 1000lux e em vermelho valores acima de 1000lux. Observa-se na Figura 18, que até mesmo os cantos da sala, na pior situação de contribuição da luz natural (21 de junho), ficariam com valores simulados de 200lux em praticamente todos os pontos, mais uma vez comprovando que a sala pode, em período diurno, funcionar sem o uso de iluminação artificial. Nos trechos próximos às aberturas voltadas para norte, foi encontrado valores elevados entre 1300 a 7000lux. O excesso de iluminação nestes pontos do ambiente, de 2 a 4 vezes maiores que os valores observados no fundo da sala, resultam em contrastes excessivos prejudicando o conforto visual.

Figura 19 – Simulação 21 março ao meio dia (lux)



Fonte: Os autores.

Figura 20 – Simulação 21 de junho ao meio dia (lux)



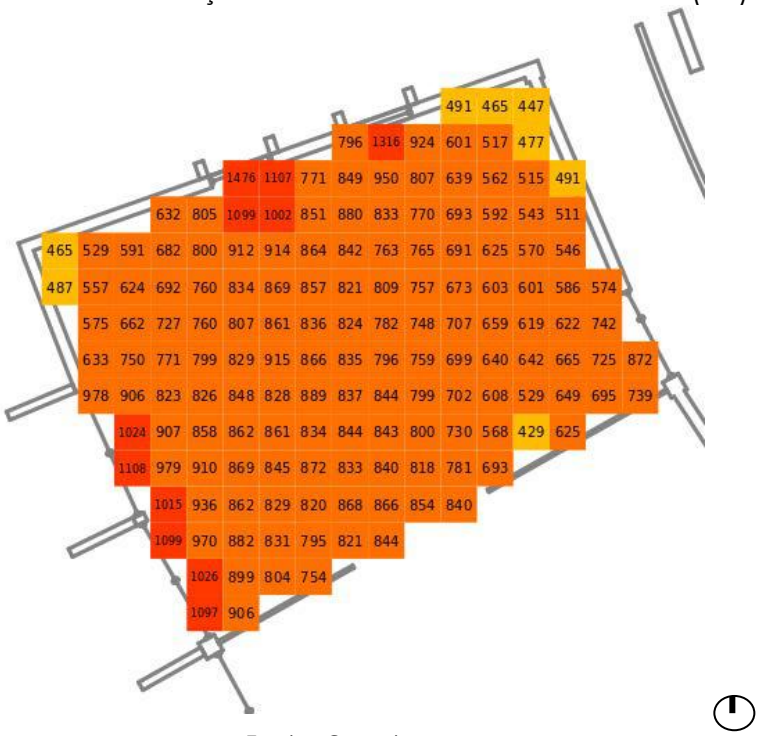
Fonte: Os autores.

Figura 21 – Simulação 21 de setembro ao meio dia (lux)



Fonte: Os autores.

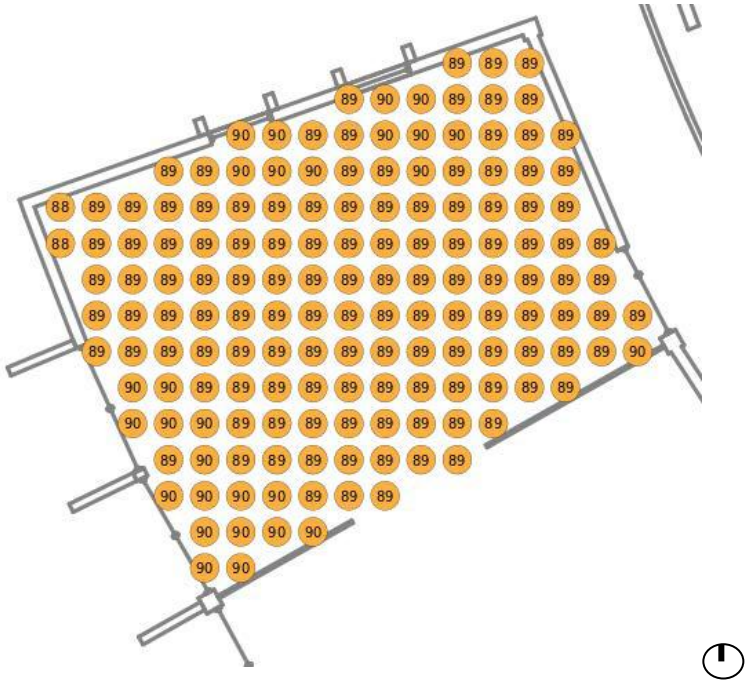
Figura 22 – Simulação 21 de dezembro ao meio dia (lux)



Fonte: Os autores.

Nos resultados anuais, foram avaliadas as medidas sDA, ASE e UDI já mencionadas no método. As simulações resultaram em um $sDA_{(300,50\%)}$ igual a 100%, ou seja, 100% da sala possui 300lux em 50% do tempo. Este resultado atende os valores mínimos estabelecidos pela LM8312. Na Figura 23 estão representados em laranja os valores de porcentagem de horas que superam o alvo de 300lux.

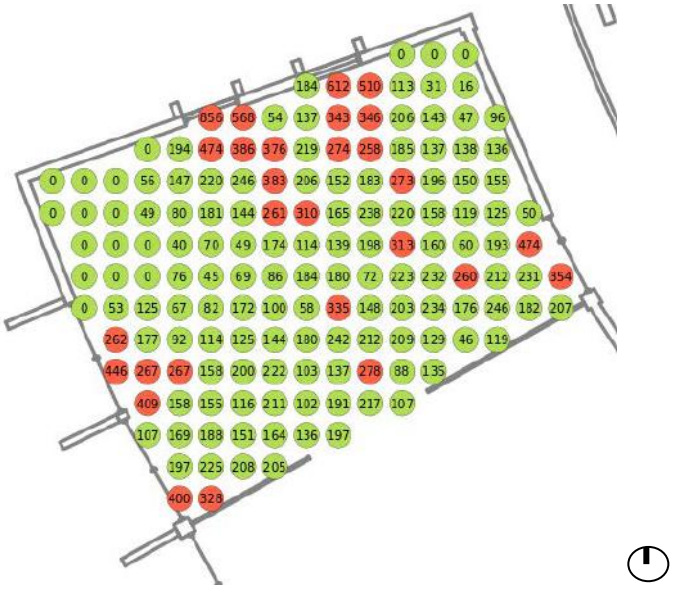
Figura 23 – Análise Anual sDA 100% (%)



Fonte: Os autores.

Quanto às horas de exposição solar anual ASE(1000,250h), tem-se 18,06% dos pontos da malha com luz solar direta (mais de 1000lux, em 250h do ano). Partes do ambiente possuem grande exposição solar – como por exemplo nos trechos já mencionados onde há incidência de radiação direta - contraponto com áreas onde não há exposição. Na Figura 24 tem-se em vermelho os valores que atingem o alvo de 1000lux mais de 250h.

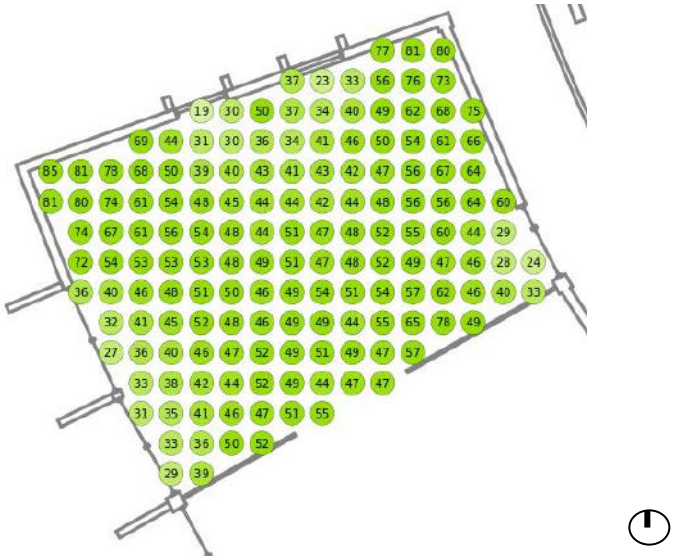
Figura 24 – Análise anual ASE 18.06% (h)



Fonte: Os autores.

A resultante para a medida UDI(100,3000), foi igual a 49,67%, representando a porcentagem anual em que a sala obteve valores entre 100 e 3000lux. Percebe-se que as porcentagens próximas às aberturas são menores em função de apresentar iluminâncias, em boa parte do ano (principalmente verão), acima de 3000lux.

Figura 22 – Análise anual UDI 49,67% (%)



Fonte: Os autores.

4 CONCLUSÕES

No geral a sala apresentou níveis de iluminâncias, tanto medidos como simulados, maiores que 300lux para execução das tarefas ali desenvolvidas. Sabe-se que os resultados obtidos das medições *in loco* são apenas uma pequena amostra, influenciada pelas condições de iluminação do dia e hora de medição. Na medição, a sala obteve a maioria dos pontos entre 300lux e 1000lux, confirmando os valores simulados para sDA igual a 100%. Quanto à ASE(1000,250h), pode-se sugerir que o valor de 1000lux estipulado pela LM8312 é um limite relativamente baixo, sendo aceito pelos usuários valores mais elevados, considerando que 76% dos entrevistados responderam que gostam de estar neste ambiente e apenas 7% se dizem não motivados em realizar suas tarefas. O resultado comparativo da simulação e das medições sugeriu que a sala poderia ser reavaliada com diferentes alvos.

Considerando a falta de uniformidade em algumas épocas do ano, e o diálogo com os usuários do espaço, pode-se confirmar que e a contribuição intensa de luz natural gera muitas vezes desconforto por ofuscamento, ocasionado pelo contraste e as diferenças de brilho. Porém, ao avaliar as respostas dos usuários percebe-se que, embora cerca de 70% dos usuários tenham relatado problemas ocasionados por reflexões incômodas, excessos de brilho e ofuscamento, nenhum considerou o ambiente visualmente inadequado. Em contrapartida, uma considerável correlação foi constatada entre as variáveis relacionadas à vista externa e o conforto visual no ambiente, o que sugere que, embora problemas tenham sido apontados, estes talvez não tenham sido suficientemente negativos de modo a alterar a percepção visual positiva dos usuários. Ressalta-se que medidas de desempenho baseadas em luminâncias do campo visual, que podem ser avaliadas através da técnica HDR (High Dynamic Range), por exemplo, permitem avaliar mais precisamente a probabilidade de ofuscamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes e ao CNPQ pelo apoio financeiro; à equipe do programa LightStanza, por disponibilizar cotas gratuitas do programa; e aos participantes dos questionários, pelo apoio e envolvimento na pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: interior. Abril, 2013.

_____. **NBR15215-4**. Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Brasil. Novembro, 2014.

HESHONG, L. **Daylight Metrics**. Heshong Mahone Group - Public Interest Energy Research - California Energy Commission fevereiro de 2012, 2011. (CEC-500-2012-053), 387 p.

LAMBERTS et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LM83-12. **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** Outubro, 2012.

VAN Den Wymelenberg, Kevin; INACINI, Mehlika; JOHNSON, Peter. **The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment**. Integrated design lab – University of Idaho. Outubro, 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO TÉRMICO PARA NOVAS EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS NA ANTÁRTICA[1]

SIRTULI, Bruna Perovano (1); COSTALONGA, Filipe Galina (2); ALVAREZ, Cristina Engel de (3); Nico-Rodrigues, Edna Aparecida (4)

(1) UFES, brunapsirtuli@gmail.com; (2) UFES, filipegcostalonga@gmail.com; (3) UFES, crisina.engel@ufes.br; (4) UFES, edna.rodrigues@ufes.br

RESUMO

As características de inospicidade, bem como as condições climáticas da Antártica (temperaturas baixas, ventos com alta velocidade, isolamento e necessidade de preservação do ambiente natural) requerem estudos em várias áreas que abrangem o conforto ambiental nas edificações. Esta pesquisa objetivou avaliar o desempenho térmico das novas instalações da Estação Antártica Comandante Ferraz, pertencente ao Brasil e que ainda não teve sua construção iniciada, com o propósito de definir parâmetros para edificações com características semelhantes. Os procedimentos metodológicos incluíram etapas de modelagem, configurando-se as características e as propriedades dos materiais, os ambientes a serem avaliados, como também o período. Como instrumento, foi utilizado o software *DesignBuilder*. Posteriormente foram feitas as simulações e a definição da metodologia de avaliação. Os resultados permitiram avaliar o desempenho da envoltória em pontos previamente definidos da Estação, propiciando pontuar as melhorias no edifício e as possíveis alterações nos materiais da envoltória. A alternativa proposta foi de adicionar à envoltória, isolantes térmicos diferenciados nos ambientes localizados nas extremidades, assim como os revestimentos propostos para o piso e teto, onde o contato com o exterior é mais direto.

Palavras-chave: Estação Antártica Brasileira. Desempenho Térmico. DesignBuilder.

ABSTRACT

The characteristics of conspicuity and the climatic conditions of Antarctica (low temperatures, high speed winds, isolation and need to preserve the natural environment) require studies in several areas including environmental comfort in buildings. This research aimed to evaluate the thermal performance of the new facilities of the Comandante Ferraz Antarctic Station, belonging to Brazil and have not yet started construction, in order to set parameters for buildings with similar characteristics. The methodological procedures included modeling steps, setting the characteristics and properties of materials, environments to be evaluated, as well as the period. As a tool, it was used DesignBuilder software. Later simulations and the assessment methodology of the definition were made. The results evaluating the performance envelope in fixed locations of the Station, providing scoring improvements in building and possible changes to the materials of the envelope. The alternative proposal was to add to the envelope, different thermal insulation in environments located at the ends, as well as the coatings proposed for the floor and ceiling, where contact with the outside is more direct.

[1] Sirtuli, B. P.; Costalonga, F. G.; Alvarez, C. E. de; Nico-Rodrigues, E. A. Estabelecimento de parâmetros para novas edificações brasileiras na Antártica a partir dos resultados de desempenho da Estação Antártica Comandante Ferraz. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ENTAC, 2016.

***Keywords**: Antarctica. Termal performance. DesignBuilder.*

1 INTRODUÇÃO

A produção arquitetônica de grandes centros urbanos, assim como na Antártica, deve considerar os condicionantes ambientais que possam interferir no processo construtivo. No entanto a Antártica, diferentemente do meio urbano tradicional, apresenta particularidades como, por exemplo, condicionantes ambientais rigorosos que influenciam e tornam complexos os processos de construção (MONTARROYOS, 2015).

A primeira ocupação brasileira na Antártica ocorreu em 1984, com a primeira equipe composta de doze homens, guarnecendo os oito módulos da estação Antártica Comandante Ferraz - EACF (SECIRM, 2014). A Estação sofreu sucessivas ampliações e reformas ao longo do tempo, muitas vezes de forma aleatória e com nenhuma preocupação formal ou ambiental (ALVAREZ et al., 2004).

Em fevereiro de 2012 um incêndio destruiu o corpo principal da EACF e nas imediações foram instalados os Módulos Antárticos Emergenciais – MAE, que estão em funcionamento desde o início de 2013, servindo para dar continuidade às atividades da Estação (MECH, 2013).

Depois do incêndio de 2012, foi iniciado o processo de contratação do projeto para as novas edificações por meio da elaboração de um Termo de Referência, cujo conteúdo buscava dar enfoque, além das informações técnicas necessárias aos projetistas, o posicionamento do Brasil frente ao novo desafio que se apresentava: reconstruir a Estação Científica de forma que atendesse aos anseios da comunidade científica e que servisse como referência para futuras edificações na Antártica (SECIRM, 2014).

Para o desenvolvimento do Termo de Referência que orientou o concurso de projetos para a Estação brasileira, várias estações foram estudadas e, entre elas, a Princess Elisabeth (2007), pertencente à Bélgica, cuja tecnologia da envoltória é composta por elementos em madeira laminada e vedações compostas por um conjunto de nove camadas e revestido com laminas de aço inoxidável.

A Amundsen-Scott Station (2008) pertencente aos EUA, foi construída em aço com vedação em painéis compostos por duas folhas de *Oriented Stand Board* – OSB, sendo o isolamento em Poliestireno Expandido – EPS (MONTARROYOS, 2015). Outra referência foi a Estação Neumayer III (2009) da Alemanha, tendo como técnica construtiva, containers envoltos por estrutura modular de aço e revestimento externo com painéis metálicos e internamente com painéis de magnésio e plástico com fibra de vidro. O isolamento é feito com poliuretano expandido e fibra mineral. Já a Haley VI (2010), da Grã-Bretanha, se destaca por ser a primeira estação que permite uma completa relocação de seus módulos através de um sistema de trilhos que deslizam sobre o gelo. Possui uma subestrutura de aço como base do piso, e seu revestimento é feito com painéis de plástico reforçado com fibra

de vidro e isolamento com espuma de célula fechada de polisocianurato encapsulados nos painéis - GPR.

Os aspectos relacionados ao conforto térmico assumem substancial importância em ambientes como a Antártica, tanto pela busca de maior eficiência no desempenho das atividades, como no que tange à segurança e bem-estar dos usuários de uma edificação. Considerando ainda que edificações adequadamente projetadas significam maior eficiência nos sistemas de acondicionamento térmico – e consequente redução na demanda energética – os estudos relacionados ao tema também possuem grande importância no conceito de sustentabilidade na construção civil (FANTICELE, 2011).

Esse panorama justificou a necessidade de estudos mais aprofundados sobre os materiais propostos para as novas edificações da Estação, sendo assim, a pesquisa objetivou avaliar comparativamente o desempenho térmico de dois ambientes localizados em situações distintas na edificação, buscando tanto avaliar o desempenho comparativo como, também, propor alternativa de melhoria no sistema construtivos e, eventualmente, proposições de materiais mais eficientes.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi estabelecida a partir de três etapas principais:

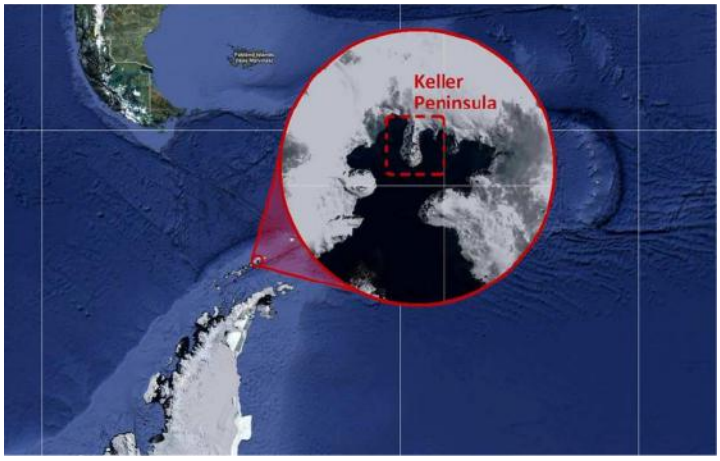
a) Caracterização da Antártica e da Estação Antártica Comandante Ferraz;
b) Realização de Modelagem e Simulações; e
c) Avaliação do desempenho térmico.

2.1 Caracterização da Antártica e da Estação Antártica Comandante Ferraz

A Antártica é a região do planeta mais sensível às mudanças climáticas, cujas alterações podem ser facilmente perceptíveis. Além disso, a Antártica possui muitas riquezas minerais e detém cerca de 90% do gelo e 80% da água doce da Terra, sendo que esse grande manto de gelo atua como grande sorvedouro do calor terrestre e tem um papel fundamental no sistema climático global (ALVAREZ, 2007).

A região possui características ambientais peculiares: baixas temperaturas, fortes rajadas de vento, isolamento e preservação do ambiente natural, que induzem a um processo de ocupação humana de forma sustentável (CRUZ et al., 2007). A Península Keller (Figura 1), encontra-se inserida na Área Antártica Especialmente Gerenciada - AAEG da Baía do Almirantado, localizada na Ilha Rei George, a cerca 4000Km da cidade de Rio Grande (RS) e a 3200Km do Polo Sul (SOUZA, 2008). Destaca-se que a Ilha Rei George, configura-se como a região mais povoada da Antártica (REIS e ALVAREZ, 2015).

Figura 1 - Esquema de localização da Península Keller



Fonte: BRASIL, 2012

As novas edificações da EACF serão construídas no mesmo local da anterior, na Ilha Rei George, Península Keller. Seu projeto data do ano de 2013 e sua construção possui previsão para término no ano de 2018, segundo a Defesa Aérea e Naval (2016). Os vários ambientes possuem uma área de 4.500 m² dividida em seis setores distintos: social, privativo, serviços, operação/manutenção, laboratórios e módulos isolados e conformando blocos funcionais e unidades isoladas – Uis, que, em sua configuração final, constituirão a base para as atividades de operação e pesquisa.

Destaca-se a área de laboratórios com 14 unidades, projetadas para atenderem a uma grande quantidade de exigências, evidenciando a prioridade do Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR, para as atividades científicas (SECIRM, 2014). O projeto foi desenvolvido considerando as melhores práticas de sustentabilidade e deve constituir-se em uma instalação de excelência, da mais alta qualidade, para a promoção de seu objetivo principal, a pesquisa científica (ESTÚDIO 41, 2013).

O conjunto foi projetado a partir de containers que gerarão os ambientes, e que serão posteriormente envelopados por um sistema composto por materiais isolantes e com propriedades que amenizem a incidência da névoa salina e as baixas temperaturas.

2.2 Modelagem e Simulações

Para a realização dos ensaios por simulações, foi necessário definir as características do lugar e os dados de entrada do modelo, conforme a seguir detalhado.

Para a análise das condições climáticas da Antártica foi adotado o arquivo climático EPW - *EnergyPlus Weather* referente ao ano de 2002 (LABORATÓRIO, 2015). Para definir as temperaturas médias mensais de solo

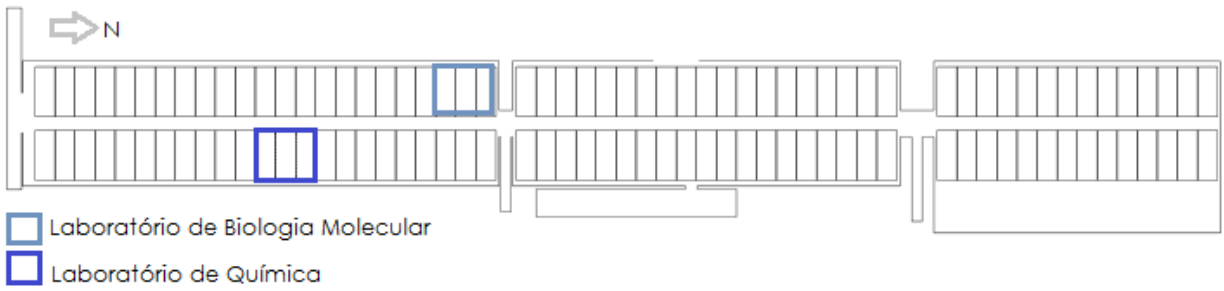
foram adotadas as médias das temperaturas do ar externo para cada mês (DESIGNBUILDER, 2015). Para as simulações, considerando as condições da região em estudo, as janelas não terão a função de ventilar, assim sendo o modelo foi configurado com as mesmas fechadas. A tipologia arquitetônica adotada para as simulações foi a do projeto das novas edificações da EACF.

Foram adotados os valores referenciais das propriedades térmicas dos componentes construtivos relacionados à envoltória da edificação, bem como as características de vestimentas e atividades realizadas pelos usuários dos laboratórios, apresentados na Tabela 1. A eleição do tipo de vestimenta e de atividade está relacionada com as condicionantes climáticas atípicas da Antártica, bem como ao tipo de uso dos Laboratório de Biologia Molecular e Química.

A envoltória é composta por painéis sanduíche constituídos de duas superfícies externas produzidas a partir de bobina de aço galvanizado com 0,75mm de espessura cada e revestidas com pintura de Fluoreto de Polivinilideo (PVDF), com camada interna de espuma rígida de poliuretano (PUR). O painel é usado na edificação para cobertura, vedação vertical externa, piso e possui dois tipos, com 220 mm e com 170 mm (REIS; ALVAREZ, 2015).

As simulações foram efetuadas nos dois laboratórios localizados em um mesmo bloco funcional no mesmo pavimento, sobre pilotis, a 5,29 metros do solo (Figuras 2 e 3). O Laboratório de Biologia Molecular está localizado em uma das extremidades do bloco (Figura 4), possuindo duas de suas faces na envoltória da edificação e o Laboratório de Química, em uma posição mais central, com apenas uma face na envoltória (Figura 5). Foi simulada a orientação proposta em projeto, considerando o período de verão (21/dez a 21/mar) e o período de inverno (21/jun a 23/set).

Figura 2: Localização dos ambientes simulados



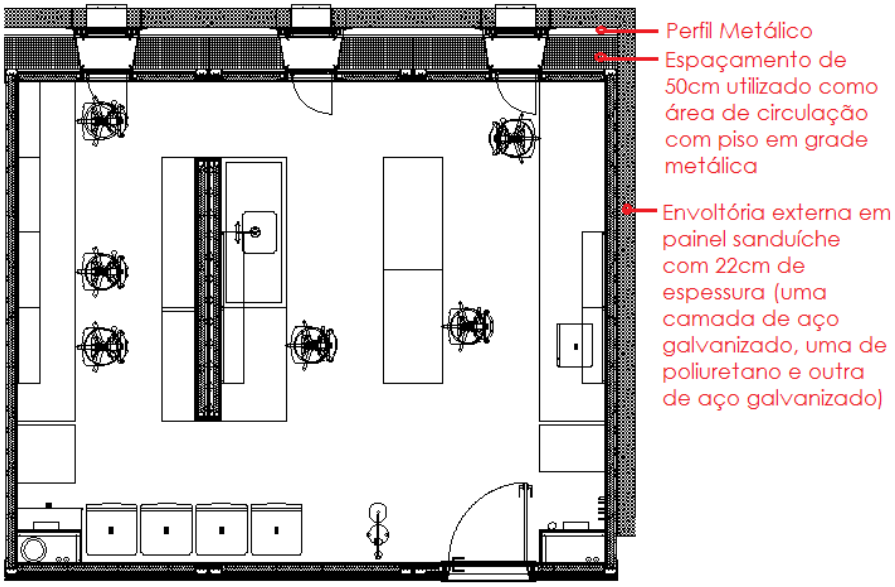
Fonte: Planta esquemática adaptada de ESTUDIO 41 (2013)

Figura 3: Perspectiva EACF



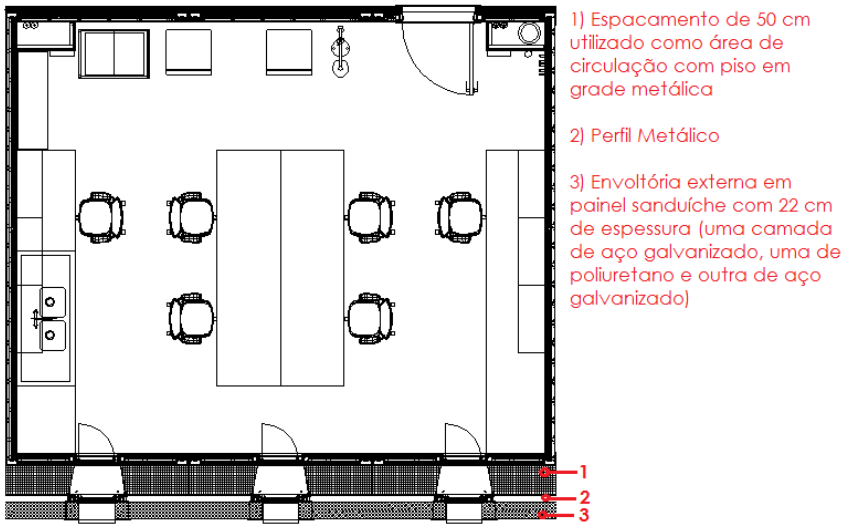
Fonte: ESTUDIO 41 (2013)

Figura 4: Planta Laboratório de Biologia Molecular



Fonte: ESTUDIO 41 (2013)

Figura 5: Planta Laboratório de Química



Fonte: ESTUDIO 41 (2013)

Tabela 1 - Propriedades dos materiais das camadas das paredes, teto e piso dos Laboratórios

Dimensões	
Área do Ambiente (Laboratório de Biologia Molecular - LBM)	39,05 m²
Área do Ambiente (Laboratório de Química - LQ)	40,83 m²
Paredes Internas e Envoltória	
Paredes internas (LBM/ LQ): chapa de aço corrugado (container), montante "C" metálico em aço galvanizado (70 mm), lã de rocha 70kg/m³ (70 mm), manta de polietileno 2,5kg/m³ (2 mm), 2 placas em gesso com aditivo de fibra incombustível (12,5 mm cada)	15 cm (espessura)
Transmitância Térmica piso, paredes e teto (U)	0,185 W/(m².K)
Lajes	12 cm (espessura)
Emissividade (ε) das paredes e teto*	-
Absortância (α)das paredes e teto**	-
Transmitância térmica do vidro***(U)	1,1 W/(m².K)
Transmitância Térmica da moldura de alumínio das esquadrias (U)	5,88 W/(m².K)
Envoltória: chapa de aço galvanizado (0,75 mm), poliuretano (205 mm, chapa de aço galvanizado (0,75 mm)	22 cm (espessura)
Ambiente ocupado e com cargas internas (LBM/LQ)	
Densidade de Ocupação (LBM)	0,15 pessoa/m²
Densidade de Ocupação (LQ)	0,14 pessoa/m²
Vestimenta	0,50 clo (inverno) e 1,0 clo (verão)
Metabolismo Atividade: trabalhos leves de laboratório	123 W/pessoa
Padrão de ocupação (LBM/LQ): 6 pessoas	07h00 – 20h00
Iluminação Artificial	4,1 W/m²
Equipamentos	0,47 W/m²
*Emissividade (ε) das paredes e teto	
chapa de aço	0,30
montante metálico	0,30
lã de rocha	0,90

manta de polietileno	0,90
placas de gesso	0,90
**Absortância (α) das paredes e teto	
chapa de aço	0,30
montante metálico	0,30
lã de rocha	0,60
manta de polietileno	0,70
placas de gesso	0,50
*** Vidro Triplo Insulado (6-8-6mm)	

Fonte: elaborado a partir da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

2.3. Avaliação de desempenho térmico

Para avaliação das condições de desempenho térmico foram utilizadas as temperaturas operativas horárias e a temperatura de conforto, definida pela norma ISO – *International Standart* 7730 (INTERNATIONAL, 2005), cujos critérios para a definição da temperatura de conforto foram os tipos de atividade, a vestimenta de 0,5 clo para o verão, e 1,0 clo para o inverno, considerando a melhor categoria (A), conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios para a temperatura operativa em diversos tipos de edificações

Type of building/space	Activity W/m²	Category	Operative temperature °C		Maximum mean air velocity [a] m/s	
			Summer (cooling season)	Winter (heating season)	Summer (cooling season)	Winter (heating season)
Single office Landscape office Conference room Auditorium Cafeteria/restaurant Classroom	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 [b]
Kindergarten	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10 [b]
		B	23,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,18	0,15 [b]
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19 [b]
Department store	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13 [b]
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15 [b]
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18 [b]

Fonte: Adaptado da Norma ISO 7730. (INTERNATIONAL..., 2005)

Para a definição das temperaturas máximas de conforto, determinou-se a temperatura média mensal externa, com a utilização de *software DesignBuilder* versão 4. 5. 0. 128 Beta – DBSIM.

Para a avaliação do desempenho térmico do ambiente, foram utilizados indicadores baseados na abordagem estatística para o conforto térmico proposto por Nico-Rodrigues (2015), que analisou as alterações da temperatura operativa durante as 24 horas do dia, para o período do verão e do inverno.

2.3.1 Indicadores

Definiu-se indicadores para a sistematização dos dados: a Frequência de Desconforto Térmico - FDT e os Graus-horas de desconforto térmico – GhDT, e para relacioná-los utilizou-se dos diagramas de flutuabilidade (NICO-RODRIGUES, 2015).

A FDT equivale ao percentual de tempo, hora inteira, em que a temperatura operativa está acima do valor máximo de temperatura de conforto. Esse indicador quantifica as horas em desconforto, na unidade de porcentagem, durante determinado intervalo de tempo, e o valor máximo remete ao limite máximo do período. Nesta pesquisa, a proposta foi a de analisar períodos diários, correspondendo à frequência máxima de 100%.

O GhDT é determinado pela diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto, quando a temperatura operativa ultrapassa o valor definido da temperatura de conforto. O valor máximo de referência adotado é resultante das simulações, obtendo-se o maior valor de GhDT. Para a análise dos indicadores FDT e GhDT adotou-se o diagrama de flutuabilidade, que facilita a avaliação e individualiza as melhorias de alguns parâmetros adotados como solução. O diagrama considera a avaliação da frequência em dois níveis: temporário e frequente; e a condição de intensidade para os graus-horas nos níveis leve e intenso (Figura 6).

Figura 6 – Diagrama de flutuabilidade dos indicadores FDT e GhDT



Fonte: Nico-Rodrigues (2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação dos condicionantes

Os resultados das simulações definiram as temperaturas do ar interno de hora em hora, dos Laboratórios de Química e Biologia Molecular para a determinação do desempenho térmico da edificação.

Os resultados foram submetidos a tratamento estatísticos para definir os valores máximos de GhDT diário, sendo este o valor referência utilizado para a análise dos dois laboratórios (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores referências máximos para o GhDT em cada estação

Estações	Ambiente	GhDT
Inverno	Laboratório de Biologia Molecular	**170,2 °C.h/dia**
	Laboratório de Química	158,28 °C.h/dia
	Máx. de GhDT = 15998,8 °C.h/dia = 94 dias (inverno) x 170,2°C.h/dia	
Verão	Laboratório de Biologia Molecular	**166,4 °C.h/dia**
	Laboratório de Química	154,25 °C.h/dia
	Máx. de GhDT = 14976,9 °C.h/dia = 90 dias (verão) x 166,4 °C.h/dia	

Fonte: As autoras.

3.2 Simulações

As simulações possibilitaram avaliar o desempenho térmico de acordo com os materiais utilizados em sua envoltória, destacando a utilização de aquecimento artificial.

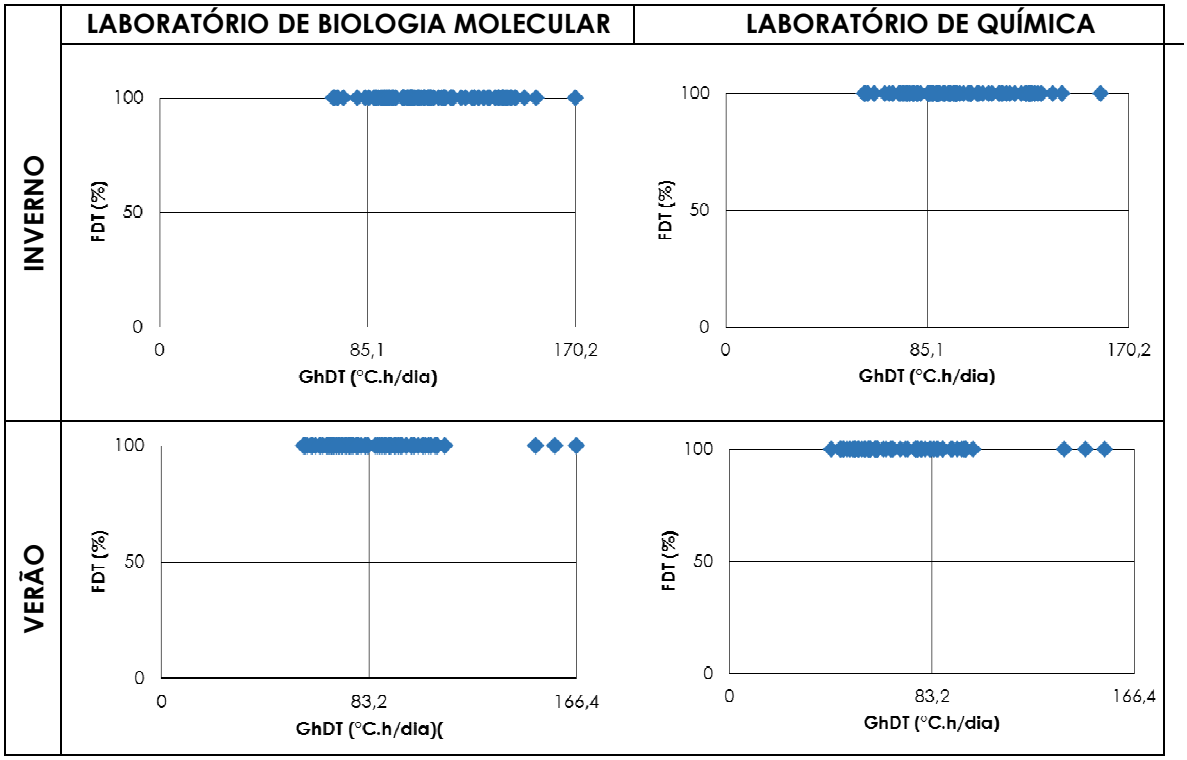
A primeira série de resultados demonstrou as condições internas do ambiente Laboratório de Biologia Molecular e a segunda do ambiente Laboratório de Química. Os valores de FDT e GhDT obtidos para cada dia foram mostrados no diagrama de flutuabilidade, caracterizando as condições térmicas finais para o conforto térmico (Figura 7). Ressalta-se que o diagrama de flutuabilidade relaciona os valores de FDT com o maior valor de GhDT de cada estação do ano, demonstrando as situações diárias, sendo a melhor condição aquela que converge para a origem.

Os resultados das simulações demonstraram que os dois laboratórios não atendem às condições de conforto térmico determinada pela norma ISO 7730 (temperatura de 23°C). No entanto, o Laboratório de Química possui melhores resultados de desempenho se comparado ao Laboratório de Biologia Molecular. Observou-se que os resultados de FDT e GhDT indicaram dois níveis de sensações de desconforto:

(a) Dias com desconforto frequente e leve; e

(b) Dias com desconforto frequente e intenso.

Figura 7: Diagramas de flutuabilidade das estações do verão e inverno

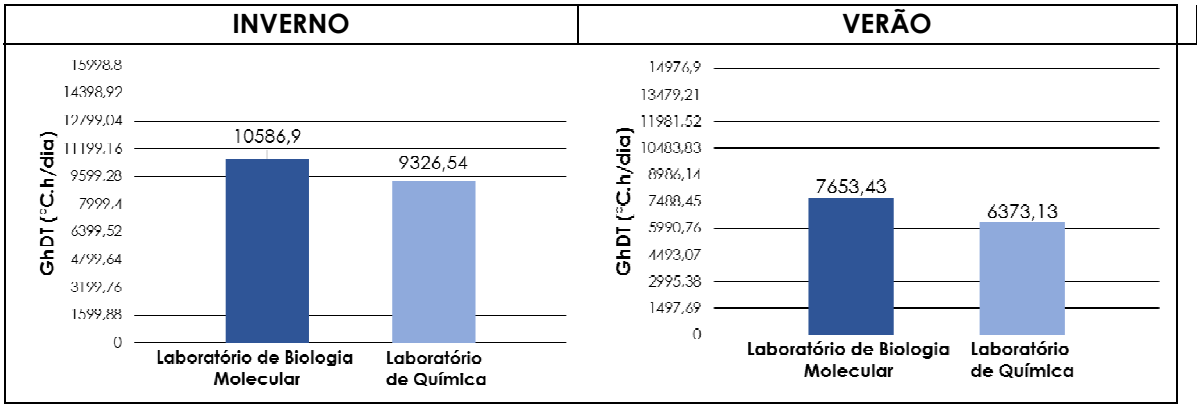


Fonte: As autoras.

Os resultados para o Laboratório de Biologia Molecular determinaram para as estações do verão e do inverno ambiente desconfortável, porém na análise comparativa com o Laboratório de Química ficaram evidenciadas pequenas alterações, para melhor, nas condições internas do ambiente (Figura 8). Observou-se que o total de GhDT (°C.h/dia) obtido no Laboratório de Química teve uma diminuição de 1260,36°C.h/dia a menos (11,90% de condições mais confortáveis)do que no Laboratório de Biologia Molecular, considerando o período do inverno.

Para a estação do verão, a diferença foi de 16,70% para condições mais favoráveis para o Laboratório de Química, com 1280,30°C.h/dia a mais no Laboratório de Biologia Molecular. O valor elevado de GhDT para o inverno é resultante das condições climáticas mais severas e que demonstra uma exigência maior na definição de materiais com propriedades isolantes maiores. Foram utilizados os valores de clo respectivas para o verão e o inverno, porém os resultados demonstraram que pode considerar apenas um valor de clo para todo o ano, visto que a temperatura operativa para as duas estações avaliadas é a mesma, ou seja, 23° C.

Figura 8: Resultado dos somatórios de GhDT para o inverno e verão



Fonte: As autoras.

Para a análise dos ambientes em separado, em ambas as estações, constatou-se:

a) Laboratório de Biologia Molecular: os valores da temperatura mantiveram-se constantemente abaixo do limite de conforto, classificando o desconforto como intenso, e um FDT frequente, no inverno. No verão as temperaturas mantiveram-se abaixo do limite, porém o desconforto é classificado como de leve para intenso, sendo que o FDT permanece intenso. Essa avaliação sugere a adoção de diretrizes construtivas diferenciadas no que se refere ao contato da envoltória com a parede do container, pois o ambiente possui dois lados voltados para o exterior. Em um deles há o espaçamento de 50 cm entre a parede do container e a envoltória em que a temperatura é mantida a 10°C, e no outro a parede do container não possui o espaço atenuador de temperatura. Sugere-se que nesta parede utilize o mesmo espaçamento.
b) Laboratório de Química: os valores da temperatura mantiveram-se constantemente abaixo do limite de conforto, classificando o desconforto como intenso, e um FDT frequente no inverno. No verão as temperaturas mantiveram-se abaixo do limite, porém o desconforto é classificado como de leve para intenso, o FDT permanece intenso. No entanto, apesar da indicação de desconforto, se comparado ao outro laboratório, este ambiente apresentou temperaturas mais satisfatórias. Essa avaliação sugere que a localização do ambiente influenciou nos resultados, pois este laboratório devido sua localização possui apenas uma face voltada para a envoltória, e com espaçamento entre a parede do container e a envoltória. Nesse aspecto, a melhoria da condição está associada à adoção de isolamento térmico mais eficaz.

Observa-se que os pontos isolados no diagrama caracterizam as alterações da temperatura operativa durante as 24 horas e demonstrou algumas alterações horárias, afetando as condições de conforto.

Os resultados das avaliações dos laboratórios revelaram que já ocorreram melhoras significativas com o uso da tecnologia construtiva adotada

quando comparado com os resultados anteriores das antigas edificações (FANTICELE, 2011), porém se comparadas ao referencial de temperatura que a norma indica são necessárias algumas adequações como, por exemplo, a adoção do espaçamento entre as paredes dos containers e a envoltória em todas as faces externas e a utilização de materiais isolantes mais eficazes tanto nas paredes, piso e teto internos, quanto na envoltória.

4 CONCLUSÕES

Após a definição dos condicionantes e parâmetros necessários para as simulações, o método objetivou analisar o desempenho do ambiente para edificações na Antártica, com foco no conforto térmico. Os indicadores permitiram um entendimento das condições internas dos ambientes, com base nas flutuações diárias da temperatura operativa, orientando para a adoção de soluções adequadas para a melhoria do conforto térmico.

Esta pesquisa ateve-se à influência da envoltória no desempenho térmico, considerando a técnica construtiva adotada para a nova EACF. Os resultados demonstraram melhoras se comparados aos modelos anteriores, porém ainda necessitam de intervenções para a melhora do desempenho térmico.

As condições internas dos laboratórios demonstraram resultados que indicam medidas para amenizar a influência dos condicionantes climáticos no ambiente interno, como isolantes com melhores desempenhos e espaçamentos entre as camadas da envoltória.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Fundação de Amparo à pesquisa do Espirito Santo- FAPES.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, C. E. de; CASAGRANDE, B.; CRUZ, D. O.; SOARES, G. R. Estação Antártica Comandante Ferraz: um exemplo brasileiro de adequação ambiental. In: I Conferencia Latino Americana de Construção Sustentável e 10a. Encontro Nacional de Tecnologias no Ambiente Construido, 2004, São Paulo. **Anais** do claCS'04 ENTAC'04. São Paulo : ANTAC, 2004. p. 1-15.

_____. CASAGRANDE, B.; SOARES, G. R. Resultados alcançados com a implementação do plano diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). In: **IV Encontro Nacional e o II Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Campo Grande: ANTAC, 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria n. 372, 17 de setembro de 2010, que estabelece Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível

de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **SECIRM.** 2012. Disponível em:https://www.mar.mil.br/secirm/documentos/reconstrucao/caracterizacaoEACF.pdf. Acesso em: 01/04/2016.

BRASIL. Defesa Área e Naval. **DEFESA AÉREA E NAVAL**. Disponível em: http://www.defesaaereanaval.com.br/tag/estacao-antartica-comandante-ferraz-eacf/. Acesso em: 01/04/2016.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 15251**: indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.

CRUZ, D. O.; ALVAREZ, C. E. de; REIS, N. C. 2007. A qualidade do ar interior da Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF. In: **Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis**, *Campo Grande*, 2007. ELECS.

DESIGNBUILDER. **DesignBuilder Software Ltda**. Version 4.5.0.128. 2015.

ESTUDIO 41. **Memorial descritvo de especificações: caderno de encargos**. Curitiba, 2013.

FANTICELE, F. B. **Avaliação de conforto térmico na Estação Antártica Comandante Ferraz**. 2011. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2011.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730 Ergonomics of the termal environment** – Analytical determination and interpretation of termal comfort using calculation of the PMV and PPD índices and local termal comfort criteria. Switzerland, 2005.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Seção Downloads. Arquivos climáticos em formato EPW. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: 16 abril. 2015.

MECH, K. 2013. How hard-wall Expandable Containers helped Brazil recover from na Antartic disaster. **Innovation: Journal of the assossiation of professional Engineers and Geoscientists of BC (British Columbia**), Burnaby, 17(3): 200-22.

MONTARROYOS, D. C. G. **Indicadores de sustentabilidade para edificações na Antártica**. 2015. 150f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2015.

NICO-RODRIGUES, E. A**. Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. 2015. 202f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Univerdidad del Bio-Bio, Concepción. 2015.

QUIROUETTE, R. Air pressure and the building envelope. **Canada Mortgage and Housing Corporation,** 2014.

REIS, T. C. dos; ALVAREZ, C. E de. Análise do ciclo de vida da Envoltória da Estação Antártica Comandante Ferraz. In: **Euro-ELECS**. Portugal, 2015.

SOUZA, J. E. B. de. 2008. **Brasil na Antártica: 25 anos de história**. São Carlos: Vento Verde Editora.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

VENTILAÇÃO NATURAL E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA BRASILEIRA: ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM MACEIÓ-AL[1]

SOBRINHO, Marcos S. P. (1); PASSOS, Isabela Cristina (2); SACRAMENTO, Alexandre da Silva (3); BRANDÃO, Osmar Damasceno (4)

(1) CESMAC, e-mail: marcos_sps@hotmail.com; (2) CESMAC, e-mail: isabela.arquitetura@gmail.com; (3) CESMAC/UFAL, e-mail: alexandre.s.arquiteto@gmail.com; (4) CESMAC, e-mail: osmar.csa@hotmail.com

RESUMO

A ventilação natural é uma estratégia de projeto recomendada na maior parte do território brasileiro. Através da ventilação natural pode-se favorecer o conforto térmico, minimizando os custos com energia elétrica. Apesar disto, muitas vezes é subutilizada devido à padronização das esquadrias, adensamento urbano e uso de aparelhos de climatização artificial. As normas de desempenho térmico em vigor no Brasil não são convergentes quanto às recomendações para uso da ventilação natural em edificações. O objetivo da pesquisa foi analisar quatro edificações residenciais na cidade de Maceió-AL quanto à ventilação natural de acordo com as diferentes recomendações normativas vigentes. A metodologia baseia-se na análise comparativa de modelos diferentes, com base nas normas e na análise qualitativa da ventilação natural através da mesa d'água. Constatou-se que a maioria dos ambientes analisados não segue as recomendações das Normas quanto à área de abertura e porosidade, principalmente à NBR 15.220, que exige um percentual maior de abertura nos ambientes de permanência prolongada. Foi possível verificar que há uma necessidade de mudança nos padrões de construção a fim de melhorar o desempenho da ventilação natural nestas edificações.

Palavras-chave: Ventilação Natural. Projeto Arquitetônico. Edifícios Residenciais.

ABSTRACT

Natural ventilation is a recommended building strategy in most of Brazil. The natural ventilation can support thermal comfort, decrease electricity cost. Nevertheless, it is often underused due to standardization of frames, urban density and use of artificial air conditioning. Thermal performance standards ruling in Brazil are not convergent as to recommendations to use natural ventilation in building. The objective of this research was to analyse natural ventilation in four residential buildings in the city of Maceió-AL in accordance with the national regulations recommendations. The methodology is based on the comparative analysis of different models, based on current standards and analysis in water table. Most analysed environments does not follow the recommendations of the Standards on the area of openness and porosity, NBR 15.220 mostly, requires most opening percentage in extend permanency environment. It was found that there is a need the change in the building standards in order to improve performance of natural ventilations these buildings.

[1] SOBRINHO, Marcos S. P. *et al*. Ventilação natural e legislação urbanística brasileira: análise de edificações residenciais em Maceió-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Natural ventilation. Architectural project. Residential buildings.*

1 INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma estratégia de projeto recomendada para favorecer o conforto térmico dos usuários na maior parte do território brasileiro. Apesar disso, tem sido mal utilizada na elaboração de projetos de arquitetura e de desenho urbano. O advento da tecnologia dos sistemas de condicionamento térmico artificial tem ocasionado a não utilização dos recursos naturais em muitas edificações, dentre esses recursos está a ventilação natural. O controle das condições climáticas do ambiente proporcionado pela climatização artificial, torna-se um atrativo ao seu uso, permitindo ao usuário manter o ambiente interno confortável mesmo que as condições externas não sejam favoráveis.

Por outro lado, os sistemas de climatização geram um alto consumo de energia elétrica. Aproximadamente 68% do total de energia elétrica utilizada em edificações de serviços e residenciais são atribuídas aos sistemas artificiais de refrigeração e aquecimento. O calor proveniente desses sistemas é lançado diretamente na atmosfera urbana, contribuindo para o aumento da temperatura do ar. Neste sentido, a ventilação natural pode substituir o ar interno das edificações por ar fresco, evitando problemas de saúde decorrentes da falta de manutenção dos sistemas mecânicos de climatização. (STAVRAKAKIS, et al, 2008).

Os fatores que influenciam o desempenho da ventilação natural são inúmeros e podem se relacionar de diversas maneiras entre si. Sendo assim, faz-se necessário que normas de desempenho de edificações forneçam informações que possam orientar os projetistas no dimensionamento, localização e posicionamento correto das esquadrias, aberturas e ambientes, a fim de obter um melhor desempenho da ventilação natural e consequentemente um maior conforto térmico dos usuários e eficiência energética da edificação.

Existem no Brasil alguns Regulamentos, Normas de Desempenho e Códigos Municipais que trazem recomendações para uso desta estratégia na construção. Esses códigos, tradicionalmente, fazem referência apenas à área de abertura, geralmente relacionando-a a área de piso do ambiente onde se localizam, entretanto, existem divergências nas recomendações feitas por estas normas quando comparadas umas às outras. A NBR 15.220 (ABNT, 2005), por exemplo, recomenda que o tamanho delas seja equivalente a 40% da área do piso do ambiente, enquanto a NBR 15.575 (ABNT, 2013) recomenda que a área de abertura seja maior ou igual a 8% da área do piso do ambiente. Há ainda o RTQ-R, Regulamento de Eficiência Energética publicado pelo INMETRO (INMETRO, 2012), que sugere que esta área de abertura seja de, no mínimo, 10% da área do piso do ambiente.

Vale ressaltar que Maceió está localizada no Nordeste brasileiro, mais precisamente entre a latitude 9º39'57" Sul e longitude 35º44'07" Oeste. Apresenta clima quente e úmido, com pequenas variações térmicas diárias,

sazonais e anuais, donde se percebem apenas duas estações: o inverno, caracterizado por temperaturas amenas e uma alta pluviosidade, e o verão, com altas temperaturas e baixa pluviosidade. De acordo com o Zoneamento Climático Brasileiro (ABNT, 2005), Maceió faz parte da Zona Bioclimática 8 e tem como uma das estratégias mais importantes a ventilação natural permanente. No entanto, o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió (MACEIÓ, 2007) informa que o dimensionamento das aberturas de ventilação "é de competência e responsabilidade dos profissionais que subscrevem o projeto".

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos no intuito de analisar as recomendações destas Normas, concluindo em geral que existem divergências quando comparadas entre si ou que precisam de ajustes para se adaptar às diversas realidades climáticas locais do Brasil (TIBIRIÇA E FERRAZ, 2005). Com base nisto, o objetivo da pesquisa foi analisar quatro edificações residenciais na cidade de Maceió-AL quanto à ventilação natural de acordo com as diferentes recomendações normativas vigentes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa aplicada baseada na análise comparativa de modelos representativos construídos com diferentes configurações, observando os efeitos produzidos pela ventilação natural que afetam o conforto térmico dos usuários e, consequentemente, a eficiência energética de edificações.

Após a revisão de literatura e a formulação do quadro teórico-conceitual, que justifica a problemática abordada ao mesmo tempo em que a contextualiza no estado da arte relacionado ao tema escolhido, a pesquisa foi dividida em quatro etapas: Escolha e caracterização dos edifícios, Análise comparativa das áreas de abertura, Análise qualitativa do desempenho da ventilação natural em mesa d'água e por fim, Análises e discussões dos resultados e elaboração de recomendações para uso da ventilação natural em edificações residenciais de Maceió. Cada uma das etapas será descrita a seguir.

2.1 Escolha e caracterização dos edifícios

As edificações residenciais representam grande parte das edificações construídas no Brasil. Com o crescimento dos centros urbanos, a tendência é que o número de habitações, em especial as habitações multifamiliares, cresça, a fim de vencer o grande déficit habitacional no país.

De acordo com Sacramento (2012) entre os anos de 2006 e 2010 houve em Maceió uma predominância na construção de edificações residenciais multifamiliares caracterizadas por oito pavimentos, sendo 36% da amostra considerada. Na mesma pesquisa o autor identificou ainda a predominância de tipologias com quatro apartamentos por pavimento sendo de acordo com os dados coletados, 37% da amostra analisada. Toledo (2006) confirma

a predominância deste tipo de edificação residencial multifamiliar, de oito pavimentos sendo quatro apartamentos por andar, na cidade.

Por este motivo, dos quatro estudos de caso escolhidos, dois possuem esta tipologia, de quatro apartamentos por andar, porém com configurações de planta baixa diferentes. Os outros dois estudos apresentam três apartamentos por andar e seis apartamentos por andar, respectivamente, e foram escolhidos a fim de proporcionar uma análise comparativa entre as diferentes tipologias de plantas (Figura 1).

Figura 1 – Plantas Baixas dos quatro estudos de Caso analisados. Edifícios Residenciais Multifamiliares em Maceió-AL



Fonte: Os autores (2015)

2.2 Análise segundo as Normas Brasileiras

No Brasil não existem ainda Normas de Conforto Térmico que estabeleçam critérios mínimos quanto à ventilação natural e temperaturas do ar. Por isto, foram abordadas as Normas Brasileiras de desempenho térmico em vigor, sendo elas a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2013), bem como o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) publicado pelo INMETRO.

Foi realizada uma análise das diretrizes existentes nas Normas consideradas, em relação à ventilação natural de edificações residenciais para a cidade de Maceió, levando em consideração; área de abertura, ventilação cruzada e porosidade, existência de dispositivos especiais, aberturas externas

e permeabilidade. Um quadro resumo com as principais recomendações foi elaborado para facilitar a análise comparativa (Quadro 1).

Quadro 1 – Resumo das exigências e recomendações das Normas e Regulamentos Nacionais em relação à Ventilação Natural

QUADRO RESUMO DAS EXIGÊNCIAS: EXIGÊNCIAS NORMATIVAS NACIONAIS E LOCAIS PARA VENTILAÇÃO NATURAL EM MACEIÓ	
NORMA/ REGULAMENTO	**REQUISITOS**
RTQ-R	**Pré-requisitos:**
	Área de aberturas ≥ 10% da área útil do ambiente;
	Ventilação cruzada (com proporção de 25%) A2/A1≥ 0,25
	Bonificações:
	As UHs devem comprovar a existência de porosidade mínima de 20% em pelo menos duas fachadas com orientações distintas.
	Utilização de dispositivos especiais como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros.
	Existência de aberturas externas, cujo vão livre tenha o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70 m medidos a partir do piso.
	*Na Zona Bioclimática 8, as aberturas intermediárias (portas, rasgos, etc.) devem apresentar permeabilidade em relação à circulação do ar.
NBR-15220	Para Zona Bioclimática 8, Área de aberturas ≥ 40% da área útil do ambiente;
	Ventilação cruzada permanente em ambientes de permanência prolongada;
NBR-15575	Área de aberturas ≥ 8% da área útil do ambiente;
	Apresentar janelas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes.
Código de Urbanismo e Edificações de Maceió	O atendimento aos níveis de eficiência de ventilação é de competência e responsabilidade do projetista.

Fonte: Os autores (2015)

Em seguida, as informações relativas aos projetos arquitetônicos foram coletadas e foram calculadas as áreas de pisos e áreas de aberturas dos ambientes de permanência prolongada em cada um dos casos. Os dados foram organizados em tabelas a fim de estabelecer a comparação entre os valores obtidos e os valores exigidos pelas Normas consideradas.

2.3 Análise qualitativa da ventilação natural em mesa d'água

O estudo de ventilação natural foi realizado a partir de modelos reduzidos com auxílio da ferramenta mesa d'água que é um equipamento de visualização de fluidos disponível no laboratório de conforto ambiental da faculdade.

Primeiramente foram construídos modelos reduzidos das plantas baixas dos pavimentos tipos dos edifícios em material plástico preto, na escala 1/100. Foram realizadas as simulações considerando as direções predominantes do vento em Maceió: Sudeste, Leste e Nordeste, e a orientação real do edifício

em estudo. É importante destacar que na etapa de Análise qualitativa, nos modelos reduzidos desenvolvidos para a simulação, todas as aberturas (portas e janelas) foram consideradas abertas, e suas dimensões correspondem à dimensão do seu vão livre respectivo.

O fluxo da água permitiu a compreensão da ventilação natural através dos espaços, mostrando a influência da configuração das aberturas no desempenho da ventilação natural nos edifícios analisados.

2.4 Análise dos resultados e elaboração de recomendações para uso da ventilação natural em edificações residenciais na cidade

Os resultados das simulações realizadas foram analisados juntamente com as leituras e as análises segundo as Normas desenvolvidas anteriormente. Com base nesta análise, foram feitas recomendações para utilização da ventilação natural em edificações residenciais na cidade de Maceió.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

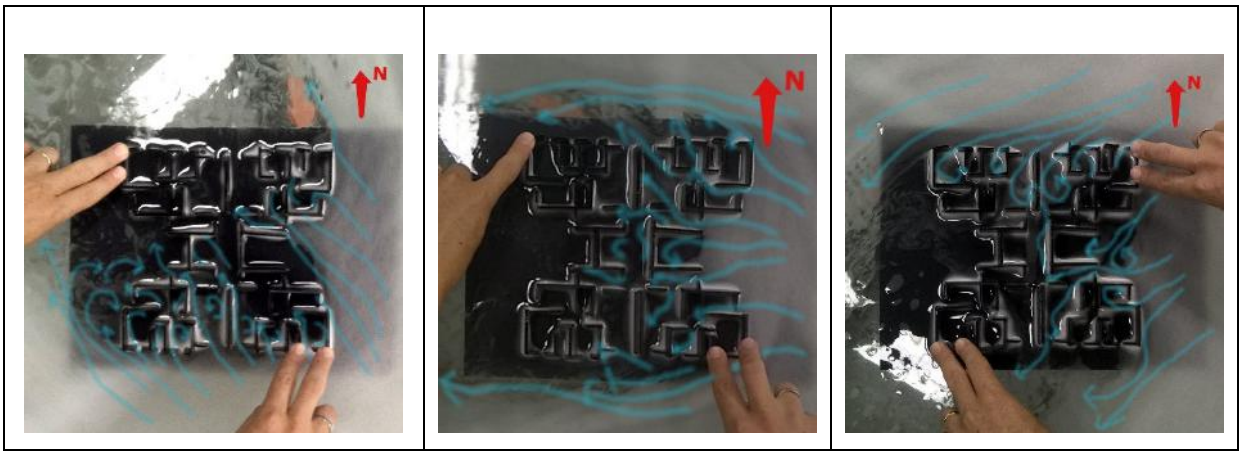
3.1 Edifício 01

No primeiro estudo de caso, os quatro apartamentos do pavimento tipo possuíam a mesma planta baixa, modificando apenas a orientação. Cada apartamento era composto por sala de estar/jantar, cozinha/área de serviço, quarto1, quarto 2 e suíte.

Verificou-se que nenhuma abertura analisada atendeu a recomendação dada pela NBR 15220, a NBR 15575 foi atendida em 60% do total de ambientes analisados (apenas na sala de estar/jantar, quarto 1 e quarto 2); a indicação de abertura para ventilação contida no RTQ-R foi atingida em 40% do total de ambientes considerados na análise (apenas na sala de estar/jantar e quarto 2). Os ambientes suíte e cozinha/área de serviço não atenderam os requisitos de nenhuma das normas consideradas.

As simulações em mesa d'água (figura 2) mostraram que dois dos quatro apartamentos encontram-se em situação privilegiada em relação à direção predominante dos ventos, com as salas e varandas voltadas para o quadrante Leste, o que favorece a captação da ventilação durante todo o ano. Enquanto que os outros dois apartamentos recebem ventilação através da circulação geral, necessitando deixar as portas de entrada abertas para receber ventilação na maioria dos casos.

Figura 2 – Simulações em mesa d'água para o estudo de caso 1: vento Sudeste, Leste e Nordeste, respectivamente



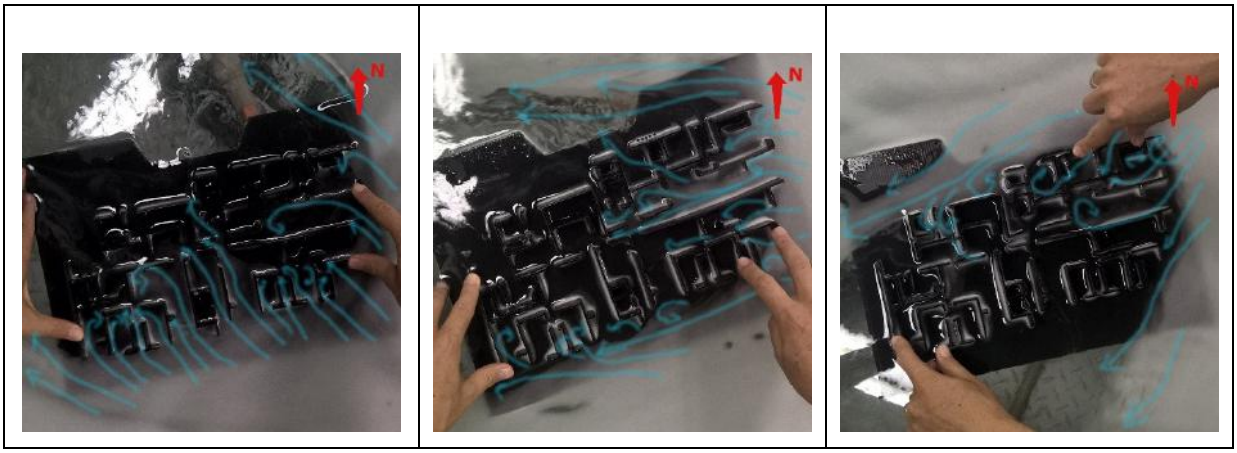
Fonte: Os autores (2015)

3.2 Edifício 02

Ao contrário do edifício do primeiro estudo de caso, onde os quatro apartamentos do pavimento tipo são iguais, no edifício dois (figura 3) os apartamentos possuem plantas diferentes e consequentemente diferentes configurações de aberturas. Do total de ambientes analisados, apenas 4,3% atendeu à NBR 15.220, a mais restritiva. 21,7% dos ambientes atenderam às exigências propostas pelo RTQ-R e 39% dos ambientes atenderam à NBR 15.575. Algumas alterações simples poderiam solucionar os problemas, como a mudança no dimensionamento ou no modo de abertura das esquadrias. Entretanto, mesmo com tais alterações, constatou-se que ainda não seria possível atender a NBR-15.220, que pede 40% de abertura com relação à área útil do piso.

Por possuírem aberturas em fachadas diferentes, foi possível observar através dos ensaios em mesa d'água que a ventilação cruzada ocorre nos três apartamentos da planta analisada. Sendo o mais prejudicado aquele que se localiza a Noroeste.

Figura 3 – Simulações em mesa d'água para o estudo de caso 2: vento Sudeste, Leste e Nordeste, respectivamente



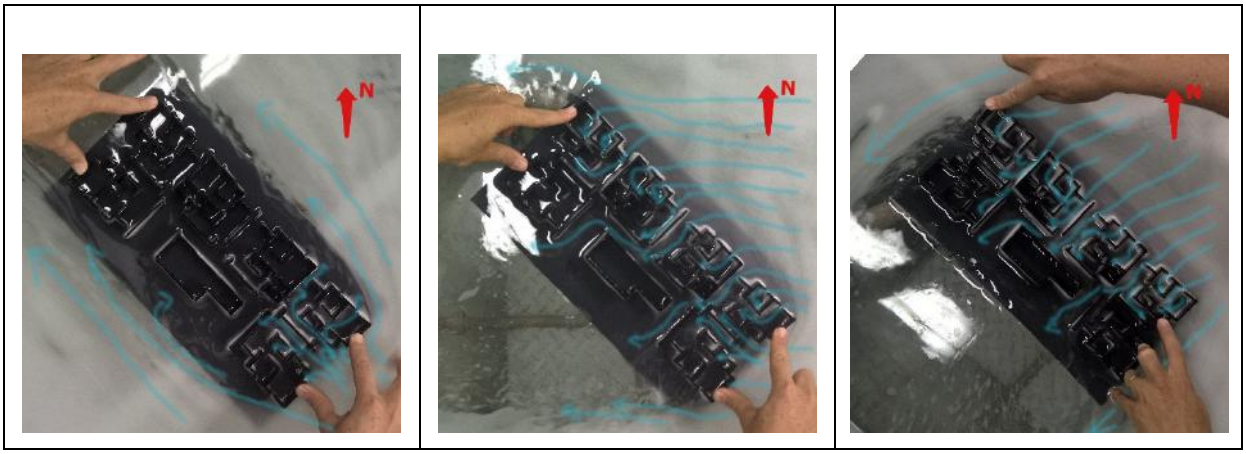
Fonte: Os autores (2015)

3.3 Edifício 03

No estudo de caso 3 (figura 4) foi feita a análise de um edifício multifamiliar de quatro apartamentos por pavimento tipo, onde as plantas contem basicamente dois tipos de configuração de apartamento, espelhados em eixo central totalizando quatro apartamentos. Obteve-se os resultados de 34% de abertura atendendo ao RTQ-R, 34% a NBR-15.575 e de 0% na NBR-15.220, a norma que mais faz restrição à porcentagem de abertura em relação à área do piso.

Através das simulações em mesa d'água foi possível perceber que a distribuição da ventilação natural ocorre de maneira bem mais fluida nos apartamentos localizados nas pontas do pavimento tipo, em todas as direções analisadas. Isto ocorre devido à existência de aberturas em paredes opostas, o que foi confirmado posteriormente na análise de ventilação cruzada segundo o RTQ-R.

Figura 4 – Simulações em mesa d'água para o estudo de caso 3: vento Sudeste, Leste e Nordeste, respectivamente



Fonte: Os autores (2015)

3.4 Edifício 04

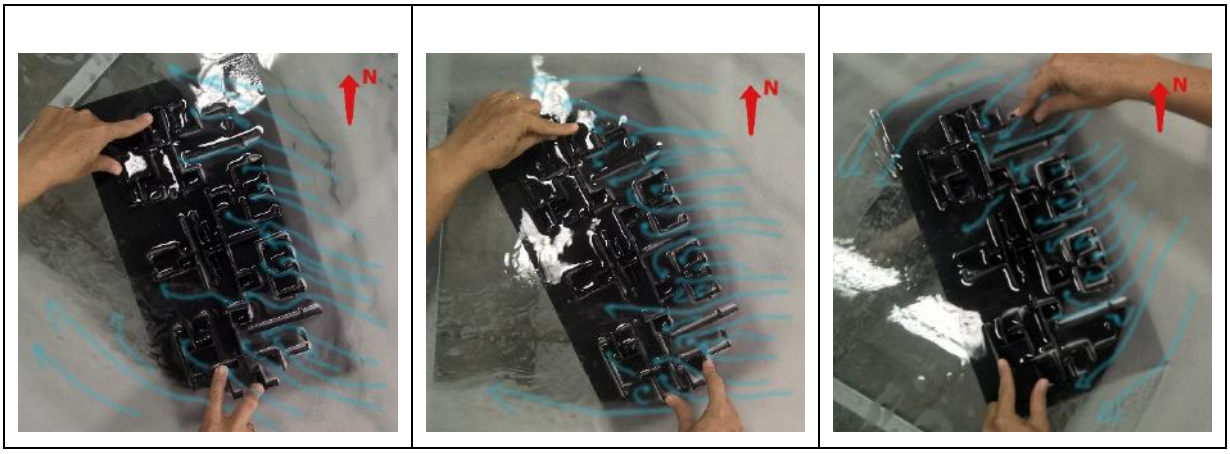
No estudo de caso 4 (figura 5), o pavimento tipo conta com 6 apartamentos, com 2 tipos de plantas diferentes sendo espelhadas em um eixo central. Por apresentar, na maioria dos apartamentos, apenas uma fachada para receber ventilação direta, este estudo de caso foi o que obteve os piores resultados em relação a eficiência na ventilação natural. Mas em contraponto a locação das esquadrias, suas dimensões apresentaram os melhores resultados de porcentagem em relação à área útil do ambiente, sendo 42% atendendo ao RTQ-R, 67% a NBR-15.575 e 0% a NBR-15.220.

Na análise em mesa d'água do estudo de caso 4 ficou evidente a importância da escolha consciente da orientação da edificação pelos arquitetos. Esta escolha pode definir se o edifício é capaz de captar os ventos predominantes da região ou não, tornando-se mais ou menos confortável. Neste caso, a fachada onde incide a ventilação predominante a maior parte do ano em Maceió, que é a Sudeste, possui apenas dois dos seis apartamentos existentes em cada pavimento, privilegiando-os em relação aos demais.

Verificou-se que a maioria das aberturas se localiza na fachada nordeste, entretanto, dois apartamentos que ficam na parte posterior da planta em relação aos ventos predominantes são mais prejudicados, pois ficam em região de sombra de vento.

Além disto, a maior quantidade de apartamentos por andar dificulta a fluidez da ventilação cruzada, tornando os apartamentos dependentes das aberturas principais (portas de acesso) que geralmente permanecem fechadas a maior parte do tempo.

Figura 5 – Simulações em mesa d'água para o estudo de caso 4: vento Sudeste, Leste e Nordeste, respectivamente



Fonte: Os autores (2015)

3.5 Análise segundo outros parâmetros presentes do RTQ-R

Quanto à ventilação cruzada, o RTQ-R cita que "a UH deve possuir ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas compreendido pelas aberturas externas e internas [...] O projeto de ventilação natural deve promover condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações da edificação. As aberturas devem atender à proporção de 25%." (INMETRO, 2012). Aplicando esse cálculo aos casos em estudo foram obtidos os seguintes resultados (Quadro 2):

Quadro 2 – Resultado geral da análise de ventilação cruzada para os apartamentos em estudo

RESULTADO GERAL: ANÁLISE DE VENTILAÇÃO CRUZADA	
APTOS QUE ATENDEM A VENTILAÇÃO CRUZADA)RTQ-R)	76,47%
APTOS QUE NÃO ATENDEM A VENTILAÇÃO CRUZADA)RTQ-R)	23, 53%

Fonte: Os autores (2015)

Percebe-se que, aproximadamente, 1 em cada 4 apartamentos deverá vir a ter dificuldades de circulação de ar o que se infere a necessidade de se pensar em soluções capazes de proporcionar melhorias que favoreçam a ventilação.

Quanto à porosidade o RTQ-R recomenda que "as UHs de até dois pavimentos devem comprovar a existência de porosidade mínima de 20% em pelo menos duas fachadas com orientações distintas, expressa pela relação entre a área efetiva de abertura para ventilação e a área da fachada" (INMETRO, 2012). Assim, analisando-se a porosidade, verificou-se que apenas o estudo de caso 4 atende à exigência com duas fachadas com porosidade mínima de 20%.

Verificou-se que, em geral, as fachadas que atendem a este quesito são as que possuem a porta da varanda, pois sua área de abertura é maior que de uma janela. Nas demais fachadas com deficiência no percentual de porosidade o não atendimento aos parâmetros dá-se pelo fato da existência de aberturas pequenas como basculantes de banheiros e esquadrias menores ou até mesmo a inexistência de aberturas, como no caso edifícios 03 e 04.

Quanto à utilização de dispositivos especiais (como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros), verificou-se que nenhuma das edificações analisadas possui tais dispositivos. Tampouco existem aberturas externas (janelas, rasgos, peitoris ventilados, etc.) cujo vão livre tenha o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70 m medidos a partir do piso.

Verificou-se por fim que as aberturas intermediárias tais como portas de acesso e rasgos não apresentam permeabilidade em relação à circulação do ar, quer seja na própria folha da esquadria, quer na forma de bandeiras móveis ou rasgos verticais como preconiza o RTQ-R.

3.6 Recomendações para uso da ventilação natural em edificações residenciais em Maceió-AL

Com base nas análises realizadas, foram discutidas diretrizes para a construção de futuros empreendimentos residenciais na cidade de Maceió, com vistas ao aproveitamento da ventilação natural e com isso um maior conforto térmico sem gastos com energia elétrica.

Tais recomendações serão pontuadas a seguir:

- Dar preferência a tipos de esquadrias que permitam um maior vão de abertura à ventilação, como por exemplo, as janelas pivotantes, sempre que possível;
- Quando utilizada a esquadria de correr, dar preferência a maior quantidade de folhas sempre que possível a fim de maximizar os vãos de abertura, permitindo maior circulação de ar;
- Buscar atender Às Normas Brasileiras vigentes quanto à área de abertura da esquadria em relação à área de piso do ambiente utilizando para Maceió, no mínimo 8%, como sugere a NBR 15.575 (ABNT, 2013);
- Utilizar bandeiras, seteiras e elementos de captação da ventilação natural como peitoril ventilado, venezianas, rasgos, dentre outros, sempre que possível;
- Priorizar a ventilação cruzada nos ambientes colocando aberturas em duas paredes diferentes ou utilizando bandeiras nas portas;
- Observar a localização das esquadrias em relação à ventilação predominante na região.

4 CONCLUSÕES

A análise das áreas de aberturas praticadas nos edifícios residenciais multifamiliares em Maceió mostrou que as Normas Brasileiras não vêm sendo cumpridas. As áreas encontradas estão na maior parte dos casos abaixo das exigências das Normas e Regulamentos existentes. A NBR 15.220 (ABNT, 2005) que é a mais rigorosa, recomendando 40% de área de abertura em relação a área do piso foi a menos cumprida nos casos analisados. Isto ocorre possivelmente devido a padrões existentes no mercado da construção civil e na fabricação de esquadrias que tornam menores os custos da obra e não consideram os possíveis gastos futuros para se manter os ambientes confortáveis.

As analises na mesa d'agua foram úteis para analisar a distribuição dos ventos no interior dos apartamentos mostrando o percurso da ventilação natural no interior dos mesmos, e ressaltando a importância da existência de aberturas de entrada e de saída, proporcionando a ventilação cruzada. Entretanto, por ser um instrumento de análise qualitativa e bidimensional, não permite análises quantitativas. No entanto, mesmo a maioria dos casos não cumprindo a área de abertura exigida pela NBR 15.220 (ABNT, 2005), a distribuição do movimento do ar parece satisfatória nos apartamentos que recebem incidência direta do vento.

Em relação à utilização de dispositivos especiais (como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros) os casos estudados não possuíam nenhum destes dispositivos, talvez por padrões impostos pelo mercado ou até mesmo pelo custo que esses dispositivos acrescentariam ao final da obra. O uso destes elementos melhoraria o desempenho da ventilação nos ambientes, principalmente na qualidade geral dos ambientes edificados, visto que aumentaria o percentual de ventilação incidente no ambiente, possibilitando o uso da ventilação natural mesmo em dias de chuva como é caso do peitoril ventilado.

Outro fator que melhoria significativamente a qualidade da ventilação no interior da edificação seria a existência de esquadrias mais permeáveis, através do uso, por exemplo, de bandeiras ou venezianas móveis. O que seria uma solução eficiente para apartamentos com poucas fachadas voltadas para o exterior. Estes dispositivos não foram encontrados em nenhum dos edifícios analisados.

Por fim, considera-se que os edifícios analisados na cidade de Maceió possuem muitas deficiências em relação ao uso da ventilação natural, o que pode acarretar em desconforto térmico dos usuários e/ou uso indiscriminado dos aparelhos de ar-condicionado gerando custos excedentes com energia elétrica. Ficou evidente a necessidade de repensar a arquitetura residencial multifamiliar em Maceió, a fim de torna-la mais confortável e eficiente

energeticamente, aumentando a qualidade dos espaços e consequentemente a qualidade de vida de seus moradores minimizando os impactos negativos no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

INMETRO. **Lei n. 10295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2012.

MACEIÓ, PREFEITURA MUNICIPAL DE. Código de urbanismo e edificações do município de Maceió. Lei N° 5.593, De 08 De Fevereiro De 2007. Maceió, 2007.

SACRAMENTO, A. S. **A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-Al**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2012.

STAVRAKAKIS, G.M., KOUKOU, M.K.; VRACHOPOULOS, M.Gr; N. C. MARKATOS. Natural cross-ventilation in buildings: Building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation. **Energy and Buildings**. 40 (2008). 1666-1681.

TIBIRIÇA, A. C.G; FERRAZ, R. **Considerações para projeto de janelas em edificações: fatores ambientais, normativos e tecnológicos**. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, 2005.

TOLEDO, A. M. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: Uma aplicação em Maceió-AL**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

O USO DE "PIGMENTO FRIO" NA FORMULAÇÃO DE TINTAS PARA APLICAÇÃO EM COBERTURAS E FACHADAS[1]

SOUZA, Ana Cristina (1); LOH, Kai (2)

(1) USP, e-mail: anacristina.souza@usp.br; (2) USP, e-mail: kai.loh@usp.br

RESUMO

O uso de "pigmentos frios" em formulações de tintas é uma alternativa que pode minimizar os efeitos de "ilhas de calor". O "pigmento frio" permite o desenvolvimento de tintas de cores escuras para superfícies externas de edifícios, com refletância solar (SR) superior ao da tinta formulada com pigmentos convencionais. No estudo foram formulados dois grupos de tintas tendo como variável, a adição de pigmentos pretos, e o uso do software "CoolSim" como ferramenta para compor a fração pigmentária. As tintas foram formuladas nas cores, cinza claro e cinza escura, sendo um grupo com adição do pigmento convencional negro de fumo, de natureza orgânica, e que resultaram em pinturas de baixa refletância solar e elevada absorção da radiação solar na região do infravermelho. O outro grupo de tintas, com adição de "pigmento frio", de natureza inorgânica, permite obter pinturas com refletância solar maior e menor absorção da radiação solar na região do infravermelho. Os resultados mostram que as fórmulas obtidas com o "pigmento frio" permitem obter superfícies com maior refletância solar. A fórmula com "pigmento frio" de cor cinza claro apresenta uma diferença de aproximadamente 20ºC em relação à fórmula com pigmento convencional de cor cinza claro enquanto que a fórmula de cor cinza escura apresenta uma diferença de aproximadamente 10ºC.

Palavras-chave: "Pigmento frio". Refletância solar. "Ilhas de calor". "CoolSim". Cores cinza clara e escura.

ABSTRACT

The use of "cool pigments" in paint formulations is an alternative that may minimize the effects of "heat island". "Cool pigment" allows the development of paint with dark color for external surfaces of buildings, with solar reflectance (SR) higher than paints formulated with conventional pigments. In the study it was formulated two groups of paints having as variable, the addition of black pigments. The software "CoolSim" was the tool used to formulate the pigment fraction of the paint. The paints were formulated in light gray and dark gray colors, a group with addition of conventional pigment black, of organic nature, and result in low solar reflectance paintings and high absorption of solar radiation in the infrared region. The other group paints with the addition of "cool pigment", of inorganic nature, allows for pictures with higher solar reflectance and lower absorption of solar radiation in the infrared region. The results show that formulations obtained with "cool pigment" allows obtaining surfaces with higher solar reflectance. The formula with light gray color and "cool pigment" has a difference of approximately 20° C in relation to formula with conventional pigment, light gray color, while the dark gray color has a difference of approximately 10 ° C.

[1] SOUZA, Ana Cristina; LOH, Kai. O uso de "pigmento frio" na formulação de tintas para aplicação em coberturas e fachadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

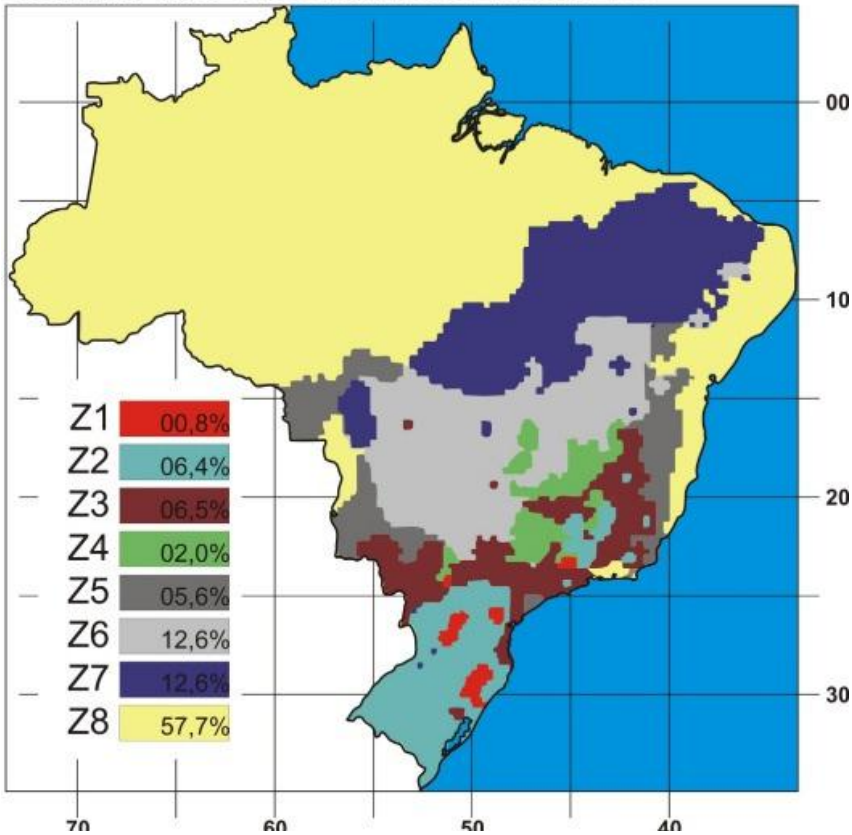
Keywords: *"Cool pigment". Solar reflectance. "Heat islands". "CoolSim". Light gray and dark gray colors.*

1 INTRODUÇÃO

Os materiais refletivos estão se tornando cada vez mais importante, pois oferecem benefícios em termos de redução de temperatura e conforto térmico, favorecendo o clima no Brasil.

O território brasileiro está situado entre os trópicos, com um clima quente e úmido. A norma brasileira NBR 15220-3/ 2005 divide o território brasileiro em oito zonas climáticas e apresenta diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social para auxiliar os arquitetos e engenheiros na seleção de materiais e sistemas construtivos adequados para cada zona. (LOH; SATO; LIBORIO, 2013). A figura 1 ilustra o zoneamento bioclimático conforme a NBR 15220-3/2005.

Figura 1 - Zoneamento bioclimático brasileiro (NBR 15220-3/2005)



Fonte: LOH; SATO; LIBORIO, 2013

A crescente demanda por redução no consumo de energia levou ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras que permitem criar soluções eficazes e sustentáveis, para a redução de temperatura no interior de edifícios. A tinta é um material de construção civil utilizado em várias

situações devido às suas propriedades estéticas e protetoras. Aliar estas propriedades ao desempenho térmico de materiais de cobertura utilizados no Brasil, formando um sistema de cobertura telha-tinta seria vantajoso, pois melhoraria o conforto térmico dos moradores. (IKEMATSU, 2007).

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.2 Tintas

Foram formulados em laboratório dois grupos de tintas para telhas com pigmento convencional e "pigmento frio", em duas cores cinza claro e cinza escuro, utilizando para cada cor os dois tipos, pigmento convencional e o "frio". As cores estudadas são aquelas comumente utilizadas na construção civil para fachadas e edifícios. As tintas são a base de resina acrílica, com acabamento brilhante.

2.2 Métodos

A refletância solar total (TSR) dos pigmentos presentes nas formulações das tintas estudadas foram medidas utilizando o software "Coolsim" que possui um banco de dados onde é inserido o teor percentual de sólidos dos pigmentos presentes nas fórmulas. O programa se baseia na medida da refletância dos pigmentos presentes em cada umas das formulações, na espessura da camada da tinta e nas características do substrato. O resultado é teórico e apresenta a correlação da refletância solar e a variação de temperatura entre a fração pigmento presente nas tintas do estudo.

O software "CoolSim" apresenta a refletância na faixa de 300 - 2500nm, composta pela luz visível, ultravioleta e a infravermelho, sendo a fração infravermelha a que mais contribui para a energia irradiada.

3 "PIGMENTO FRIO"

Os pigmentos podem ser orgânicos ou inorgânicos e servem para dar cores, encobrir substratos bem como refletir a radiação solar com intensidades que variam conforme a sua cor e composição, como resultado de uma absorção em um determinado comprimento de onda. O pigmento é aplicado em diversas áreas industriais e normalmente é utilizado na forma sólida junto a uma resina que é o ligante, que aglomera as partículas conferindo e ao produto final suas propriedades em determinada condição de uso.

O "pigmento convencional" pode ser facilmente substituído por "pigmento frio" em tintas imobiliárias e levar a redução de consumo de energia em edifícios. O uso deste tipo de pigmento proporciona o desenvolvimento de tintas para telhas com cores que chegam próximo ao preto, modificando a

teoria que a tinta branca é a única opção para redução de temperatura de ambientes internos em edifícios. Fórmulas contendo adição de "pigmento frio" permitem obter tintas com cores de tonalidades escuras com refletância solar superior ao uso do pigmento convencional em suas fórmulas.

O "pigmento frio" utilizado no estudo é um pigmento inorgânico de cor preta, que tem uma composição básica óxido de ferro e cromo, que permite que o substrato apresente um aquecimento substancialmente inferior ao aquecimento de uma cor equivalente com pigmento convencional, devido às suas propriedades refletivas e à menor absorção no infravermelho. Quando usada em formulações de tintas este pigmento faz com que parte da luz que incide sobre a pintura obtida com esta tinta seja refletida para o ambiente, evitando a elevação da temperatura da superfície onde a tinta é aplicada. Esta propriedade é de elevada importância em pinturas refletivas, principalmente no caso de tons mais escuros, onde é maior a absorção de radiação infravermelha.

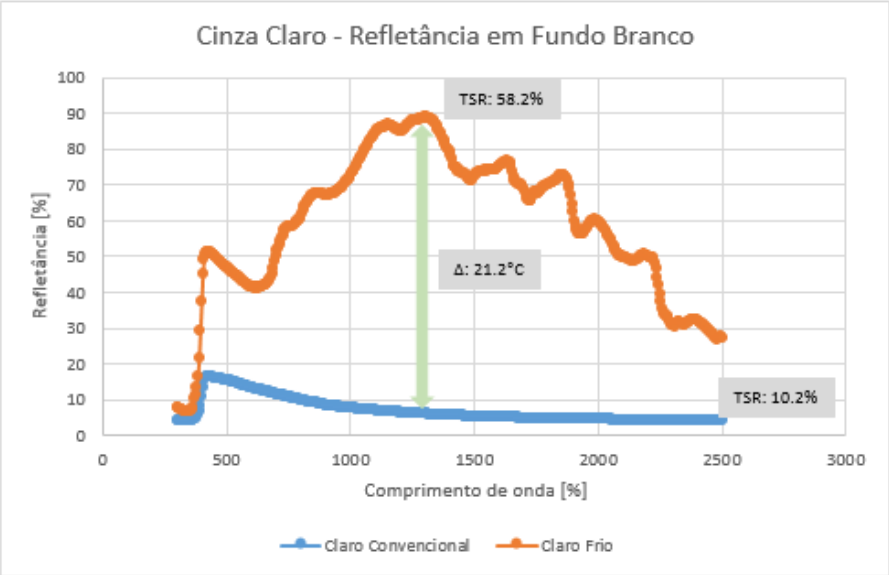
3.1 Influência dos pigmentos no desempenho térmico de superfícies

O tratamento superficial e a seleção dos materiais de revestimento influem no comportamento térmico do edifício e podem ajudar a reduzir a carga térmica. Em superfícies exteriores pintadas em cores claras, ocorre a reflexão de grande parte da radiação solar incidente, e, consequentemente, a redução da quantidade de energia absorvida (PERALTA, 2006). A refletância solar é um importante fator que afeta a superfície e a temperatura do ar ambiente próximo da superfície. A fração desta energia absorvida é conduzida para o solo e para o interior dos edifícios, sendo uma fração transferida para o ar por convecção, elevando este a alta temperatura, e outra fração irradiada para o céu. (SANTOS, 2013). A refletância solar total (TSR) é a porcentagem de energia solar refletida por uma determinada superfície. Para a refletância igual a zero não há reflexão e para a refletância igual a um, isto indica que toda a radiação é refletida. O objetivo deste artigo é mostrar a influência da refletância solar do "pigmento frio" aplicado na formulação de tintas para coberturas e fachadas de edifícios usando o "CoolSim" como ferramenta.

4 RESULTADOS

Os resultados de refletância solar estão apresentados nas figuras "2, 3, 4, e 5". A figura 2 mostra a correlação entre a formulação do pigmento convencional e "pigmento frio" para tinta desenvolvida na cor cinza claro, aplicado em uma cartela "leneta" com um fundo branco. A refletância solar do pigmento convencional é de 10,2% e o "pigmento frio" apresenta uma refletância solar de 58,2%, com uma variação de temperatura teórica igual a 21,2°C.

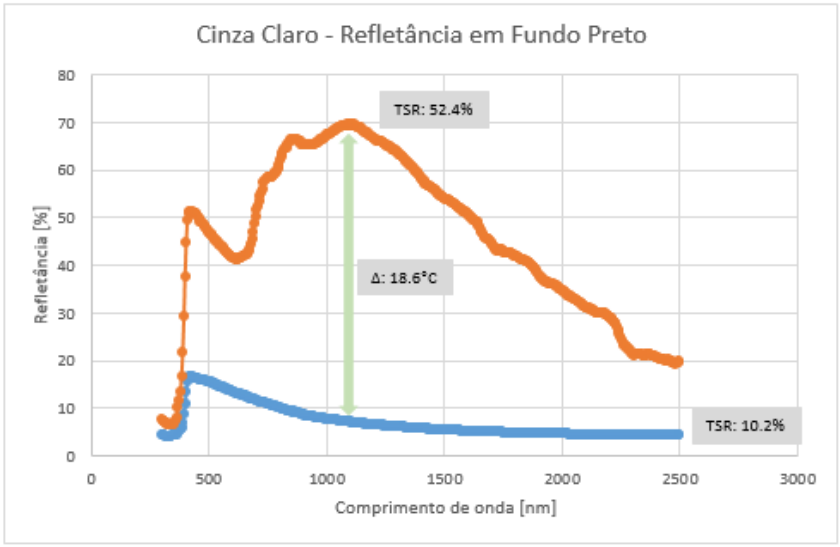
Figura 2 - Refletância em Fundo Branco – Tinta Cinza Claro



Fonte: Gráfico obtido no Software "CoolSim"

A figura 3 mostra a correlação entre a formulação do pigmento convencional e "pigmento frio" desenvolvido na cor cinza claro, porém avaliado em um fundo preto. O pigmento convencional apresenta uma refletância solar de 10,2% e o "pigmento frio" apresenta uma refletância solar de 52,4%, isto indica uma variação de temperatura teórica igual a 18,6°C.

Figura 3 – Refletância em Fundo Preto – Tinta Cinza Claro

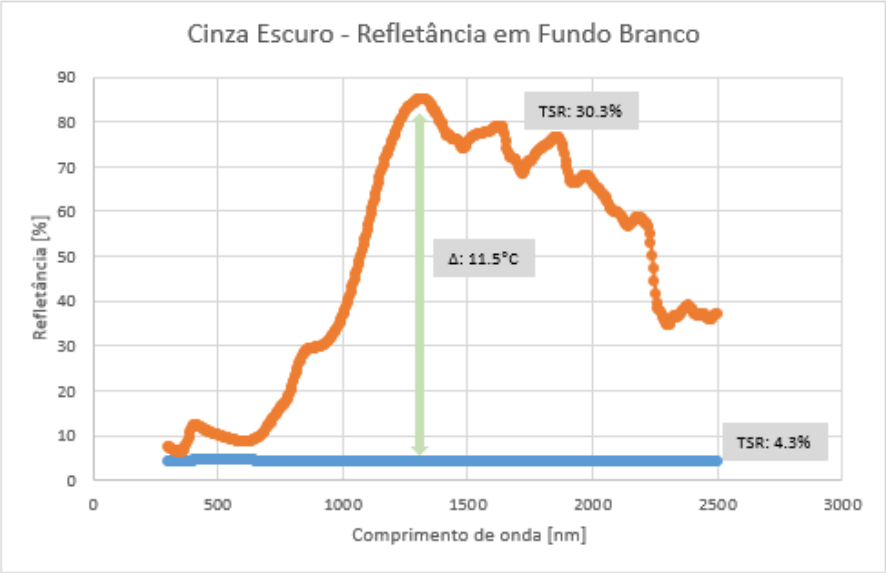


Fonte: Gráfico obtido no Software "CoolSim"

A figura 4 mostra a correlação entre a formulação do pigmento convencional e "pigmento frio" para tinta desenvolvida na cor cinza escuro,

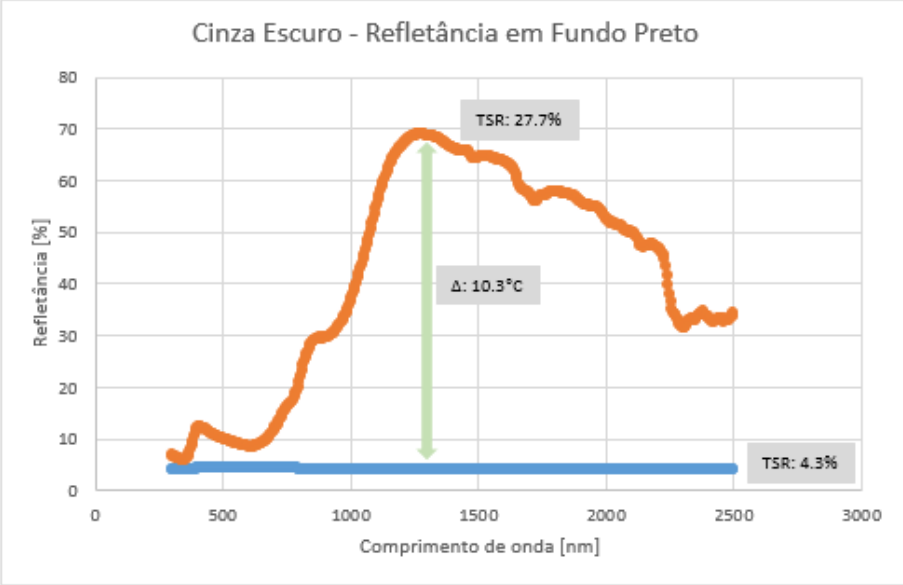
aplicado em uma cartela "leneta" com um fundo branco, observa – se que o pigmento convencional apresenta uma refletância solar de 4,3% e o "pigmento frio" apresenta uma refletância solar de 30,3%, isto indica uma variação de temperatura teórica igual a 11,5°C.

Figura 4 - Refletância em Fundo Branco – Tinta Cinza Escuro



Fonte: Gráfico obtido no Software "CoolSim"

Figura 5 - Refletância em Fundo Preto – Tinta Cinza Escuro



Fonte: Gráfico obtido no Software "CoolSim"

A figura 5 mostra a correlação entre a formulação do pigmento convencional e "pigmento frio" desenvolvido na cor cinza escuro, porém avaliado em um fundo preto, observa – se que o pigmento convencional

apresenta uma refletância solar de 4,3% e o "pigmento frio" apresenta uma refletância solar de 27,7%, isto indica uma variação de temperatura teórica igual a 10,3°C.

5 CONCLUSÃO

Os resultados do software "CoolSim" mostram que a tinta formulada com pigmento convencional, o negro de fumo, apresenta menor refletância solar e maior absorção da radiação solar na região do infravermelho do que as da tinta formulada com "pigmento frio", tanto quando avaliado no fundo escuro como no fundo branco.

Os resultados das fórmulas com o "pigmento frio" permitem obter superfícies com maior refletância solar. A fórmula com "pigmento frio" de cor cinza claro apresenta uma diferença de aproximadamente 20°C em relação à fórmula de cor cinza claro convencional enquanto que a fórmula de cor cinza escura apresenta uma diferença de aproximadamente 10°C, favorecendo uma redução de temperatura.

Para o estudo foi realizado um teste comparativo considerando dois tipos de substrato, fundo branco e o fundo preto. O resultado mostra que o fundo branco favorece a refletância solar em aproximadamente 2.0°C quando comparado com o fundo preto.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à empresa BASF, pelo fornecimento dos pigmentos, auxílio na preparação das tintas do estudo em seus laboratórios bem como o uso do Sofware "CoolSim".

REFERÊNCIAS

IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico das tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes.** Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2007.

LIBORIO, I.M.S.; LOH, K.; SATO, N.N. M. **Alteração da refletância à radiação solar de tintas pela incorporação de pigmentos cerâmicos "frios".** Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis. Curitiba. 2013.

LIBORIO, I.M.S.; LOH, K.; SATO, N.N. M. **Desempenho térmico de tintas frias em componentes de cobertura.** XII Encac – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Elacac – Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. Brasília. Set/ 2013.

PERALTA, G. **Desempenho térmico das telhas: Análise de monitoramento e normalização específica.** Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo – Departamento de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos. 2006.

SANTOS, I. E. **Comparação de métodos para medição de absortância solar em elementos opacos.** Dissertação de Pós – Graduação em Engenharia Civil – Universidade de Santa Catarina. Jun/2013 – Florianópolis.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE DUTOS DE LUZ E O APROVEITAMENTO DE LUZ NATURAL UTILIZANDO IMAGENS HDR[1]

RUTTKAY PEREIRA, Fernando (1); DE SOUZA, Priscila (2);

(1) UFSC, e-mail: ruttkay.pereira@ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: prisciladesouza94@gmail.com

RESUMO

Dutos de luz natural podem ser uma alternativa eficaz para admitir luz natural em ambientes com restrição para aberturas convencionais. Entretanto, existe uma carência de dados fotométricos que representem o real comportamento destes sistemas. O objetivo deste trabalho de iniciação científica é analisar o comportamento luminoso de dutos de luz, utilizando uma técnica de mapeamento de luminâncias baseada em imagens HDR (High Dynamic Range). A técnica HDR possibilita a criação rápida e precisa de mapas de luminância, empregada para determinar o fluxo luminoso transmitido através de referências teóricas básicas da fotometria. Foi utilizado um duto de luz, modelo Solatube 160 DS. A partir do cálculo do fluxo luminoso transmitido foi obtido o coeficiente de transmissão luminosa, resultando em 40%. Após a caracterização fotométrica, verificou-se a utilização do duto como fonte de luz, considerando a natureza variável da luz natural, através de simulações com o *plug-in DIVA* do *software Rhinoceros*. Nessas condições, constatou-se que dutos de luz, quando adequadamente projetados, são capazes de fornecer a iluminância média requerida num porcentual significativo das horas ocupadas, ratificando o potencial que os mesmos apresentam para a redução do consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Dutos de luz. Imagens HDR. Mapeamento de luminâncias. Transmissão luminosa.

ABSTRACT

Light pipes can be an effective alternative to admit natural light into environments with restrictions to conventional openings. However, there is a lack of photometric data representing the actual behavior of these systems. The objective of this undergraduate research is to analyze the performance of light pipes using a luminance mapping technique based on HDR images (High Dynamic Range). The HDR technique allows a fast and accurate creation of luminance maps and is used to determine the luminous flux transmitted through basic photometry theoretical references. Was used one model of light pipe, Solatube 160 DS. From the calculation of the luminous flux transmitted, light transmission coefficient was obtained resulting in 40%. After the photometric characterization, it was verified the use of light pipes as a light source, considering the variable nature of the natural light, through simulations with the DIVA plug-in software Rhinoceros Under these conditions, it was found that light pipes, when properly designed, are able to provide the average illuminance

[1] RUTTKAY PEREIRA, Fernando; DE SOUZA, Priscila. Estudo experimental do comportamento de dutos de luz e o aproveitamento de luz natural utilizando imagens HDR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

required in a relevant proportion of the occupied hours, confirming the potential that they have in the reduction of electricity consumption.

***Keywords**: Light pipes. HDR images. Luminance mapping. Light transmission.*

1 INTRODUÇÃO

Além do potencial de economia de energia que a utilização da luz natural pode apresentar, ressalta-se ainda a sua influência sobre fatores fisiológicos e psicológicos dos seres vivos, sobretudo ao homem. Além de satisfazer a exigência humana básica de enxergar bem tanto a tarefa quanto o entorno, sabe-se que a iluminação natural está relacionada ao aumento da produtividade no ambiente de trabalho e melhora na concentração, melhora na sincronia dos ciclos circadianos e bem estar geral dos usuários.

Cada vez mais, com o adensamento populacional o espaço para construir se torna menor e mais limitado pelo entorno, dificultando o acesso das edificações à luz do sol. As soluções convencionais de uso da luz natural, através de aberturas laterais (janelas), quando utilizadas isoladamente, geralmente estabelecem uma distribuição irregular no ambiente interno, provocando altos valores de iluminância nas regiões próximas à abertura, e níveis insuficientes de iluminação nos pontos mais distantes. Com isto as soluções não convencionais podem ser vistas como tentativas de aproveitar a luz natural preenchendo a lacuna deixada pelos sistemas convencionais, atuando de modo eficiente tanto na complementação a esses, como na inovação, ou seja, conduzindo a luz natural até onde seja necessário e onde não se permite a aplicação de soluções convencionais, como por exemplo, nos subsolos (LUZ, 2009).

Entretanto, atualmente no Brasil, existe uma oferta muito reduzida destes produtos de captação de luz natural. Além disso, há uma carência de informação sobre o efetivo comportamento fotométrico dos dutos de luz. Poucos dados técnicos estão disponíveis para possibilitar a efetiva inserção de dutos de luz como um sistema de complementação a outros sistemas de aberturas e de iluminação artificial. A dinâmica da disponibilidade de luz natural, seja na variação de sua magnitude, seja na sua distribuição espacial, impõe também mais esta variável ao comportamento luminoso dos dutos de luz, somando-se a sua já usualmente complexa geometria.

Considerando estes aspectos, o objetivo deste trabalho é estudar o comportamento luminoso de dutos de luz, utilizando a técnica HDR, a qual permite fazer o mapeamento de luminâncias através de imagens com diferentes graus de exposição (HDR). A técnica HDR permite a quantificação do fluxo luminoso de forma rápida, independente de quão complexa seja a abertura (MARDALJEVIC, 2009).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é estudar o comportamento luminoso de dutos de luz e sua utilização como luminárias de luz natural, através de técnica inovadora de mapeamento de luminâncias via imagens HDR.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sabe-se que fotografias são muito utilizadas em estudos de iluminação, pois as imagens se apresentam como um razoável substituto na representação do espaço real. No entanto, imagens comuns ou LDRs (Low Dynamic Range) não conseguem reproduzir toda a gama de luminâncias existentes em espaços reais. Já as imagens HDR (High Dynamic Range) utilizam a combinação de várias fotografias (LDRs) de uma mesma cena para capturar a grande variação de brilho que esta pode apresentar.

Também é possível fazer a medição de propriedades fotométricas de uma cena através de equipamentos que fazem medições ponto-a-ponto. Contudo, essas medições são demoradas e suscetíveis a erros, de modo que os resultados obtidos podem ser inapropriados para análise da distribuição e variação de luz (INANICI, 2005). Dessa forma, a técnica HDR se apresenta como um meio rápido e confiável para medir propriedades fotométricas independente da complexidade da cena.

A técnica HDR foi usada neste estudo para a obtenção do fluxo luminoso emitido pelos dutos de luz, numa abordagem chamada TFL-HDRI (*transmission illuminance proxy – high-dynamic range imaging*, ou em traduação livre, estimativa da transmissão luminosa – imagem de variação dinâmica elevada) proposta por Mardaljevic e co-autores (2009). Esta técnica permite a determinação do fluxo luminoso por qualquer abertura, independente do campo luminoso incidente. Essa apropriação consiste em determinar a relação entre a luminância na superfície difusora posterior (saída de luz) e a iluminância produzida pelo fluxo incidente no lado anterior (entrada de luz). Por isso, inicialmente, é medida a iluminância na parte anterior do duto com o auxílio de um luxímetro, e em seguida, com uma câmera digital são feitas fotografias com vários graus de exposição da saída do duto. A partir dessas imagens pode ser gerada uma imagem síntese, onde cada pixel corresponde a um valor de luminância equivalente ao que pode ser medido com um luminancímetro. Se a relação entre o fluxo incidente no duto e a luminância resultante no material difusor na saída do duto pode ser determinada, então torna-se uma questão relativamente simples derivar o fluxo luminoso resultante de medições de luminância do material difusor (MOON, 1932; MARDALJEVIC, 2009).

A primeira aproximação é assumir a proporcionalidade entre L e E, conforme Eq. 1:

$$L=qE \quad (1)$$

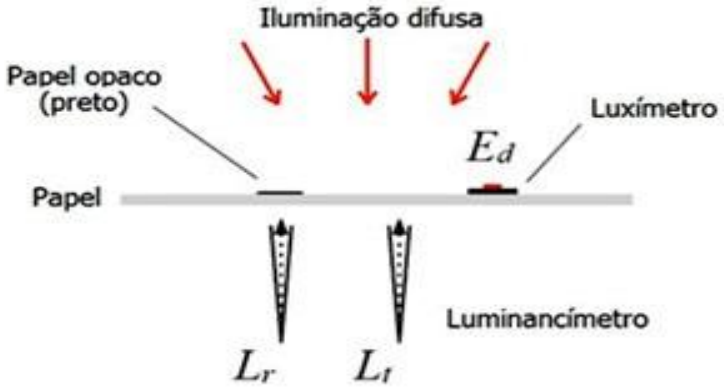
Onde q ($cd/m^2.lux^{-1}$ ou sr^{-1}) é o coeficiente da luminância para a luz transmitida pelo material difusor.

Assim, deve ser feita a calibração do coeficiente q, através de diversas medições da iluminância E e da luminância L.

A luminância vista na saída do duto é a subtração da luminância do material difusor pela luminância refletida L_r, que é a resultante da reflexão do

material difusor (ver Eq. 2). Para obtê-la deve ser utilizado um material opaco, neste caso um papel preto, e realizar a medição da luminância (ver Figura 1).

Figura 1 – Desenho esquemático do procedimento experimental



Fonte: Pereira et al, 2015

$$L = L_t - L_r \quad (2)$$

Para a determinação do fluxo luminoso, os valores obtidos nas medições foram aplicados na Equação 3, conforme segue:

$$\Phi = EA = q^{-1} (L_t - L_r)A \quad (3)$$

Onde:
Φ - fluxo luminoso emitido (lm)
q - coeficiente de luminância do elemento difusor (cd/m2.lux-1 ou sr-1)
Lt - luminância média da área da amostra juntamente com o elemento difusor e elemento opaco (cd/m²)
Lr - luminância do elemento opaco (cd/m²)
A - área de saída de luz do duto (m²)

A técnica já demonstrou ser viável para medição de elementos simples, como vidros comuns e elementos vazados, apresentando erros médios inferiores a 10%. A técnica se mostra vantajosa comparada aos atuais métodos utilizados no estudo na área de iluminação, principalmente pelo seu baixo custo e os materiais simples utilizados (PEREIRA et al, 2015).

4 MÉTODO

O método utilizado neste estudo consiste em duas etapas. A primeira etapa compreende o procedimento experimental para obtenção do fluxo luminoso transmitido pelo duto de luz estudado - Solatube 160 DS.

Na segunda etapa do estudo testou-se a utilização do duto como fonte de luz, no intuito de avaliar o comportamento do mesmo exposto às condições variáveis de iluminação natural em um ambiente de sala de aula. Para isso, a partir do fluxo luminoso obtido na etapa anterior, foi calculado o coeficiente de transmissão luminosa para o duto. Esse coeficiente foi utilizado

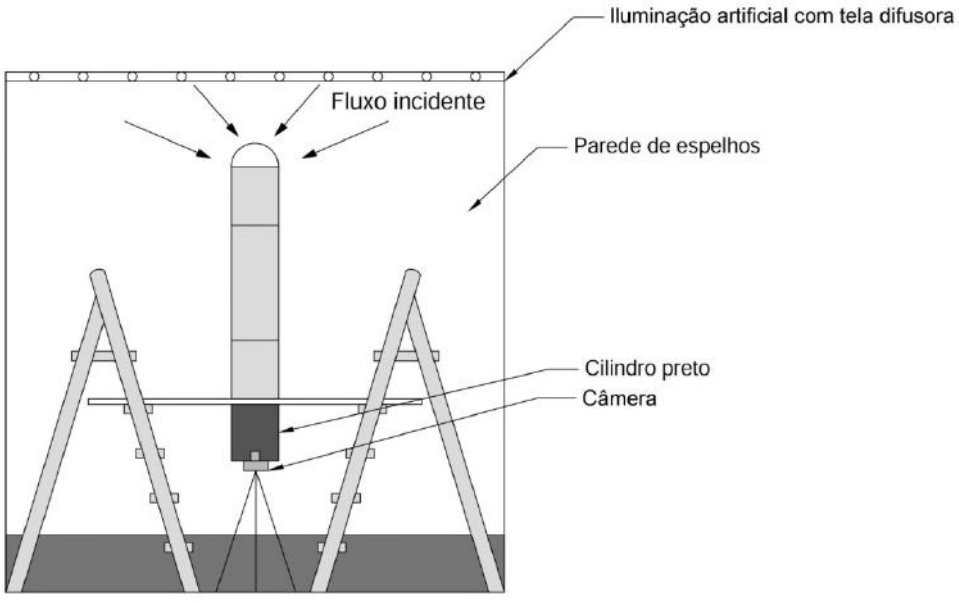
para caracterizar o duto de luz numa simulação simplificada no *software* Rhinoceros versão 5.0 com o *plug-in* DIVA (sigla para *Design Iterate Validate Adapt*, ou em tradução livre, Projetar Iterar Validar Adaptar)versão 3.0.

4.1 Locais e equipamentos

Os experimentos com duto de luz Solatube 160 DS foram feitos em um céu artificial do tipo "caixa de espelhos", localizado num anexo do Laboratório de Conforto Ambiental - UFSC (CASTAÑO, 2007). O local é composto por quatro paredes revestidas com placas de espelho e um sistema de iluminação artificial superior coberto por um plano difusor. O céu artificial apresenta uma condição de iluminação estável, característica desejável para o processo de captura do conjunto de imagens. Foi utilizado um cilindro de papel preto instalado na saída do duto de luz para evitar o contato da lente da câmera com a parcela de luz refletida no entorno, considerando somente o fluxo luminoso com origem na fonte de iluminação artificial através do plano difusor (ver Figura 2).

Foi montada uma estrutura no céu artificial a fim de proporcionar suporte ao duto: um apoio de madeira com um orifício na parte central para saída de luz do duto e um par de escadas de alumínio. Logo abaixo da saída de luz do duto foi colocado o cilindro de papel preto. O elemento difusor utilizado foi uma folha de papel branco cortado em formato de círculo com diâmetro de 29 cm, e o elemento opaco consiste em um pedaço de 8x8 cm de papel preto.

Figura 2 – Desenho esquemático das medições no céu artificial



Fonte: produzido pelos autores

A sequência de imagens que gerou as HDRs foi produzida com a câmera Canon EOS 60D com lente olho de peixe modelo Sigma 4.5 mm f/2.8 EX DC HSM, fixada em um tripé. Para medição das iluminâncias foi utilizado o

luxímetro Konica Minolta Illuminance Meter T-10. Para reduzir imprecisões no processo de captura das imagens, foi utilizado o *software* Canon EOS Utility, que possui função para disparo da câmera através de um computador. O programa utilizado para a manipulação, geração e tratamento das imagens HDR é o Photolux V 3.1 (*Photometric Measuring System*), que opera no sistema Microsoft Windows.

4.2 Caracterização do duto

Os dutos de luz podem ser divididos em três partes: superior, intermediária e inferior. A parte superior consiste de um domo acrílico modelado para funcionar como uma lente prismática, redirecionando a luz solar proveniente de baixos ângulos. A parte intermediária, que tem função de conduzir a luz admitida pelo domo é composta pelo tubo extensor, uma folha de alumínio de 0,4mm que é envolta internamente por uma película que apresenta uma refletividade acima de 95% para o espectro de luz visível. Por fim, na parte inferior se encontra o difusor acrílico de 2,29mm de espessura, que possui a função de difundir a luz (ver Figura 3).

Figura 3 – Exemplo de duto de luz e suas partes



Fonte: Adaptado de: www.solatube.com.au

5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA OBTENÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

A primeira medição a ser realizada é a do coeficiente de luminância (q) do material difusor, representado neste estudo por uma folha de papel branco de gramatura 90g. A iluminância (E) produzida pela fonte difusa do céu artificial e incidente no material difusor foi medida com um luxímetro, resultando em 4.700 lux. Na sequência é fotografado o conjunto de imagens que dará origem ao mapa de luminâncias, correspondente a sete fotografias com diferentes valores de exposição (combinação abertura + tempo de exposição). Os valores de exposição empregados foram os sugeridos no manual do *software* Photolux, exemplificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de exposição sugeridos no manual do *software* Photolux

F/t	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/ 125	1/ 250	1/ 500	1/ 1000	1/ 2000	1/ 4000	1/ 8000
5.6	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9
10	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.5	11.5	12.5	13.6	14.6	15.6	16.6	18.6	19.6
14	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.6	15.6	16.6	17.6	19.6	20.6
18	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.2	13.2	14.2	15.3	16.3	17.3	18.3	20.3	21.3
22	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9

Fonte: Photolux 3.1 Users' guide for Canon EOS

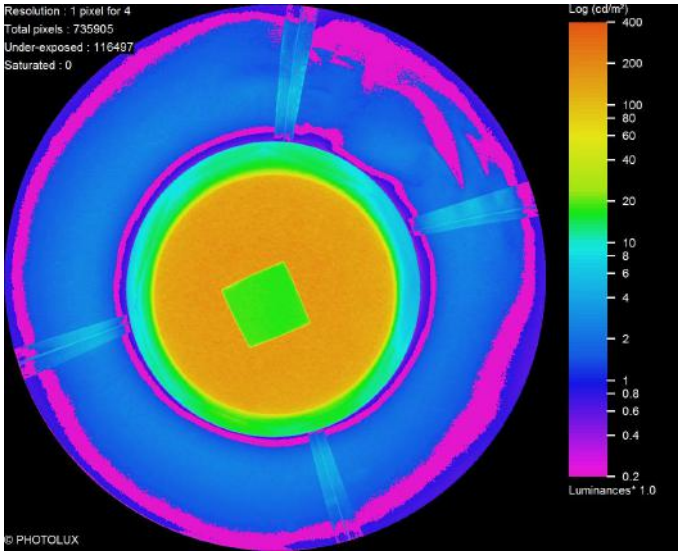
O valor da luminância do elemento difusor (L) foi obtido a partir do mapa de luminâncias da imagem HDR gerada no software Photolux, correspondendo a um valor médio de 193 cd/m². Aplicando-se a equação 1, obtém-se o valor do coeficiente de luminância do elemento difusor (q), que é igual a 0,04106 cd/m².lux^{-1}.

Conhecido o coeficiente de luminância q, o elemento difusor é posicionado sob o difusor acrílico do duto de luz, enquanto um pedaço de papel preto é posicionado entre o difusor acrílico e o papel branco. Em seguida, o conjunto de imagens é fotografado, e as imagens tratadas no software Photolux, resultando no mapa de luminâncias, onde se obtém a luminância média da saída de luz do duto estudado juntamente com o elemento difusor e o elemento opaco (L*t*). O software apresenta uma ferramenta que permite a seleção de uma área específica da imagem síntese, permitindo a obtenção do valor médio de luminância apenas da área selecionada, em cd/m², desse modo pode selecionar-se somente a área do elemento opaco para obter sua luminância (L*r*). Com essas informações e a área de saída de luz do duto (A), basta aplicar a Equação 3 para a obtenção do fluxo luminoso emitido.

5.1 Procedimento experimental em laboratório - Solatube 160 DS

Utilizando-se da bancada experimental descrita na Figura 2, mediu-se a iluminância (E) incidente no domo, resultando 7.200 lux. Em seguida, o valor da luminância do elemento difusor (L_t) na saída de luz do duto foi obtido através da leitura do mapa de luminâncias gerado no software Photolux (Figura 4). O valor médio em questão foi de 145 cd/m².

Figura 4 – Mapa de luminâncias do duto 160 DS, produzido pelo Photolux



Fonte: produzido pelos autores no software Photolux

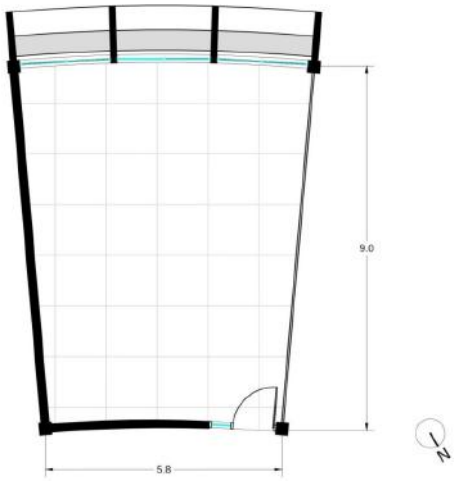
A luminância do elemento opaco (L_r) foi de 18,5 cd/m² e a área de saída de luz do duto (A) é 0,044 m² (identificada pelo círculo amarelo da imagem acima). Aplicando-se a equação 3 obteve-se um fluxo luminoso transmitido de 137,04 lúmens. Para obter a transmissão luminosa do duto de luz se fez a relação entre o fluxo luminoso emitido (137,04 lm) e o fluxo luminoso incidente no domo, que corresponde ao produto da iluminância incidente no domo pela área de entrada de luz (7200 lux x 0,047 m² resultando em 342,20 lúmens. Feita a operação de divisão, o valor encontrado para o coeficiente de transmissão luminosa foi de 40,04%.

6 SIMULAÇÃO DE CARACTERIZAÇÃO DOS DUTOS COMO FONTES DE LUZ

Para a realização das simulações supôs-se ser válida a substituição dos dutos de luz por uma abertura envidraçada de igual seção com a transmissão luminosa difusa equivalente à determinada experimentalmente na etapa anterior. Assim, foi simulado o parâmetro dinâmico Daylight Autonomy (Autonomia da Luz Natural), que indica o percentual das horas ocupadas no ano, nas quais um nível alvo de iluminância pode ser mantido pela iluminação natural (REINHART et al, 2006). O ambiente escolhido foi uma sala de aula do edifício do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, representado em planta baixa na Figura 5.

O nível de iluminância a ser mantido foi escolhido de acordo com a NBR 8995-1, que recomenda iluminância média de 300 lux para salas de aula (ABNT, 2013). O padrão de ocupação da sala foi considerado para o ano inteiro, das 8h às 18h. As características atribuídas ao ambiente foram: paredes, piso e teto constituídos por superfícies claras com refletância de 70% e aos vidros que substituem os dutos de luz foram atribuídos os coeficientes de transmissão difusa obtidos anteriormente (40,04%).

Figura 5 – Planta baixa da sala de aula escolhida para simulação

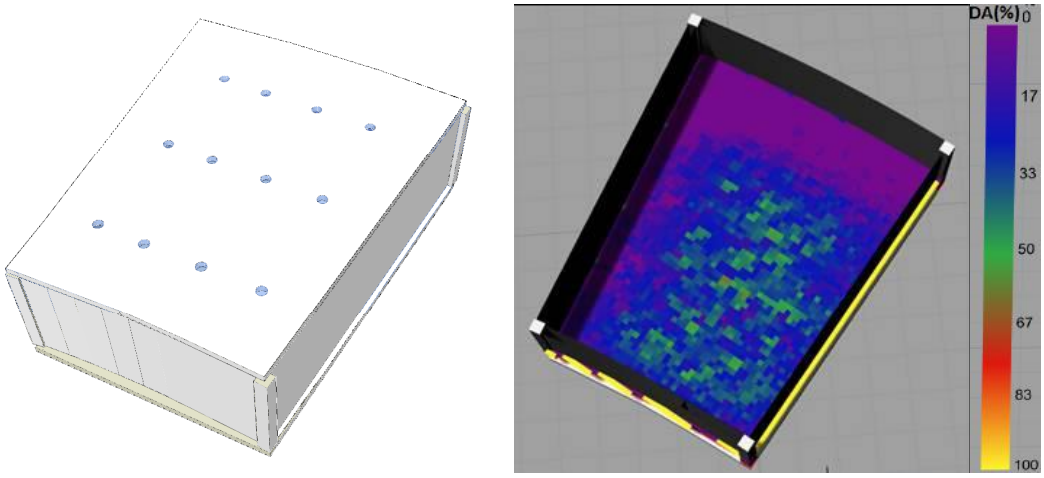


Fonte: produzido pelos autores

A malha de pontos a ser analisada foi considerada a 75 cm do piso e a distância entre os pontos de 15 cm. As simulações foram realizadas para a cidade de Florianópolis, latitude 27° 35' S, localizada na zona bioclimática brasileira ZB3 e o arquivo climático utilizado possue formato SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment).

Aberturas zenitais, como as geradas para representar os dutos, têm a vantagem de serem localizadas em qualquer lugar e, sendo dispostas de forma distribuída, proporcionam uma iluminação mais uniforme. Segundo recomendações de Lam (p.142, 1986) para locais com boa disponibilidade de luz do sol direta, a área total de aberturas zenitais deve corresponder a no mínimo 1% da área do ambiente. Dessa forma, para uma estimativa inicial da forma de representar os dutos, foram modeladas 12 aberturas envidraçadas com 0,047 m² (ver Figura 6 (a)), correspondendo a uma área total de 0,56 m², ou ~1% da área da sala (a área da sala é 56,40 m²).

Figura 6 – (a) Sala de aula com aberturas representando o duto 160 DS e (b) resultados da simulação para DA300



(a) (b)

Fonte: produzido pelos autores

Os resultados indicaram que o ambiente apresenta uma Autonomia de Luz Natural Média (DA300) de 20,13 %, o que significa que em aproximadamente 735 horas das 3.650 horas ocupadas no ano as 12 aberturas são capazes de fornecer a iluminância média requerida de 300 lux (ver Figura 6 (b)).

Além disso, foi simulado o sDA300 (Spatial Daylight Autonomy) e foi constatado que apenas 4% da área da sala de aula apresenta um DA300 acima de 50% das horas ocupadas (IES, 2012).

Cabe salientar, que o modelo simulado não apresenta aberturas, exceto os dutos. Desta forma, combinando a área mínima de abertura lateral exigida pelo Código de Obras de Florianópolis (1/6 da área do compartimento, correspondente a 9,40 m²) com as aberturas zenitais, a sala de aula contaria com 17,65% da sua área composta de aberturas destinadas à iluminação natural.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela 2 é apresentada uma síntese das medições realizadas com o duto de luz Solatube 160 DS.

Tabela 2 – Resultado do coeficiente de transmissão luminosa

Modelo duto de luz	**Dimensões hxØ$_{saída}$ (m)**	**Fluxo Luminoso incidente (lúmens)**	**Fluxo Luminoso transmitido (lúmens)**	**Transmissão Luminosa obtida (%)**
Solatube 160 DS	1,11 x 0,23	342,20	137,04	40,04%

Fonte: produzido pelos autores

O resultado da transmissão luminosa representa do total da luz natural incidente na entrada do duto, o quanto passa pela saída de luz. Este resultado está diretamente ligado às dimensões do duto, sendo que quanto maior a área de saída de luz, maior o fluxo luminoso. Outra característica que poderia influenciar na eficiência dos dutos de luz é a sua forma. No modelo usado neste estudo o tubo era linear, e como a principal forma de transmissão da luz no duto é por reflexão, dutos retos conduzem melhor a luz do que aqueles "angulados". Cada curvatura num duto de luz pode reduzir aproximadamente 8% da transmissão de luz (OAKLEY et al, 2000).

Outro ponto a ser lembrado é que a transmissão luminosa através do duto também depende do ângulo de incidência da luz. O ângulo de incidência com que os raios entram no duto também interferem no número de reflexões que ocorrem no interior do tubo e pode, consequentemente, interferir na transmissão de luz. Considerando este aspecto, carece de uma investigação sobre a sensibilidade dos dutos frente à direcionalidade da energia luminosa incidente (luz direta do sol).

Diante das simulações, é importante ressaltar que estas foram conservadoras, pois o arquivo climático da simulação considera luz direta e

difusa, enquanto o coeficiente de transmissão luminosa aplicado nas aberturas envidraçadas, caracteriza uma incidência difusa, pois foi obtido experimentalmente num céu artificial, ambiente que apresenta distribuição luminosa difusa, semelhante à um céu encoberto. Supõe-se, portanto, que o coeficiente de transmissão apresente valores maiores diante da incidência de luz direta do sol, variando em função dos ângulos de incidência, aspecto que deve ser investigado em estudos futuros.

8 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo sobre o comportamento de um modelo de duto de luz através da utilização de imagens HDR e simulações no *software* Rhinoceros com o *plug-in* DIVA. Os resultados demonstraram que a eficiência dos dutos de luz está condicionada à variabilidade da luz natural incidente, e por isso, existe a necessidade de mais estudos para a inserção dos dutos de luz nos sistemas de iluminação, pois estes sistemas apresentam transmissão luminosa distinta para incidência de luz difusa e direta.

Outro fator a ser considerado é que a utilização dos dutos de luz deve ocorrer de forma integrada com outras aberturas que visem atender outras funções, tais como: visão ao exterior e ventilação natural. Além disso, em muitos momentos, será necessária a complementação com iluminação artificial para atingir determinado nível de iluminação. Entretanto, a utilização dos dutos de luz sempre significará um bom potencial de iluminação com uma fonte de elevada reprodução de cor e economia de energia elétrica.

A técnica HDR se apresentou adequada para a realização do mapeamento das luminâncias neste estudo, pois a utilização de um luminancímetro demandaria um gasto considerável de tempo para realizar as medições pontuais, que ainda estariam sujeitas a imprecisões. Além disso, a técnica HDR foi um meio prático, relativamente barato e promissor para determinar o fluxo luminoso transmitido, uma vez que só foi necessário o uso de uma câmera fotográfica e um tripé para aquisição das imagens. Desta forma, também apresenta um bom potencial de uso para a caracterização do comportamento luminoso de outros sistemas complexos de abertura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq), através do Edital Universal (2013 - 2016), e pelo PIBIC/CNPq/UFSC (2015 – 2016) pelas bolsas IC e pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

CASTAÑO, A.G. **Avaliação e Calibração de um Céu Artificial para Estudos de Iluminação Natural com Modelos Físicos em Escala Reduzida**. Dissertação (Mestrado) – curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2007.

INANICI, M. N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. **Lighting Research And Technology.** [s.l], p. 123-136. jun. 2006.
ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. **IES LM-83-12**. IES Daylight Metrics Committee. Report. New York, 2012.

LAM, W.M.C. (1986): "**Sunlighting as Formgiver for Architecture**", Van Nostrand Reinhold Corp., NY.

LUZ, Bruna. **Condução da luz natural por sistemas não convencionais.** 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARDALJEVIC, John; PAINTER, Birgit; ANDERSEN, Marilyne. Transmission illuminance proxy HDR imaging: A new technique to quantify luminous flux. **Lighting Research and Technology.** [s.l], p. 27-49. mar. 2009.

MOON, Parry. **The scientific basis of illuminating engineering.** New York: Mcgraw-hill Book Company, 1936. 608 p.

OAKLEY, G.; RIFFAT, S. B.; SHAO, L.. Daylight Performance of Lightpipes. **Solar Energy.** [s.l], p. 89-98. feb. 2000.

PEREIRA, Fernando, O.R.; Carbonera, Felipe; MORAES, Letícia. N. Determinação do fluxo luminoso de sistemas complexos de aberturas através de imagens HDR, In: XIII Encontro Nacional e IX Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, Campinas. **Anais**...Campinas, 20015. p 10.

REINHART, Christoph; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustaina-ble Building. **Leukos The Journal Of The Illuminating Engineering Society Of North America.** [s.l], p. 1-4. Jul. 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE PEQUENO PORTE ACOPLÁVEIS EM *SMARTPHONES* PARA AUXILIAR PROJETOS ARQUITETÔNICOS NO INTUITO DE PROMOVER CONFORTO TÉRMICO [1]

SOUZA, Sandra Helena Miranda de (1); UCHÔA, Patrícia Farias (2); SOUZA, Camila Rocha de (3); SANTOS, Carina Macedo dos Santos e (4); LIMA, Luciana Calixto (5); GONÇALVES, Jardel Pereira (6); CARVALHO, Maria Lúcia Araújo Mendes de (7)

(1) UFBA, e-mail: edificiosolarufba@gmail.com; (2) UFBA, e-mail: patimfarias@gmail.com; (3) UFBA, e-mail: camilarochaufba@gmail.com; (4) UFBA, e-mail: macedocarina19@gmail.com; (5) UFBA, e-mail: lrlima@terra.com.br; (6) UFBA, e-mail: jardelpg@gmail.com; (7) UFBA, e-mail: carmarialucia@gmail.com

RESUMO

Sombrear aberturas das edificações compõe uma das diretrizes construtivas recomendadas pela NBR15220(ABNT,2005-3) para localidades da Zona Bioclimática-8, com característica climática predominantemente quente. O objetivo deste trabalho é demonstrar a utilidade das lentes olho de peixe (180°) para dispositivos móveis, contribuindo na construção de uma metodologia eficaz de projeto. A referida lente auxilia na elaboração de máscaras de sombreamento de forma satisfatória e com baixo custo. Os resultados aqui apresentados são parciais, pois a técnica continua a ser desenvolvida em projeto de pesquisa. O elemento escolhido foi uma das janelas de uma sala de aula da Faculdade de Arquitetura da UFBA. Com *Software* AutoDesk-AutoCad®, fez-se o projeto do *brise-soleil* para bloquear 100% a janela no verão a partir das 09:00h (Horário Solar). O horário escolhido foi porque, no verão, a temperatura do ar é próxima a 26°Càs 08:00h; às 12:00h próxima a 31°C. Sendo o maior aumento entre 09:00h-10:00h. O vidro da janela apresentou temperaturas de calor emitido: 26°C às 08:00h;31,3°C às 12:00h, sendo o maior aumento entre 10:30h-11:00h: 42,9°C e 40,5°C, respectivamente. A percepção térmica "muito calor" foi unânime, a partir das 10:00h. Simulações no *SketchUp*® foram feitas para confirmar a eficácia do *brise-soleil*, o que valorizou a técnica.

Palavras-chave: Técnica. Tecnologia de Pequeno Porte. Máscara de Sombreamento. Projeto.

ABSTRACT

Providing shade for building openings is one of the construction guidelines recommended by standard NBR15220 (ABNT, 2005-3) for locations in the Bioclimatic Zone-8, whose climate is predominantly hot. The goal of this study is to demonstrate the utility of fisheye lenses (180°) for mobile devices, contributing to an effective design methodology. This lens aids in the low cost development of shade structures. The results presented here are not complete, and the method continues to be developed in a research project. The element chosen was one of the classroom windows of Faculty of Architecture of UFBA. Using AutoDesk-AutoCad®

[1] SOUZA, Sandra Helena Miranda de; UCHÔA, Patrícia Farias; SOUZA, Camila Rocha de; SANTOS, Carina Macedo dos Santos e; LIMA, Luciana Calixto; GONÇALVES, Jardel Pereira; CARVALHO, Maria Lúcia Araújo Mendes de. Técnica e Instrumentos de Pequeno Porte Acopláveis em S*martphones* para Auxiliar Projetos Arquitetônicos no Intuito de Promover Conforto Térmico. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

software, a brise-soleil design was done to block the window 100% in the summer as of 9:00a.m.(Solar Time). This time of day was chosen because, in the summer, the air temperature reaches approximately 26°C at 8:00a.m.; at 12:00p.m. it is about 31°C., with the greatest rise between 9:00a.m. and 10:00a.m.. The window glass showed temperatures of: 26°C at 8:00a.m.; 31.3°C at 12:00p.m., with the greatest increase between 10:30a.m-11:00a.m.: 42.9°C and 40.5°C, respectively. The perceived thermal sensation "very hot" was unanimous, beginning at 10:00a.m. Simulations using SketchUp® were done to confirm the effectiveness of the brise-soleil, which proved the value of the method.

***Keywords**: Technique. Mobile Device Technologies. Shading Mask. Design.*

1 INTRODUÇÃO

O sombreamento de aberturas das edificações consiste em uma das diretrizes construtivas recomendadas pela NBR 15220 (ABNT, 2005-3) e, constantemente, encontrada na bibliografia da área para a finalidade do conforto térmico. Para tanto, o arquiteto precisa se abastecer de técnica para conhecer o comportamento da geometria da incidência solar no local do projeto, e, consequentemente, projetar corretamente. O objetivo deste trabalho é demonstrar a utilidade do uso de lentes do tipo olho de peixe para dispositivos móveis com o intuito de que estes instrumentos auxiliem na elaboração de máscaras de sombreamento reais para o local do projeto, e, possibilitem projetos arquitetônicos eficientes para bloquear a radiação solar direta em partes da edificação, nos dias e horários pretendidos, com praticidade e baixo custo. Trata-se de um estudo experimentado com alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia-FAUFBA.

A relevância do estudo está em colaborar com uma metodologia eficaz a partir do uso de tecnologias de pequeno porte e baixo custo em projetos, a fim de melhorar o desempenho térmico de edificações passivamente, reduzindo o uso de ar condicionado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Argiriou e Santamouris (1995), as soluções passivas para o condicionamento térmico de ambientes internos precisam ser consideradas na fase de projeto, pois são capazes de reduzir o uso de energia elétrica para adaptação ao conforto térmico.

Em climas predominantemente quentes, o sombreamento de aberturas surge como uma das diretrizes construtivas capazes de reduzir os ganhos de calor nos ambientes internos. Essa diretriz, juntamente com a ventilação cruzada constante nos ambientes internos, é mencionada na NBR 15220 (ABNT, 2005-3) e na bibliografia da área; e formam uma condição essencial para o conforto térmico em localidades quentes. O presente estudo parte da premissa que o ganho de calor e a carga de energia elétrica para resfriamento no verão podem ser minimizados através da utilização eficaz do sombreamento interno e externo das janelas (ÇENGEL e GHAJAR, 2012, p. 552).

Segundo Lomanowski e Wright (2009), as captações diretas dos raios solares,

por meio de aberturas envidraçadas, em ambientes internos, representam a maior e mais variável fonte de calor de uma edificação. Para Givoni (1981) o sombreamento externo possibilita eliminar mais de 90% dos ganhos de calor solar. Desta forma, adotar uma arquitetura que proteja suas aberturas envidraçadas representa, significativamente, redução dos ganhos de calor - fundamentais para edificações energeticamente eficientes.

Diversos estudos de simulação publicados na literatura apresentam resultados que indicam forte influência dos ganhos de calor motivados pela incidência direta da radiação solar. Estes resultados fortalecem a importância do sombreamento das aberturas envidraçadas.

Athienitis e Santamouris (2013) trazem o termo "edifício solar passivo" que descreve, qualitativamente, um edifício que utiliza os ganhos solares tanto para reduzir o aquecimento (em épocas frias), como para reduzir o consumo de energia para resfriamento, tendo como base a energia natural dos fluxos por radiação, condução e convecção natural. Porém, no Brasil, os ganhos de calor obtidos pelas superfícies envidraçadas das aberturas são comumente compensados com o resfriamento por condicionadores de ar. As superfícies envidraçadas podem aumentar suas eficiências, se devidamente sombreadas.

Para garantir maiores êxitos em relação ao dimensionamento de aberturas e de dispositivos de proteção solar é essencial o entendimento da geometria da incidência solar por meio das Cartas Solares nas fases iniciais de projeto. De acordo com Gutierrez e Labaki (2005), as pesquisas com enfoque na geometria da incidência solar são as mais utilizadas, e os métodos gráficos para a determinação de sua eficiência os mais estudados. Definir critérios para o dimensionamento de dispositivos de proteção solar requer, do profissional de arquitetura, técnica e familiaridade com o estudo da geometria da incidência solar.

Kim *et al.* (2012) afirmam que a função básica dos elementos de sombreamento é interceptar os raios solares antes que eles atinjam o interior da edificação. As superfícies externas da edificação são compostas por paredes, aberturas (geralmente envidraçadas) e cobertura; e desempenham um papel fundamental para a definição do comportamento térmico dos ambientes internos. Alguns fatores a serem considerados para qualificar termicamente os ambientes internos, são: os materiais compositivos das superfícies externas, as espessuras dessas superfícies, características físicas dos materiais que as compõem - quanto a absorver calor e, consequentemente, transmitir e emitir o calor produzido aos ambientes internos. Por essas razões, intrínsecas aos materiais de construção e às decisões tomadas na etapa de projeto, é que se faz necessário pensar de forma integrada quanto a forma da edificação, orientação dos ambientes e como estes se relacionam com o entorno, e como estes se abastecem de radiação solar de ondas curtas e ondas longas.

3 METODOLOGIA

Todo o empenho deste trabalho está em reduzir os ganhos de calor de ambientes internos por superfícies envidraçadas. Portanto, este trabalho não bloqueia em 100% a radiação solar direta durante todas as manhãs do ano, e sim as horas de sol das manhãs do verão que apresentam taxas de radiação solar elevadas.

A técnica se utiliza de uma fotografia 180° para elaborar a máscara de sombreamento da configuração da abóbada celeste para um ponto do objeto a ser estudado – no caso, uma janela; o que permite conhecer a geometria da incidência solar para o objeto. Essa técnica foi desenvolvida com uma lente do tipo olho de peixe (180°) acoplada a um *smartphone*, o que favoreceu o projeto de um dispositivo arquitetônico adequado para bloquear a radiação solar direta das manhãs do verão, a partir das 09:00h da manhã. Neste caso, o objeto considerado foi uma das janelas de uma sala de aula da FAUFBA; e para testar a técnica, apenas uma janela foi considerada. A fotografia foi elaborada a partir da linha do peitoril da janela, possibilitando obter a configuração da abóbada celeste para a janela.

Com a fotografia inserida no AutoDesk AutoCad®, fez-se a sobreposição da mesma na carta solar equivalente à Cidade de Salvador, conforme orientação da fachada na carta solar. A configuração da abóbada celeste para a janela estudada foi conhecida, o que possibilitou a determinação da região da abóbada celeste a ser bloqueada, ou seja, a própria máscara de sombreamento necessária para bloquear a radiação solar direta nos dias e horários pretendidos. Em seguida, fez-se uma segunda sobreposição: a máscara de sombreamento obtida no transferidor de máscara de sombra, possibilitando o conhecimento dos ângulos verticais e horizontais que nortearam o projeto do dispositivo arquitetônico a ser projetado, um *brise-soleil*. O projeto do *brise-soleil* teve o intuito de bloquear a radiação solar direta em 100% da área da janela nos dias do verão a partir das 09:00h(Horário Solar), por isso as origens dos ângulos nas vistas ortográficas do projeto foram posicionadas nas extremidades da janela - com o intuito de garantir que estes ângulos, em cada plano de projeção (corte, fachada e planta baixa), representem o limite de bloqueio da incidência solar direta para 100% da área da janela.

O horário escolhido para bloquear a incidência solar direta na janela foi norteado pela intensificação do calor para os usuários da sala de aula, portanto a intenção visa evitar os ganhos de calor demasiados nos horários críticos, a partir das 09:00h. Embora a Temperatura radiante média (°C) seja a variável mais indicada para mensurar o desempenho térmico de ambientes, a presente pesquisa se limitou às medições de Temperatura do ar (°C), pela indisponibilidade do termômetro de globo(d=150mm) neste dia do estudo, suficiente para compor, juntamente com o termo-higrômetro (utilizado), o cálculo da Temperatura radiante média –mediante Equação 8 da Norma ISO 7726:1998, devidamente considerada por SOUZA (2010), uma

das autoras deste trabalho, em sua pesquisa de mestrado.

Foram feitas entrevistas com os usuários, medições de temperatura do ar e temperaturas de calor emitido pelo vidro da janela, em um dia típico de verão. Para confirmar a eficácia do projeto do *brise-soleil*, de acordo com as intenções de dias e horários a serem sombreados em 100% da área da janela, foram feitas simulações no *Software SketchUp*®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização do estudo surge da necessidade de reduzir os ganhos térmicos do ambiente através da superfície envidraçada da janela e, também, por se tratar de uma sala de aula, impedindo também o ofuscamento causado pela incidência direta de sol nas carteiras e no piso, segundo Figura 1.

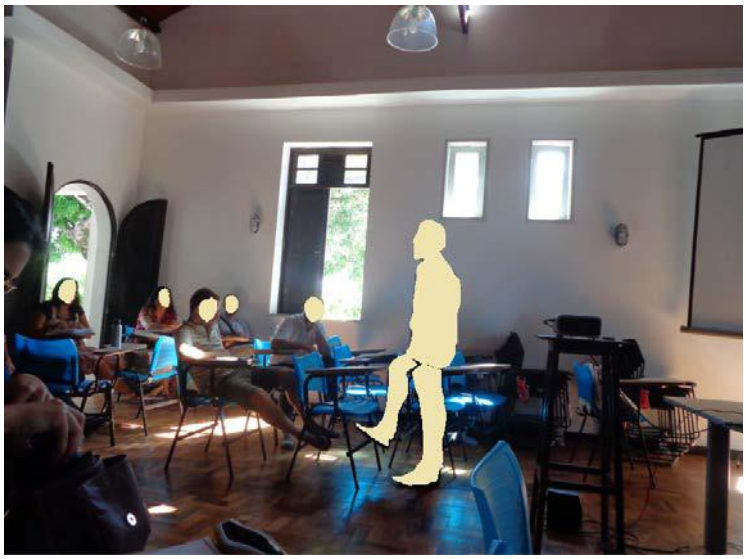
Figura 1 – Radiação solar direta em dia típico de verão



Fonte: Os autores

E também, a radiação solar direta nos alunos, segundo Figura 2.

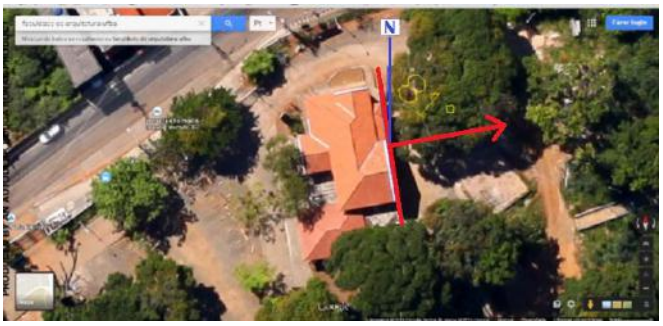
Figura 2 – Radiação solar direta às 10:00h do mesmo dia



Fonte: Os autores

Para os estudos relacionados à geometria da incidência solar em ambientes internos, é preciso identificar a orientação da fachada no qual o ambiente está inserido. Neste caso, foi verificada a orientação da fachada no *Google Earth* [200-]; obtendo 81°azimute, segundo Figura 3.

Figura 3 – Vista superior da edificação com a orientação da fachada que contém a janela do ambiente estudado



Fonte: GOOGLE EARTH [200-]. Imagem adaptada pelos autores para composição da figura

A sala de aula possui quatro janelas na fachada estudada(Figura 4).

Figura 4 – Vista da fachada da sala de aula



Fonte: Os autores

Porém, o estudo teve um caráter experimental da técnica com apenas uma das janelas da sala de aula para a realização do experimento, segundo Figura 5.

Figura 5 – Indicação da janela escolhida para a realização do estudo



Fonte: Os autores

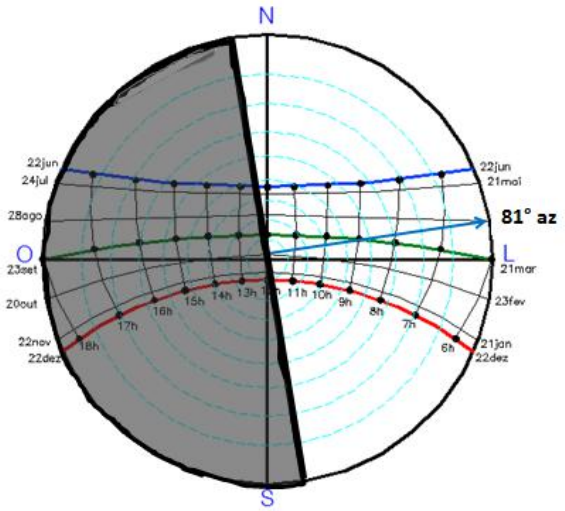
Para a etapa de projeto, o ideal é considerar estudos da geometria da incidência solar em relação às superfícies externas da edificação, avaliando conjuntamente as orientações dos ambientes, a concepção da forma das superfícies externas da edificação, os materiais construtivos e o entorno. A forma da edificação pode funcionar eficientemente para bloquear a incidência solar direta em partes das superfícies externas e, consequentemente, promover reduções significativas dos ganhos de calor nos ambientes internos.

Desenvolver estudos de dispositivos arquitetônicos e da própria forma arquitetônica podem modelar a geometria da incidência solar; e isso significa incluir a geometria da incidência solar no projeto, a fim de que seja possível adequar, conscientemente, a arquitetura ao clima.

Neste estudo, entretanto, foi utilizada como fonte de investigação uma sala de aula de edificação pré-existente, para avaliar a eficiência da técnica e da metodologia propostas.

Pela orientação da fachada, foi possível prever os dias e horários de incidência solar direta nesta sala de aula. Este estudo foi realizado a partir da representação gráfica da orientação da fachada na carta solar equivalente a 13° Sul de latitude, cuja incidência solar direta pode ser entendida, para o dia característico de inverno (22/06): de 06:30h às 12:15h, aproximadamente; para os dias característicos de equinócios (21/03 e 23/09): de 06:00h às 12:10h, aproximadamente; e para o dia característico de verão (22/12): de 05:30h às 11:50h, aproximadamente, segundo Figura 6.

Figura 6: Carta solar correspondente a latitude 13ªSul com a representação gráfica da orientação da fachada

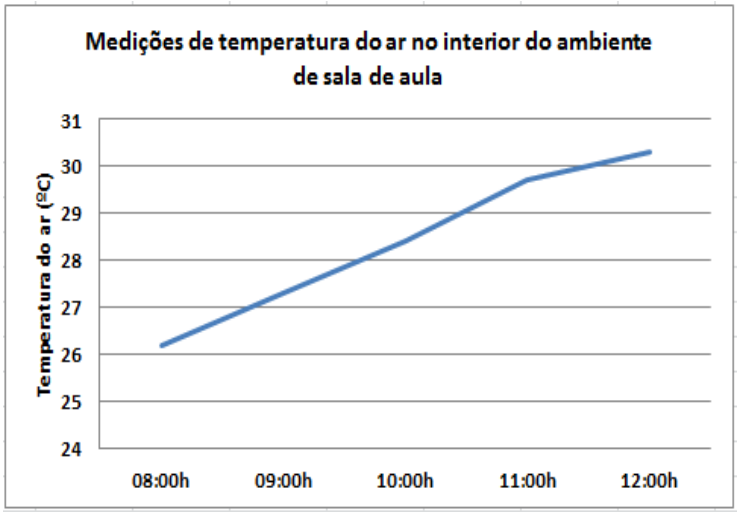


Fonte: Os autores

O ofuscamento e o calor intensos são percebidos pelos alunos nas manhãs dos dias de verão. Para ilustrar o comportamento térmico do ar no interior da sala, mediu-se a temperatura do ar (°C); onde às 08:00h, próxima a 26°C; às

09:00h, próxima a 27°C; às 10:00h, próxima a 28,5°C; às 11:00h, próxima a 30°C; e, às 12:00h, próxima a 30,5°C, segundo Figura 7.

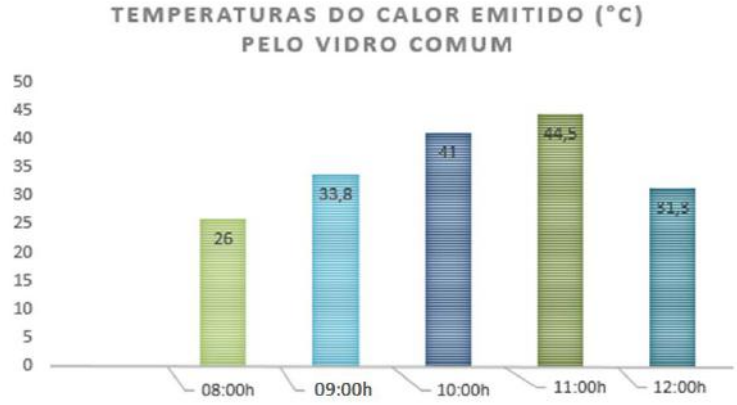
Figura 7: Comportamento da temperatura do ar (°C) na sala de aula



Fonte: Os autores

Com o intuito de iniciar a investigação quanto à correlação entre o comportamento da temperatura do ar no ambiente interno e a temperatura de calor emitido pelo vidro das janelas, foram feitas fotografias termográficas com a câmara Flir One® para o Sistema iOS, onde verificou-se, ***a priori***, que: à medida que a temperatura do ar aumentou, a temperatura do calor emitido também aumentou; porém, enquanto a temperatura do ar atingiu a maior medição às 12:00h, aproximadamente 30,5°C; a temperatura de calor emitido pelo vidro atingiu sua maior medição às 11:00h, com cerca de 44,5°C, reduzindo significativamente às 12:00h - o que confirma o efeito estufa na sala de aula, com insuficiência de ventilação cruzada. Segue a Figura 8 com o comportamento da temperatura do calor emitido pelo vidro da abertura.

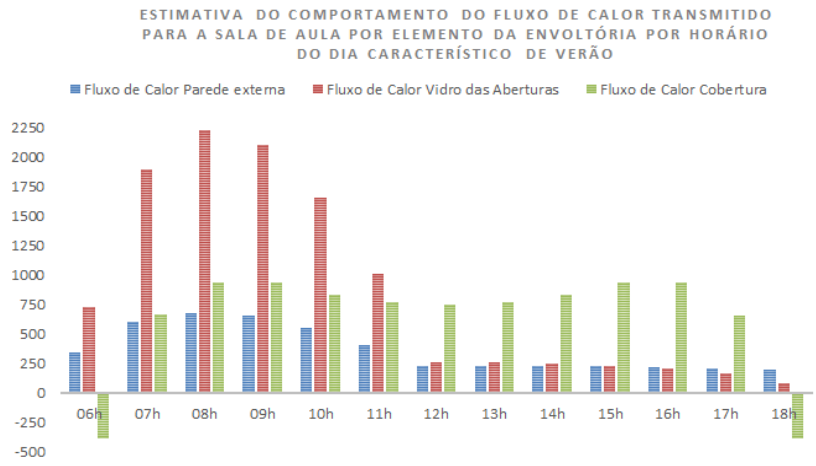
Figura 8: Gráfico com os valores de temperatura do calor emitido (°C) no vidro da janela estudada



Fonte: Os autores

Também vale ressaltar que, à medida que o sol atingiu alturas maiores em relação à fachada avaliada, e sessou sua incidência direta nos vidros, houve uma redução significativa da temperatura do calor emitido pelo vidro, o que confirma a capacidade dos materiais transparentes em reduzir a emissividade de calor mediante a intensidade da radiação solar incidente, e, consequentemente, alterando sua capacidade de aumentar os ganhos de calor do ambiente. Para conhecer o comportamento de Fluxo de calor (W) da sala de aula no dia característico de verão, foi elaborado um gráfico que demonstra a relação existente entre cada componente externo e os fluxos de calor nas horas do dia, segundo a Figura 9. Esse estudo preditivo foi elaborado segundo as recomendações de Lamberts *et al* (1997), e demonstra, durante toda a manhã, a capacidade elevada que os vidros das aberturas possuem em favorecer fluxos de calor elevados, com valores de 2.230W às 08:00h; e de 2.110W, às 09:00h; mas ainda permanecem superiores aos fluxos de calor favorecidos pela parede externa e pela cobertura.

Figura 9: Comportamento dos fluxos de calor (W) por elemento da envoltória da sala de aula no dia característico de verão

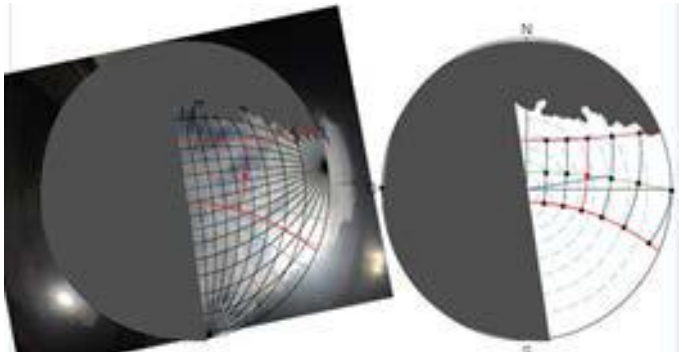


Fonte: Os autores

O efeito estufa na sala de aula foi apontada pelos alunos, com a percepção de "muito calor" no horário crítico das 09:30h; por essa razão, optou-se pelo projeto de um *brise-soleil* horizontal finito para bloquear a radiação solar direta a partir das 09:00h (Horário Solar) durante o verão, pois nas manhãs dos equinócios e inverno não ocorrem desconforto luminoso, nem térmico. A escolha do tipo do *brise-soleil* foi apenas experimental, não significando que este tipo seja o mais indicado para estas orientações. Para conhecer quais elementos do entorno promovem sombreamento na janela estudada, foi feita uma fotografia com a lente olho de peixe(180°) para dispositivos móveis da Marca Ozino, acoplada a um *smartphone*, que possibilitou a configuração da abóbada celeste real para a janela, gerando a máscara de sombreamento atual. Esta máscara foi sobreposta na carta solar para a Cidade de Salvador, possibilitando visualizar elementos do entorno que bloqueiam a região da abóbada celeste; e, no entanto, apenas uma árvore próxima, com uma frondosa copa seria capaz de sombrear a janela, porém

esta não se encontra posicionada a coincidir com os percursos aparentes do sol, segundo a Figura 10. Na imagem à esquerda, a máscara de sombreamento real para a janela sobreposta no transferidor de máscara de sombra; na imagem à direita, a máscara obtida sobreposta na Carta Solar de Salvador, onde se constata que a copa da árvore não bloqueia a região da abóbada celeste onde há percursos aparentes do sol.

Figura 10: Máscara de sombreamento, transferidor de máscara de sombra e Carta Solar de Salvador

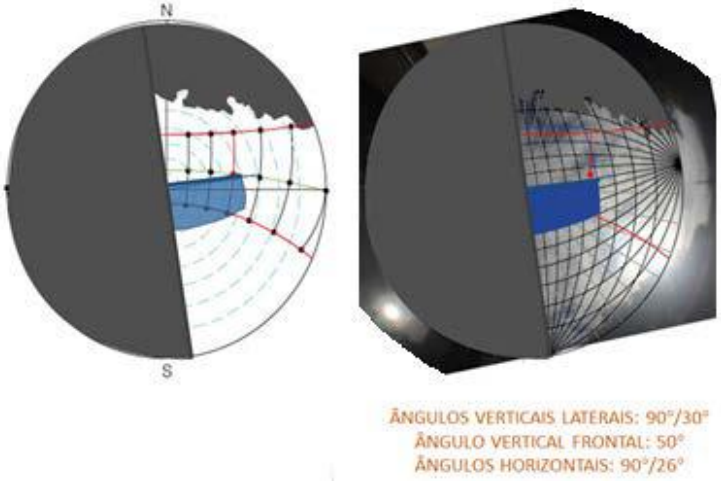


Fonte: Os autores

A partir da verificação acima descrita, foi possível escolher a região da abóbada celeste a ser bloqueada, na carta solar, conjuntamente com as linhas geratrizes dos ângulos verticais e horizontais do transferidor de máscara de sombra.

Na Figura 11, a escolha da máscara de sombreamento (hachura em azul), como a região da abóbada celeste que o *brise-soleil* deverá obstruir para sombrear (a partir das 09:00h dos dias do verão). A partir disso, o conhecimento dos ângulos que nortearam o projeto do *brise-soleil* para alcançar o sombreamento da superfície envidraçada da abertura nesses dias e horários pretendidos: Ângulo vertical frontal: 50º. Ângulo vertical lateral esquerdo: 90º; ângulo vertical lateral direito: 30º. Ângulo horizontal esquerdo 90º; ângulo horizontal direito: 26º.

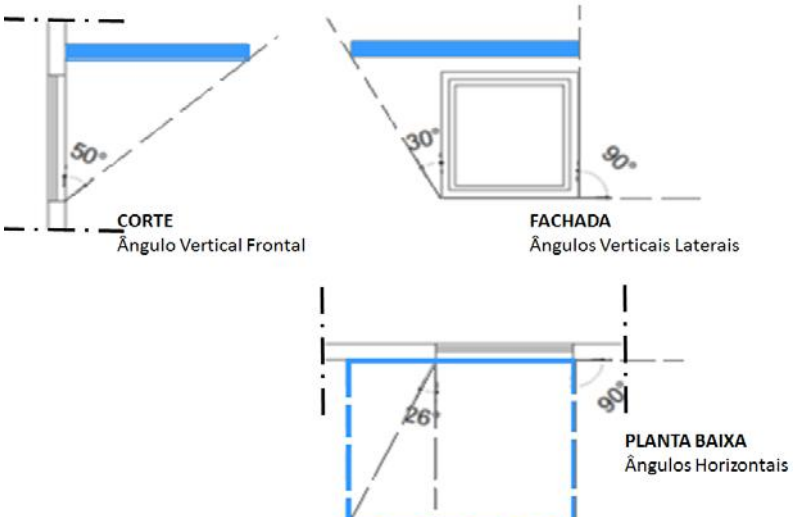
Figura 11: Máscara de sombreamento nos dias de verão a partir das 09:00h



Fonte: Os autores

Assim, como a intenção é bloquear a incidência direta do sol em 100% da área da janela nos dias de verão, a partir das 09:00h: na vista do corte os ângulos verticais frontais aparecem sobrepostos entre si, com origens dos ângulos posicionadas na linha do peitoril e na extremidade externa; na vista da fachada, as origens dos ângulos verticais laterais aparecem posicionadas nas extremidades direita e esquerda da janela e na altura do peitoril; e, na vista de planta baixa, as origens dos ângulos horizontais aparecem posicionadas nas extremidades direita e esquerda da janela. Em todas as vistas da figura 12, há a correlação da projeção ortográfica da janela e das origens dos ângulos.

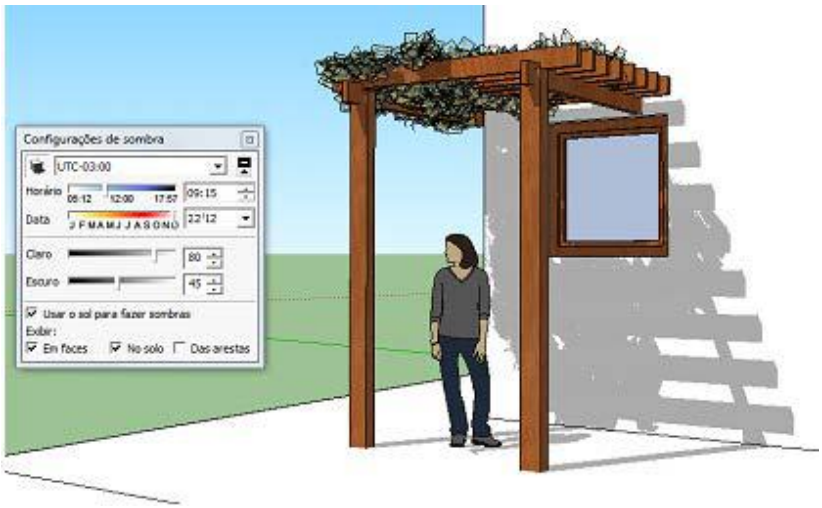
Figura 12: Representações gráficas do projeto do *brise-soleil*



Fonte: Os autores

Após o projeto do *brise-soleil* em escala, é possível conhecer a dimensão exata para o dispositivo. Embora este estudo seja exploratório, é possível constatar a eficácia da técnica e da metodologia com simulações em 3D no *Sketchup*®, segundo Figura 13. O *brise-soleil* em pergolado verde e o sombreamento em 100% da área da janela para 22/12 às 09:15h (Horário Solar).

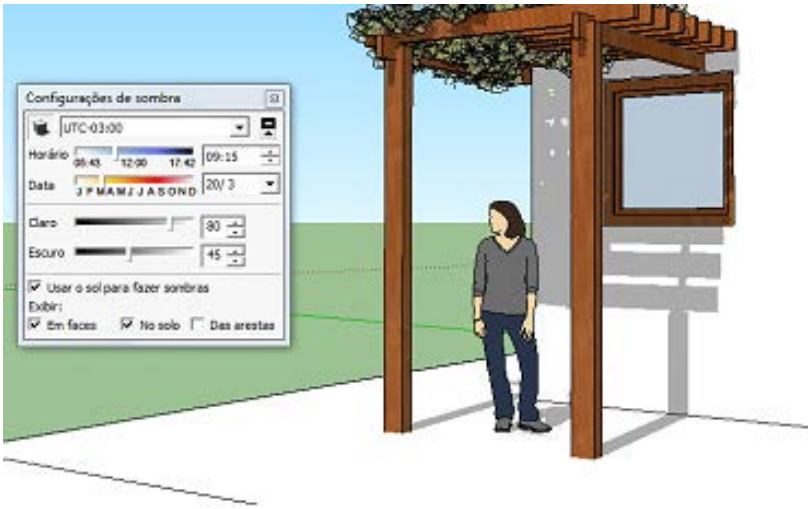
Figura 13: Simulação do sombreamento em 100% da área da janela para 22/12, 09:15h



Fonte: Os autores

E também o sombreamento em 100% da área da janela, com a simulação para 21/03, às 09:15h (Horário Solar), segundo Figura 14. O mesmo ocorrerá em 23/09 no mesmo horário.

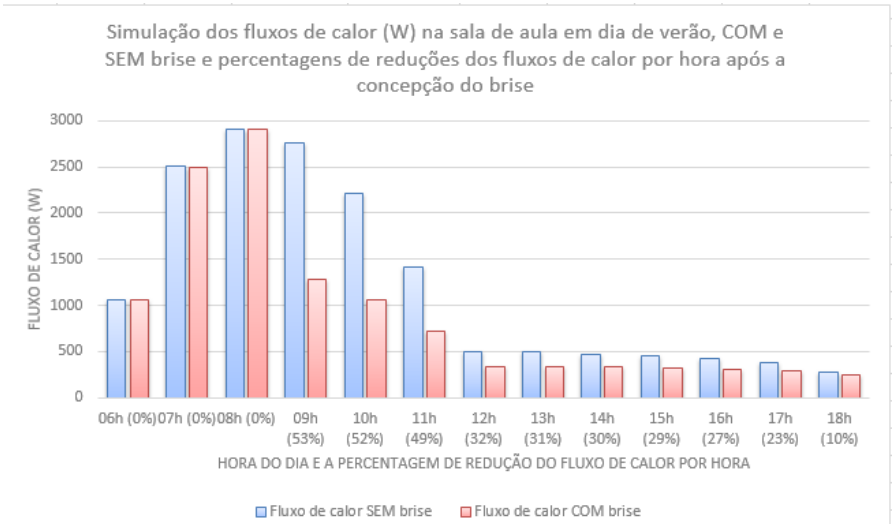
Figura 14: Simulação do sombreamento em 100% da área da janela para 21/03, 09:15h



Fonte: Os autores

Quanto à uma efetiva redução dos fluxos de calor, pode-se perceber através da simulação demonstrada por gráfico, ainda segundo as recomendações de Lamberts *et al* (1997), que para os dias de verão, a partir das 09:00h, preveem-se reduções significativas, de 53% às 09:00h a 32% às 12:00h; enquanto, antes das 09:00h não se constatam alterações nos fluxos de calor devido à inexistência do brise-soleil, segundo Figura 15.

Figura 15: Simulação dos fluxos de calor (W) e previsão de reduções dos fluxos de calor em percentagens após concepção do *brise-soleil*



Fonte: Os autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que, para atender à diretriz construtiva de promover sombreamento nas aberturas das edificações em localidades de clima predominantemente quente, se faz necessário o conhecimento da geometria da incidência solar.

Neste estudo, a metodologia apresentada testou um instrumento de pequeno porte, acoplável a *smartphones*, para simular a abóbada celeste real para o objeto da edificação, demonstrando que o instrumento e a técnica de elaboração de máscara de sombreamento podem colaborar com projetos energeticamente mais eficientes. Neste estudo de caso a intenção de sombreamento foi para 100% da área da superfície envidraçada da abertura em dias e horários escolhidos, todo o verão a partir das 09:00h (Horário Solar). A metodologia procura simplificar a técnica de projetar com a geometria da incidência solar referente à localidade específica, colaborando com o aprimoramento técnico do profissional.

O modelo do *brise-soleil* proposto poderia ser outro, contanto que fossem respeitados, no projeto, os ângulos obtidos na máscara de sombreamento. A técnica adotada ainda na etapa de projeto pode colaborar na especulação da forma da própria edificação, resultando em edificações geometricamente interessantes e autossuficientes na redução dos ganhos de calor, especialmente no verão.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ARGIRIOU, A; SANTAMOURIS, M. **Natural cooling techniques.** series: energy conservation in buildings. Grécia: European Commission Directorate General XVII for Energy, 1995.

ATHIENITIS, A. K; SANTAMOURIS, M. '**Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings.** New York: Earthscan, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa – uma abordagem prática.** 4ª ed. Porto Alegre: AMGM, Editora LTDA, 2012.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** London: Applied, 1981.

GOOGLE EARTH. Salvador. [200-]. Disponível em: <www.google.com/earth>. Acesso em: dez. 2015.

GUTIERREZ, Grace C. R.; LABAKI, Lucila C. **Considerações sobre o *brise-soleil* na arquitetura brasileira.** *In*: ENCAC 5, 2005, Maceió. Anais do VIII Encontro Nacional, IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Maceió, 2005. P. 874-881.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726** Ergonomics of the Thermal Environment – Instruments for Measuring Physical Quantities. 2ª edition. Norma ISO/DIS 7726. Genebra, 1998.

KIM, G.; LIM, H. S.; LIM, T. S.; SCHAEFER, L.; KIM, J. T. **Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings.** Energy and Buildings, v.46, n. 1, p. 105-111, mar. 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.; **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

Lomanowski, B.A.; Wright, J.L. **Modeling fenestration with shading devices in building energy simulation: a practical approach.** Proc. Building Simulation 2009, University of Strathclyde, Scotland, 2009. P. 976-983.

SOUZA, Sandra Helena M. de. **Avaliação do Desempenho Térmico nos Microclimas das Praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana- MEAU. Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2010.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO TELHADO VERDE EXTENSIVO PARA FLORIANÓPOLIS[1]

LIZ, Débora G. S. de (1); MIZGIER, Martin O. (2); GÜTHS, Saulo (3)

(1) UFSC, e-mail: debora@labcon.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: martin@arq.ufsc.br; (3) UFSC, e-mail: saulo@lmpt.ufsc.br

RESUMO

A cobertura das edificações em países tropicais influencia fortemente na transferência de calor aos ambientes internos subjacentes, pois é a área mais exposta à radiação solar direta. O telhado verde é uma técnica conhecida desde as antigas civilizações e apresenta ampla gama de benefícios térmicos, ambientais e estéticos. Este trabalho experimental tem como finalidade identificar os diferentes elementos que compõem o sistema telhado verde e que participam no processo de transferência de calor através da cobertura. A bancada experimental sobre o qual são desenvolvidos os ensaios consiste em uma câmara fechada e isolada termicamente, com temperatura interna constante. Sobre a bancada foram instaladas lajes de concreto que suportam as amostras de coberturas verdes com diferentes configurações (que incluem variação da espessura do substrato e do tipo de vegetação) e a cobertura de referência com telha de fibrocimento. Para todas as medições foram registrados dados de temperatura e fluxo de calor superficiais. Como resultados observa-se que o substrato, sem a camada vegetal, reduz o ganho de calor em 78%, quando comparado a cobertura de referência. Com adição de plantas, o ganho de calor foi reduzido em 91% na superfície de contato da laje de concreto.

Palavras-chave: Telhado verde. Comportamento térmico. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Coverage of buildings in tropical countries strongly influences the heat transfer to the underlying indoors, it is the most exposed area to direct sunlight. The green roof is a technique known since ancient civilizations and has a wide range of thermal, environmental and aesthetic benefits. This experimental work aims at identifying the different elements composing the green roof system, participating in the heat transfer process through the cover. The test rig on which tests are developed consists of a closed, thermally insulated chamber at a constant internal temperature. On the bench concrete slabs were installed to support the samples of green roofs with different configurations (including variation of substrate thickness and type of vegetation) and the reference fiber cement roof tile. For all measurements temperature and surface heat flux were registered. As a result it was observed that the substrate without the vegetal layer reduces the heat gain by 78% when compared to reference coverage. With plants addition, heat gain was reduced by 91% on the contact surface of the concrete slab.

***Keywords**: Green roof. Thermal behavior. Sustainability.*

[1] LIZ, Débora G. S. de; MIZGIER, Martin O.; GÜTHS, Saulo. Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado aos materiais que compõem sua envoltória, pois é a área que limita o ambiente interno e externo, sendo o meio por onde ocorrem as trocas de calor entre eles. Por ser a área mais exposta à radiação solar direta nos países tropicais, a cobertura da edificação responde por grande parte da eficiência e desempenho térmico da mesma. O telhado verde é uma técnica milenar que apresenta diversos benefícios. Entre eles, destacam-se a redução no consumo energético das edificações (SANTAMOURIS; 2007; SPALA; 2008), redução do efeito ilha de calor urbano (TAKEBAYASHI; MORIYAMA, 2007) e gestão de águas pluviais (NARDINI; ANDRI; CRASSO, 2012). A composição básica do sistema telhado verde compreende o componente estrutural, camada impermeabilizante, camada drenante, manta geotêxtil, substrato e cobertura vegetal. Na literatura são definidos dois tipos de telhados verdes. As 'coberturas verdes extensivas' são mais simples e resistentes, com menor espessura de substrato de terra (5 a 15cm), vegetação rasteira e baixa manutenção. Já as 'coberturas verdes intensivas' apresentam uma camada mais espessa de substrato de terra (20 a 60 cm), que sustentam plantas de maior porte, requerendo manutenção periódica e sistemas de irrigação (PARIZOTTO FILHO, 2010; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012).

Por ser um sistema vivo, o processo de transferência de calor numa cobertura vegetal é significativamente diferente do que num telhado tradicional, não só pela mudança nas características térmicas dos materiais e nas propriedades das superfícies, mas também pelos processos metabólicos das plantas (JIM; HE, 2010). O balanço energético do telhado verde é, portanto, resultado dos fluxos de calor sensível (convecção) e latente (evaporação) da superfície do solo e da planta, combinados com a condução de calor pelo substrato e a radiação de onda longa entre as superfícies do solo e da folha (SAILOR, 2008). Sendo assim, estudos aprofundados sobre a dinâmica do telhado verde e sua influência no desempenho térmico do sistema de cobertura são fundamentais. Os resultados de diferentes estudos apontam que o teor de água no substrato e a temperatura do ar têm impacto significativo no fluxo de calor sensível (TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2011; JIM; HE, 2010). Num segundo plano, a espessura, densidade e condutividade térmica do solo também interferem no comportamento térmico do telhado verde (MOODY; SAILOR, 2013), bem como o tipo de vegetação, pois além do processo de evapotranspiração, as plantas protegem o sistema do vento e sombreiam o substrato, reduzindo a temperatura do mesmo e a transferência de calor através da cobertura.

Assim, o objetivo desse trabalho é analisar, experimentalmente, o comportamento térmico do telhado verde a partir de uma comparação com diferentes configurações de camadas desse sistema construtivo.

2 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

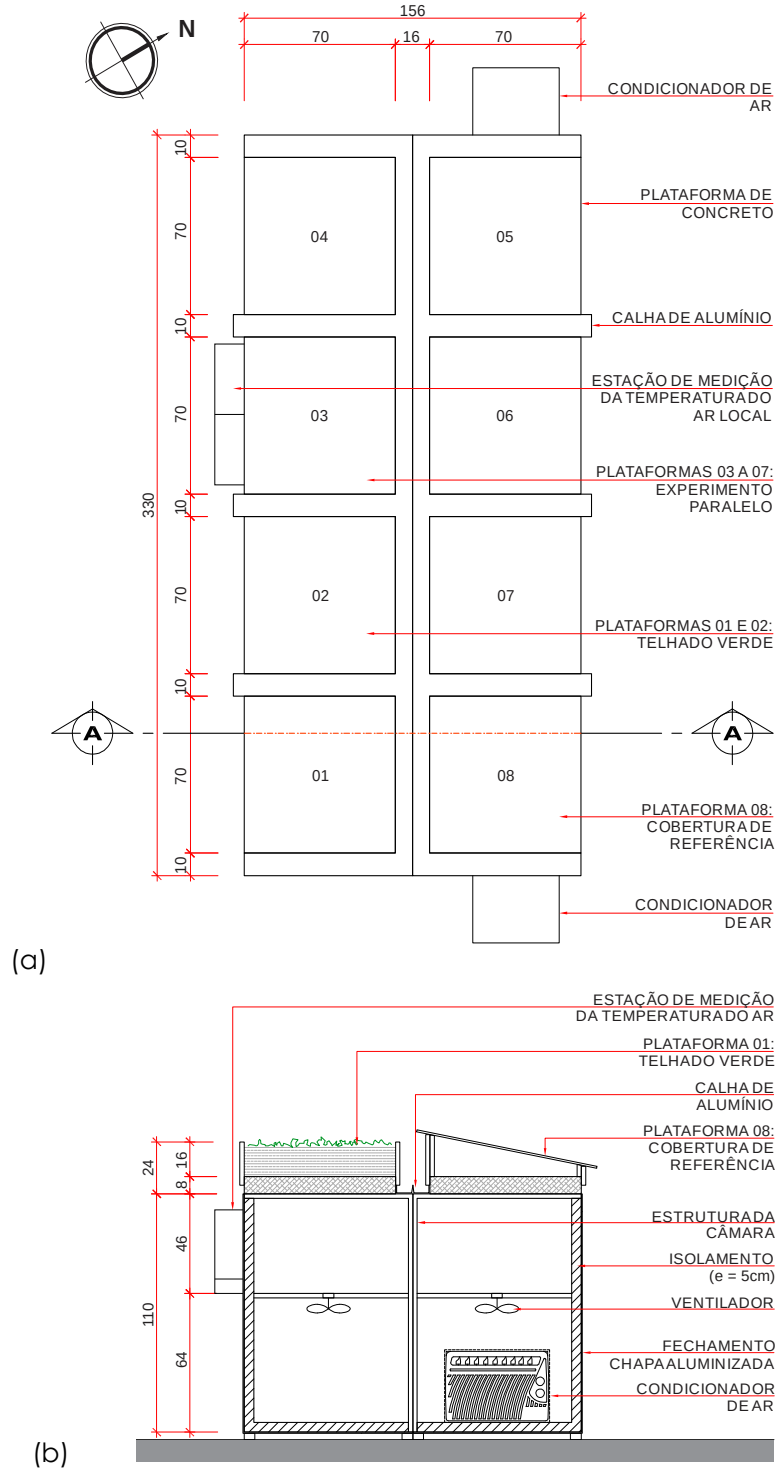
A bancada experimental de medição em campo foi montada na cobertura de uma edificação de dois pavimentos, onde se encontra exposta as variações climáticas e a incidência solar direta. Na metodologia de medição são monitorados dados de temperatura superficial e fluxo de calor através da cobertura. Estes são os principais parâmetros medidos e analisados na literatura revisada (JIM; HE, 2010; JIM; PENG, 2012; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2011; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012; OULDBOUKHITINE et al. 2011; HINZ, 2006; POUEY; SATTLER; SCHNEIDER, 1998). Os dados são registrados a cada minuto pela Unidade de aquisição e registro de dados Agilent-HP modelo 34970A.

A bancada experimental, apresentada na Figura 1, consiste numa câmara estruturada por cantoneiras metálicas com fechamento externo em chapa de alumínio (laterais e fundo) e isolamento interno com poliestireno expandido 5cm de espessura a fim de reduzir as trocas térmicas entre o interior e o exterior. As dimensões gerais da câmara são 3,30m de comprimento, 1,56m de largura e 1,10m de altura. A construção de duas metades iguais de 0,78m de largura permite que um dos lados seja móvel, possibilitando a abertura para manutenção interna da bancada experimental. Dois condicionadores de ar do tipo janela (um de 7500 BTU e outro de 9000 BTU) instalados no lado fixo da bancada mantêm a temperatura interna constante através do controlador Proporcional Integral Derivativo - PID, cujo *setpoint* foi fixado em 23,5°C. Sobre a bancada, oito lajes de concreto (plataformas) com dimensões 70x70x8cm suportam as amostras de cobertura em análise. Este artigo apresenta os resultados das medições comparativas entre duas amostras de telhado verde (plataformas 01 e 02) e uma amostra de referência coberta com telhas de fibrocimento (plataforma 08). Sob cada uma das lajes, no interior da câmara, um ventilador auxilia na distribuição uniforme do ar refrigerado.

Os dados climáticos são obtidos através de uma estação meteorológica distante aproximadamente 90 metros do local onde foi montada a bancada experimental. Os dados utilizados na pesquisa são radiação solar direta, umidade relativa do ar e precipitação. Além dos dados climáticos fornecidos pela estação meteorológica, uma estação de medição da temperatira do ar externo foi montada na lateral da bancada, com orientação solar Sul. Um termopar tipo T foi inserido num tubo de policloreto de polivinila (PVC) isolado e protegido da radiação solar direta. Um exaustor acoplado na entrada do tubo garante a circulação constante do ar externo por dentro do mesmo.

A junta de referência, instalada no interior da bancada (temperatura de referência igual a temperatura interna do ar), permite conhecer a temperatura nas juntas de medição.

Figura 1 - (a) planta baixa e (b) corte esquemático da bancada experimental



Fonte: elaborado pelo autor

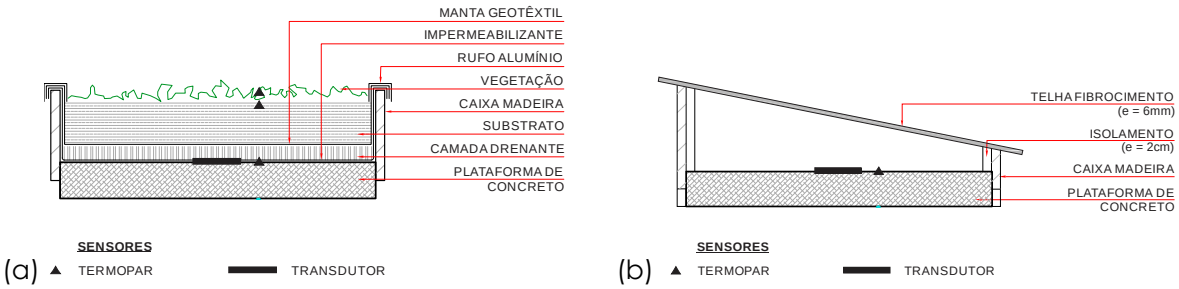
2.1 Instrumentação

As plataformas com telhado verde são equipadas com sensores de medição de temperatura (termopares tipo T) instalados na superfície superior da laje de concreto, na superfície superior do substrato (abaixo de uma fina camada de terra) e no dossel das plantas. Um transdutor de fluxo de calor a

gradiente tangencial na superfície superior da laje de concreto (parte central) mede o fluxo de calor através do sistema telhado verde (Figura 2a).

A amostra de referência (coberta com telha de fibrocimento de espessura igual a 6mm) é equipada com os mesmos sensores (Figura 2b), instalados na superfície de contato superior da laje de concreto.

Figura 2 - Localização dos sensores instalados nas amostras de (a) telhado verde e (b) cobertura de referência

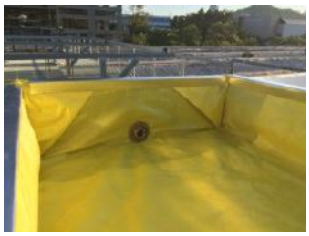


Fonte: elaborado pelo autor

2.2 Etapas de medição

Antes de proceder com a execução das diferentes etapas de medição, iniciou-se a construção das camadas comuns as duas plataformas com amostras de telhado verde. Inicialmente instalou-se o quadro de madeira para contenção das camadas, a lona como impermeabilizante e o dreno do sistema, constituído por uma flange de 25mm (Figura 3a). A camada drenante é constituída por 5cm de espessura de argila expandida (Figura 3b). Por fim a manta geotêxtil (bidim) foi aplicado em ambas plataformas (Figura 3c).

Figura 3 - Camadas comuns a todas as etapas de medição

(a)  (b)  (c) 

Fonte: acervo do autor - out. 2015

As etapas de medição para análise do comportamento térmico do telhado verde frente a diferentes composições ocorreram sequencialmente conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Etapas de medição com telhado verde

ETAPA	PLATAFORMA 01	PLATAFORMA 02
01	Substrato úmido com 5cm de espessura	Substrato úmido com 15cm de espessura
02	Substrato úmido com 10cm de espessura + vegetação (grama Sempre Verde)	Substrato úmido com 10cm de espessura
03	Substrato úmido com 10cm de espessura + vegetação (grama Sempre Verde)	Substrato úmido com 10cm de espessura + vegetação (grama Preta)

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Moody e Sailor (2013), a espessura do substrato interfere no comportamento térmico do telhado verde. A Etapa 01 tem por objetivo comparar os resultados a partir do parâmetro inércia. O telhado verde extensivo compreende espessura entre 5 e 15 cm (PARIZOTTO FILHO, 2010; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012). Portanto cada amostra apresenta diferentes espessuras de solo, considerando os limites para telhado verde extensivo (Figura 4a). A plataforma 01 foi preenchida com 5cm de substrato (Figura 4b) e a plataforma 2, com 15cm de substrato (Figura 4c).

Figura 4 - Substrato com espessura de 5 e 15 cm

(a)  (b)  (c) 

Fonte: acervo do autor - jan. 2016

A Etapa 02 compara os resultado a partir da adição da camada de vegetação (grama Sempre Verde - *Axonopus compressus*) na plataforma 01 (Figura 5a), enquanto a Etapa 03 tem vegetação em ambas amostras (Figura 5b), porém de tipos diferentes; a plataforma 02 é coberta com grama Preta - *Ophiopogon japonicus* (Figura 5c). Os parâmetros da vegetação variam de acordo com a espécie (densidade das folhas, taxa de evapotraspiração, área de sombreamento, etc.) e podem apresentar variações também nos resultados. Nessas duas etapas a espessura do substrato de ambas amostras é de 10cm (medida intermediária aos limites do telhado verde extensivo).

Figura 5 - Etapas 02 e 03

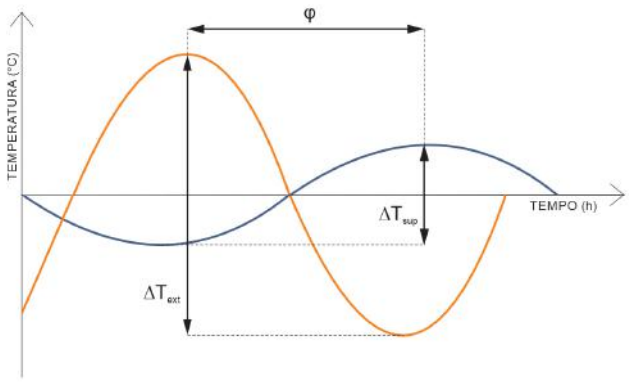
(a)  (b)  (c) 

Fonte: acervo do autor - fev. 2016

2.3 Parâmetros de avaliação

Os parâmetros adotados para avaliar o comportamento térmico do telhado verde são atraso térmico (φ) e fator decremental ou amortecimento (f). Esses parâmetros estão associados a inércia térmica (característica do telhado verde). O fator decremental (Equação 1) é a razão entre a amplitude de temperatura na superfície de contato e a amplitude externa. Já o atraso térmico (Equação 2) se caracteriza pelo intervalo de tempo entre a hora da temperatura máxima na superfície de contato e a hora da temperatura máxima do ambiente externo (Figura 6).

Figura 6 - Parâmetros atraso térmico e fator decremental



Fonte: elaborado pelo autor

$$f = \frac{T_{\sup máx} - T_{\sup mín}}{T_{ext\ máx} - T_{ext\ mín}} \quad (1)$$

Onde:

f = fator decremental
$T_{\sup máx}$ = temperatura máxima na superfície interna de contato (°C)
$T_{\sup mín}$ = temperatura mínima na superfície interna de contato (°C)
$T_{ext\ máx}$ = temperatura máxima no ambiente externo (°C)
$T_{ext\ mín}$ = temperatura mínima no ambiente externo (°C)

$$\varphi = t_{T\ sup\ máx} - t_{T\ ext\ máx} \quad (2)$$

Onde:

φ = atraso térmico
$t_{T\ \mathrm{sup}\ máx}$ = hora em que ocorre a temperatura máxima na superfície interna de contato (h)
$t_{T\ ext\ máx}$ = hora em que ocorre a temperatura máxima no ambiente externo (h)

3 RESULTADOS

3.1 Fluxo de calor

Os dados de fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural (plataforma 01 – Plt. 01, plataforma 02 – Plt. 02 e plataforma 08 – Plt. 08) foram analisados e comparados com as condições climáticas (umidade relativa do ar, radiação solar incidente e temperatura do ar externo). A Tabela 2 apresenta os dados de todas as etapas de medição. A etapa 01 ocorreu entre os dias 12 e 16/02, a etapa 02, nos dias 11 a 15/03 e a etapa 03, entre os dias 18 e 22/03.

Tabela 2 - Dados climáticos, temperatura e fluxo de calor superficiais registrados em todas as etapas de medição

Data	UR do ar mínima (%)	Rad. solar máxima (W/m²)	Temp. máx. do ar (°C)	Temperatura máxima na superfície de contato superior da laje (°C)			Fluxo de calor máximo na superfície de contato superior da laje (W/m²)		
				Plt. 01	Plt. 02	Plt. 08	Plt. 01	Plt. 02	Plt. 08
12/02/2016	51,5	971	34,97	28,40	27,02	31,21	40,63	23,07	45,54
13/02/2016	50,3	790,3	34,74	28,55	26,74	30,69	47,36	19,45	44,08
14/02/2016	52,8	777,1	36,97	28,88	26,86	32,05	51,53	21,71	47,37
15/02/2016	60,3	952	33,19	26,67	25,87	31,18	39,90	15,63	69,90
16/02/2016	72,8	399,5	31,14	26,27	25,23	28,27	27,71	12,28	29,05
11/03/2016	60,1	925	30,20	24,03	24,89	28,24	9,11	20,25	54,05
12/03/2016	54,6	991	28,73	23,44	23,96	28,40	6,20	13,67	43,38
13/03/2016	52,7	972	28,59	23,09	23,73	27,76	1,81	10,45	35,95
14/03/2016	69,4	634,3	27,41	23,13	23,59	25,83	2,94	5,77	14,92
15/03/2016	60,6	959	31,71	24,39	25,63	30,59	11,35	23,10	48,16
18/03/2016	53,9	976	35,08	25,66	25,25	31,55	15,99	8,30	66,04
19/03/2016	59,8	815	32,04	25,06	24,83	29,70	11,08	5,17	48,53
20/03/2016	67,7	823	30,93	24,55	24,45	28,00	10,34	5,04	36,51
21/03/2016	60,3	833	33,69	24,74	24,66	28,36	11,51	5,47	46,61
22/03/2016	46,4	969	36,63	24,91	24,65	31,22	12,49	5,47	63,39

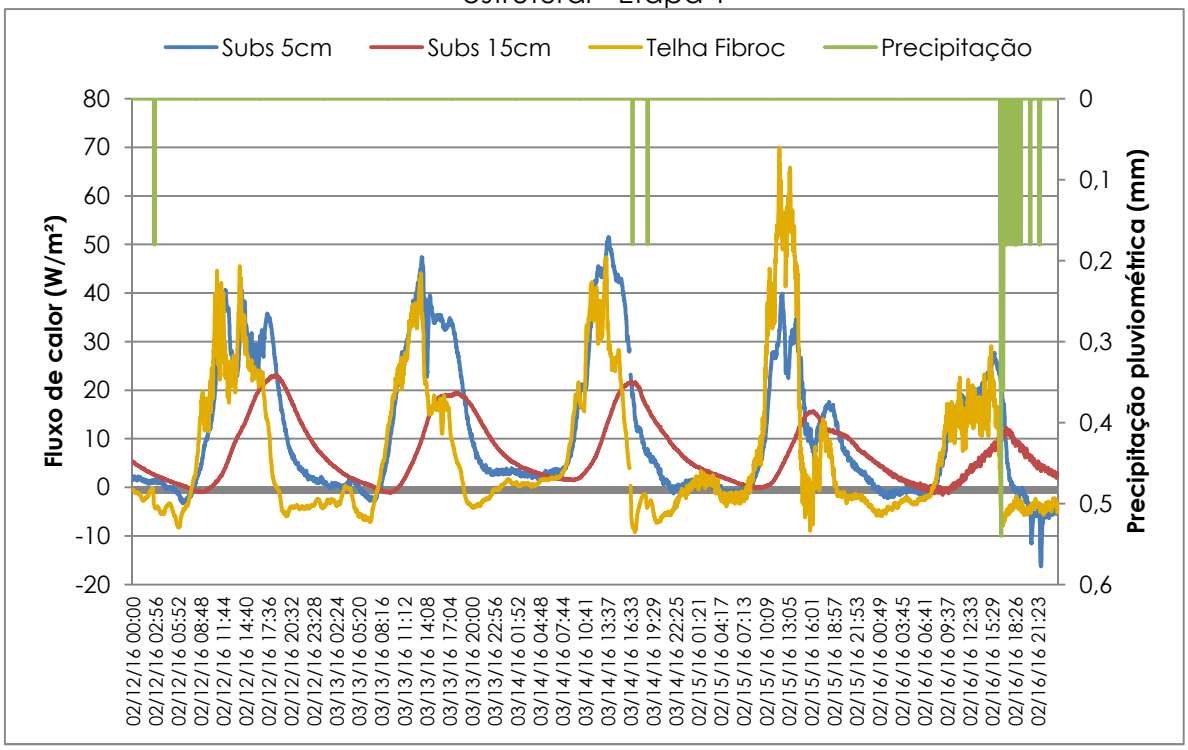
Fonte: elaborado pelo autor

Na primeira etapa de medições, as plataformas 01 e 02 foram preenchidas com 5 e 15cm de substrato úmido, respectivamente. Nos dias de maior incidência da radiação solar, combinado a baixa umidade relativa do ar, o fluxo de calor entre a amostra com 5cm de substrato e a cobertura de referência é semelhante. Com o aumento da umidade relativa do ar, a amostra com 5cm de substrato apresenta fluxo de calor menor, chegando a reduzir 43% em relação a cobertura com telha de fibrocimento. Diminuindo a radiação solar o comportamento volta a ser semelhante.

No Gráfico 1 observa-se que a plataforma 02, com 15cm de substrato, apresenta comportamento com picos de calor menores, não ascilando tanto com a variação da radiação solar indicente. Em comparação com a amostra com 5cm de substrato, o fluxo de calor máximo é, em média, 55% menor, ocorrendo com atraso médio de 3,96 horas. A maior redução de ganho de calor da amostra com 15cm de substrato em relação a cobertura com telha de fibrocimento foi no dia 15/02 em 78%

O evento de chuva observado no dia 16/02 influencia de maneira semelhante a redução do fluxo de calor nas amostras com 5cm de substrato e com telha de fibrocimento. Menor massa permite o rápido resfriamento da superfície de contato, reduzindo o fluxo de calor, enquanto que na amostra com maior massa, o efeito não foi observado.

Gráfico 1 - Fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural - Etapa 1



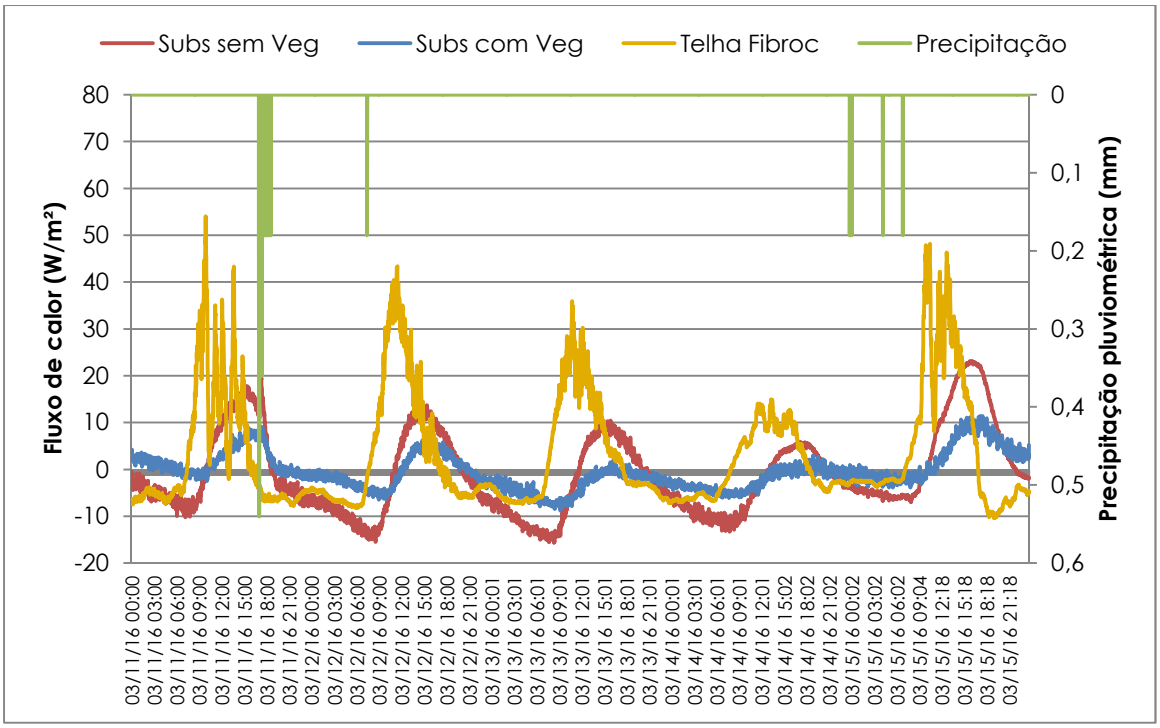
Fonte: elaborado pelo autor

O Gráfico 2 mostra as curvas de fluxo de calor medidos na segunda etapa. Observa-se que o fluxo de calor máximo da plataforma 02 (com 10cm de substrato sem vegetação) sofreu oscilações que acopanharam a

temperatura máxima do ar externo, sendo maior no dia 15 e menor no dia 14. Já o fluxo de calor máximo da plataforma 01 (com vegetação) foi menor no dia 13, quando a baixa umidade relativa do ar estava associada a alta radiação solar incidente, potencializando o efeito da evapotranspiração e reduzindo o ganho de calor. Além disso, a presença da vegetação reduziu a amplitude entre fluxo de calor máximo e mínimo em até 62% (no dia 11/03), quando comparado com a amostra sem vegetação.

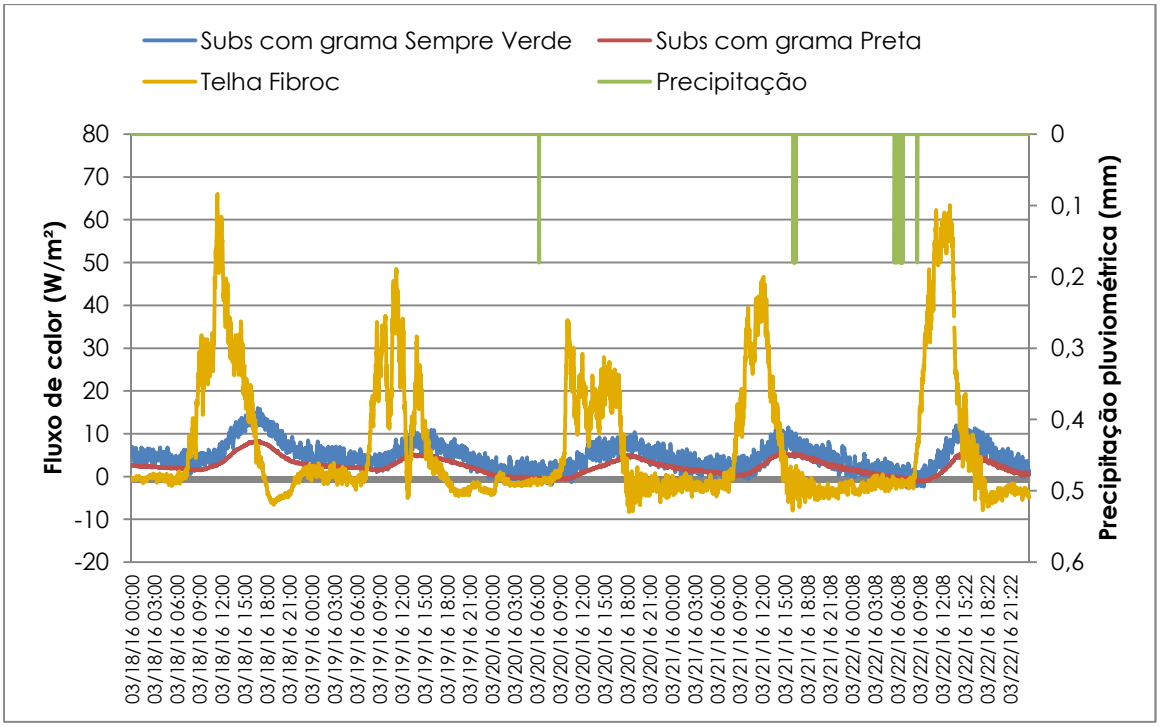
O Gráfico 3 mostra a terceira etapa de medição, cujo fluxo de calor máximo das três coberturas acompanhou a tentência da radiação solar, ou seja, valores maiores ocorreram no dia 18 e menores, no dia 20. Em comparação com a cobertura de referência, a maior redução no fluxo de calor na superfície de contato dos telhados verdes ocorreu no dia 22, quando a umidade relativa do ar foi menor, possibilitando maior perda de calor pelo processo de evapotranspiração das plantas. A plataforma 01, com grama Sempre Verde, apresentou redução de 80% no fluxo de calor máximo, enquanto que a plataforma 02, com grama Preta, apresentou redução de 91%, comparado a cobertura de referência. A diferença no fluxo de calor máximo entre as amostras de telhado verde também foi alta. A amostra com grama Preta apresentou fluxo 56% menor em relação a amostra com grama Sempre Verde.

Gráfico 2 - Fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural - Etapa 2



Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 3 - Fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural - Etapa 3



Fonte: elaborado pelo autor

3.2 Atraso térmico e fator decremental

Os parâmetros atraso térmico e fator decremental foram aplicados em cada etapa de medição como método de avaliação do comportamento térmico da cobertura vegetal. Os resultados apresentados na Tabela 3 referem-se ao dia em que foi registrada a maior temperatura do ar externo. Pela tabela, observa-se correlação entre os parâmetros: quanto maior o fator decremental de uma cobertura, menor é o tempo transcorrido para que as ondas de calor passem do meio externo até a superfície de contato, apresentando um atraso térmico menor. Isso indica que, sistemas de cobertura menos resistentes as variações de temperatura do ar externo também têm menor capacidade de retenção de calor.

Tabela 1 - Correlações entre parâmetros para avaliação do comportamento térmico do telhado verde

Etapa	Hora temp. máx. do ar	Configuração das amostras	f	φ
01 (14/02/2016)	13h21	Cobertura de referência	0,728	1,68
		Substrato 5cm de espessura	0,403	2,58
		Substrato 15cm de espessura	0,229	4,77
02 (15/03/2016)	13h27	Cobertura de referência	0,761	1,28
		Substrato com vegetação	0,169	5,95
		Substrato sem vegetação	0,290	5,10
03 (22/03/2016)	13h02	Cobertura de referência	0,614	1,00
		Substrato com grama Sempre Verde	0,118	4,87
		Substrato com grama Preta	0,088	4,87

Fonte: elaborado pelo autor

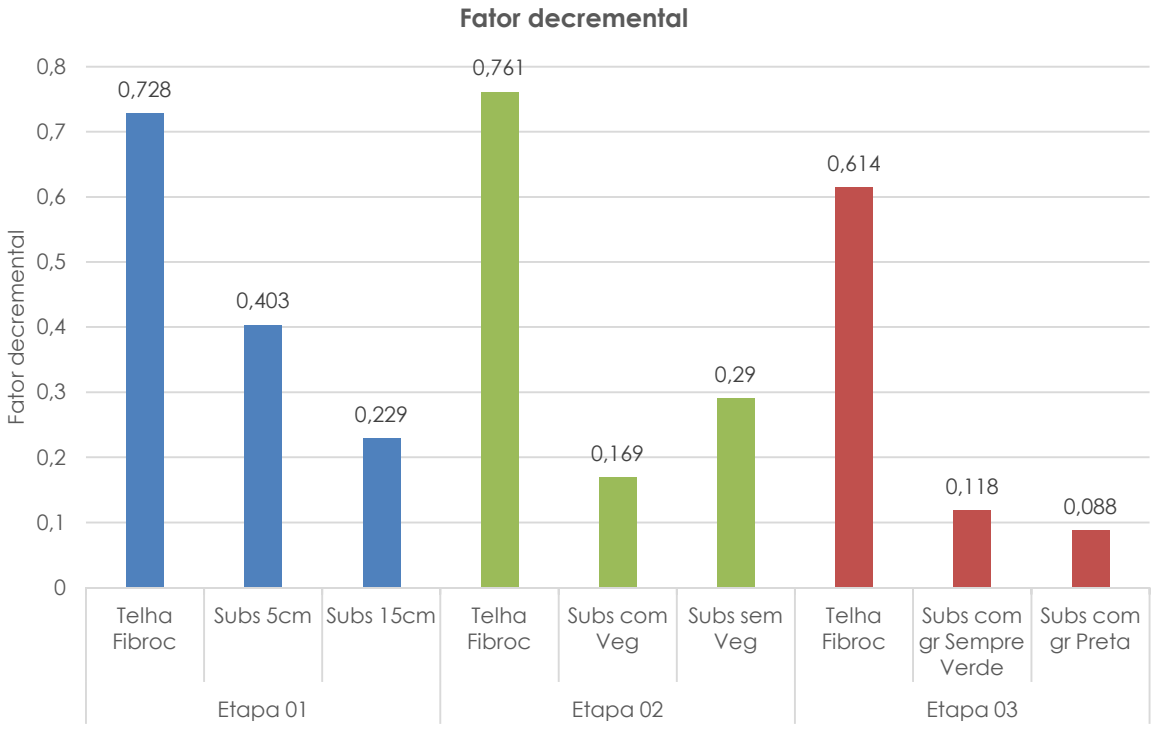
Os resultados mais significativos nos parâmetros analisados são apontados pela variável espessura (Gráfico 4). O aumento da camada de substrato de 5 para 15cm reduziu em 43% o fator decremental e aumentou em 85% o atraso térmico. Esses resultados indicam que a presença da camada de terra caracteriza o telhado verde como estratégia de elevada inércia térmica.

Outra variável de significativa importância no amortecimento da temperatura é a presença da vegetação, reduzindo em 42% o fator decremental com a adição da camada vegetal sobre o substrato. Se comparado a cobertura de referência, o amortecimento chega a 77%.

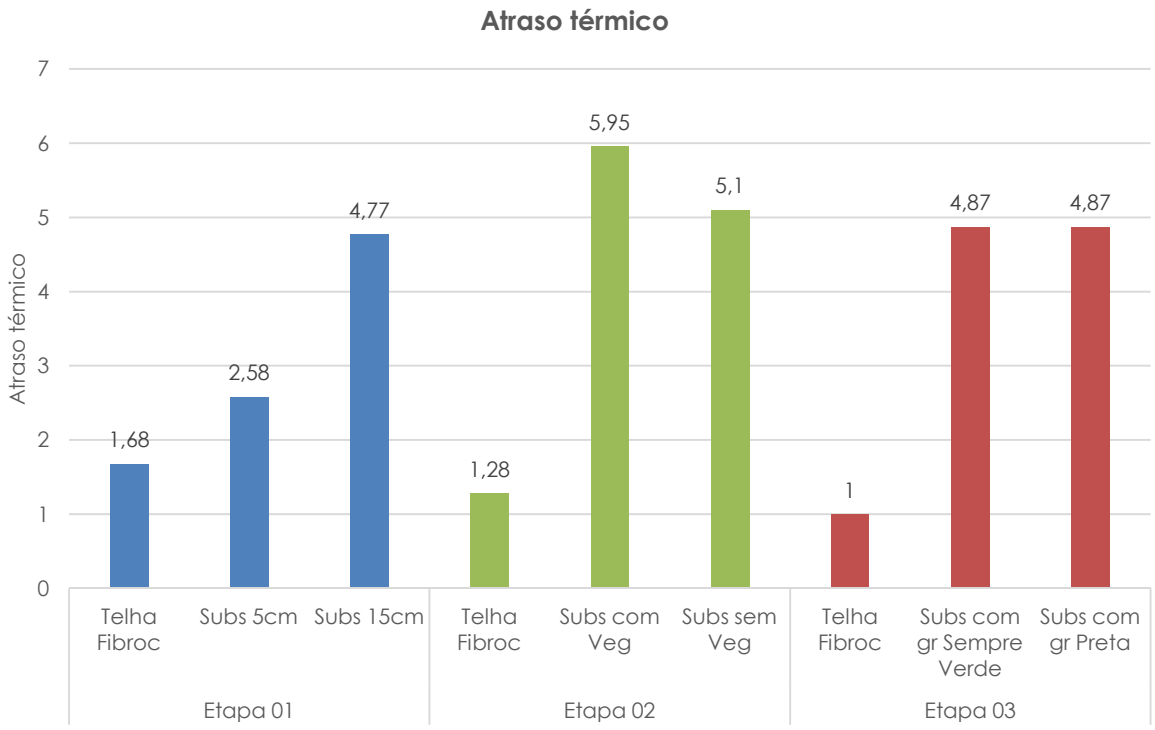
Esses resultados são possíveis devido ao sombreamento proporcionado pela planta na camada do solo (Figura 5c) Os resultados dos cinco dias de medição na terceira etapa apontam que a temperatura máxima no dossel da planta e na superfície do substrato da amostra com grama Preta foram, em média, 13% e 5% menor, respectivamento, em comparação com amostra com grama Sempre Verde.

Gráfico 1 - Parâmetros atraso térmico e fator decremental para cada etapa de medição

(a)



(b)



Fonte: elaborado pelo autor

4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados das três etapas de medição, com diferentes configurações de camadas de telhado verde, permite conhecer os elementos de maior impacto na eficiência do sistema. Quanto a espessura do substrato, as amostras sem vegetação permitiram redução no fluxo de calor na superfície superior da laje de concreto a partir de 10cm, quando comparado a cobertura de referência.

Com o acréscimo da camada de vegetação, os melhores resultados são observados quando a baixa umidade relativa do ar está associada a alta radiação solar incidente, pois o telhado perde calor pelo processo de evapotranspiração. O tipo de vegetação utilizado sobre o substrato também interfere no processo de transferência de calor. Entre as gramíneas adotadas no experimento é possível observar que o grama Preta, que proporciona maior sombreamento do substrato em comparação com a grama Sempre Verde, reduz a taxa de calor transferido para a laje e diminui a temperatura no dossel e no substrato.

O trabalho realizado evidencia que os telhados verdes são uma contribuição efetiva para melhorar o desempenho térmico da cobertura e permite quantificar o potencial que pode ser alcançado por este sistema construtivo para as condições climáticas observadas.

REFERÊNCIAS

HINZ, E. **Estudio del comportamiento térmico de un sistema pasivo de enfriamiento evaporativo indirecto con cobertura vegetal en un clima tropical.** 2006. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Escola Técnica Superior de Engenheiros Industriais, Universidade de Zulia, Maracaibo. 2006.

JIM, C. Y. PENG, L. L. H. Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof. **Urban Forestry & Urban Greening** v. 11 p. 73-85, 2012.

JIM, C. Y. HE, H. Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. **Ecological Engineering** v. 36 p. 1052-1063, 2010.

MOODY, S. S. SAILOR, D. J. Development and application of a building energy performance metric for green roof system. **Energy and Buildings** v. 60, p. 262-269, 2012.

NARDINI, A. ANDRI, S. CRASSO, M. Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. **Urban Ecosyst** v. 15, p. 697-708, 2012.

OULDBOUKHITINE, S. E. et al. Assessment of green roof thermal behavior: a coupled heat and mass transfer model. **Building and Environmental** v. 46, p. 2624-2631, 2011.

PARIZOTTO FILHO, S. **Telhado vegetado.** In: Lamberts, R. et al (ed.). Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p. 89-122.

POUEY, M. T. F.; SATTLER, M. A.; SCHNEIDER, P. S. Coberturas verdes: análise de desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 473-481.

SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **ScienceDirect** v. 40, p. 1466-1478, 2008.

SANTAMOURIS, M. et al. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athenas, Greece. **Science Direct** v. 32 p. 1781-1788, 2007.

SPALA, A. et al. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system in an office building in Athens, Greece. **Science Direct** v. 33 p. 173-177, 2008.

TABARES-VELASCO, P. C. SREBRIC, J. Experimental quantification of heat and mass transfer process through vegetated roof sample in a new laboratory setup. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. v. 54 p. 5149-5162, 2011.

_____. A heat transfer model for assessment of plant based roofing systems in summer condition. **Building and Environment** v. 49 p. 310-323, 2012.

TAKEBAYASHI, H. MORIYAMA, M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. **Building and Environmental** v. 42 p. 2971-2979, 2007.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS[1]

TAKAHAShi, Vanessa (1); MOREIRA, Daniel (2); BERTOLI, Stelamaris (3)

(1) UNICAMP, e-mail: takahashi.van@gmail.com; (2) UNICAMP, e-mail: damore@fec.unicamp.br; (3) UNICAMP, e-mail: rolla@fec.unicamp.br

RESUMO

Dentre os aspectos de desempenho previstos na norma ABNT NBR 15575-2013- Edificações habitacionais- Desempenho, pode-se destacar o item desempenho acústico, que é um tema contemporâneo devido ao aumento da poluição sonora e do consequente incomodo gerado pelo ruido principalmente nos edifícios habitacionais. Para que o desempenho acústico da edificação seja obtido é necessário que na fase de concepção do projeto sejam dimensionados e escolhidos corretamente os elementos construtivos dos sistemas: de piso, de vedação vertical interna e externa e de cobertura. Neste contexto, programas de simulação acústica são ferramentas importantes para o cálculo de modelos de previsão de desempenho. Objetivando auxiliar o projetista na escolha dos materiais adequados o artigo tem como propósito apresentar a ferramenta computacional, denominada Hipnos Acústica, resultado da tese de doutorado da AUTORA (2016). A ferramenta desenvolvida para plataforma Windows e Mac é voltada para a construção civil brasileira e está de acordo com a norma NBR 15575(ABNT, 2013). A ferramenta busca facilitar decisões de projeto e possibilitar combinações de produtos, ou a utilização de sistemas inovadores que atendam a norma por meio de simulações. A ferramenta computacional busca uma interface amigável e didática para usuários especialistas e não especialistas na área de desempenho acústico de edificações.

Palavras-chave: *Desempenho de edificações, ABNT NBR15575, Isolamento acústico.*

ABSTRACT

Among the aspects of performance according to the brazilian standard NBR 15575-2013- Housing Building Performance, you can highlight the item acoustic performance, which is a contemporary theme due to increased noise pollution and consequent discomfort generated mainly in residential buildings. For the acoustic performance of the building is obtained it is necessary that the project design stage are sized and correctly chosen the constructive elements of the systems: floors, internal and external vertical seal and cover. In this context, sound simulation programs are important tools for the calculation of performance prediction models. In order to aid the designer in the choice of suitable materials the article aims to present a computational tool called Hypnos Acoustic result of the thesis AUTHOR (2016). The tool developed for Windows and Mac platform is focused on the Brazilian construction and is in accordance with NBR 15575 (ABNT, 2013). The tool aims to facilitate design decisions and possible product combinations, or the use of innovative systems that meet the standard through simulations. The computational tool seeks a friendly and didactic interface for specialists and non-expert users in the acoustic performance of area buildings.

[1] TAKAHAShi, Vanessa; MOREIRA, Daniel; BERTOLI, Stelamaris. Ferramenta computacional para desempenho acústico de edificações habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Performance of buildings, ABNT NBR 15575, acoustic insulation..*

1 INTRODUÇÃO

A norma NBR15575 (ABNT, 2013) entrou em vigor em 2013 e para que os critérios de desempenho acústico exigidos pela norma sejam cumpridos nas edificações é necessário estudar o isolamento na fase de projeto e a posterior comprovação desse desempenho quando a edificação já estiver concluída.

Neste contexto, programas de simulação acústica são ferramentas importantes para o cálculo de previsão de desempenho, porém os programas disponíveis relativos à acústica são em sua maioria desenvolvidos na Europa e nos EUA e apresentam realidades diferentes da construção civil brasileira. Consultando a literatura buscou-se identificar a existência e funcionamento de ferramentas computacionais de auxilio ao projetista para dimensionamento e escolhas dos elementos construtivos dos sistemas de vedação vertical externa e interna, sistema de piso e de cobertura na concepção do projeto.

Visando auxiliar o projetista a propor ou analisar um projeto do ponto de vista de desempenho acústico, o artigo apresenta uma ferramenta computacional, denominada *Hipnos Acústica*, desenvolvido como parte do doutorado de Takahashi (2016) e voltada para a construção civil brasileira e de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013). A ferramenta busca facilitar decisões de projeto e possibilitar combinações de produtos, ou a utilização de sistemas inovadores que atendam a norma por meio de simulações. Além disso, essa ferramenta também pode colaborar para a verificação dos resultados de desempenho acústico quando a edificação estiver construída verificando por meio de medições se a edificação está dentro dos padrões mínimos considerados pela norma ABNT NBR15575/2013. A ferramenta computacional foi desenvolvida no software Filemaker para plataforma Windows e Mac, buscando uma interface amigável e didática para usuários especialistas e não especialistas na área de desempenho acústico de edificações.

2 DESEMPENHO ACÚSTICO NA NORMA NBR 15575 (ABNT, 2013)

A norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta para cada necessidade do usuário a sequência de requisitos de desempenho, critérios de desempenho e respectivos métodos de avaliação. A norma está dividida em seis partes sendo: Parte 1: Requisitos gerais; Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso; Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE; Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura; Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para os diferentes tipos de sistemas construtivos, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos mínimos de desempenho em função das necessidades básicas de saúde, segurança, higiene e economia. Exige-se

pela norma o nível mínimo (M) de desempenho. De forma informativa, a norma indica valores de desempenho intermediário (I) e superior (S) que ficam a critério do empreendedor e conferem uma classificação mais elevada para o empreendimento. Anauate e Bueno (2013) acreditam na tendência de que o nível de desempenho evolua para qualidade intermediária e superior devido à autorregulação do mercado que passará a adotar a evolução da melhoria da qualidade como um diferencial.

O desempenho acústico dos diferentes tipos de sistema da edificação habitacional é apresentado no item 12 das seis partes da NBR 15575 (ABNT, 2013). Segundo a norma a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado para as vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico interno adequado para ruído aéreo e de impacto entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes. Para isso a edificação deve atender ao limite mínimo de desempenho conforme estabelecido nas partes 3,4 e 5 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). A titulo de exemplo, a Tabela 1 apresenta os valores de desempenho Mínimo, Intermediário e Máximo da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório determinada pela referida norma.

Tabela 1- Valores de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância, $D_{2m,nT,w}$(dB), da vedação externa de dormitório.

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR15575-4/2013

O método de avaliação do desempenho acústico utilizado para a sistematização da ferramenta foi o proposto pelas famílias de normas NBR 15575 (ABNT, 2013) para classificação do desempenho, ISO 140 (ISO 1995), para métodos de medições, ISO 717(ISO 2013) para determinação do número único e BS EN12354 (EN, 2000) para estimativa de isolamento acústico. Esses métodos avaliam o desempenho acústico para os sistemas construtivos edificados pela Diferença de nível padronizada ponderada, D_{ntw}, e Diferença Padronizada de nível, a 2 metros, $D_{2m,nT,w}$, para ruído aéreo

e Nível de pressão sonora de impacto–padrão ponderado, L'_{nTw}, para ruído de impacto, contidos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A ferramenta *Hipnos* Acústica foi pensada para atender dois procedimentos: simulação e verificação de desempenho. Na parte relacionada à concepção do projeto da edificação, são realizadas simulações para indicar possíveis soluções de materiais dos elementos construtivos e/ou combinação de materiais que poderiam ser usados em cada situação e que atendam a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013). A outra parte tem como objetivo verificar o desempenho de uma edificação construída e compará-lo com o desempenho proposto pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

O desenvolvimento da ferramenta partiu da premissa de que a simulação de desempenho acústico seguiria os preceitos das normas ABNT NBR15575, ISO 140, ISO717 e BS EN 12354 e que o programa deveria conter informações suficientes para possibilitar o seu uso por pessoas não especialistas em avaliação de desempenho acústico. Foi também requisito que o programa funcionasse nos sistemas operacionais Windows e Mac. Assim para a criação do programa seguiu-se as seguintes etapas:

Etapa 1- Definição dos sistemas construtivos avaliados pela norma ABNT NBR 15575.

A ferramenta tem como foco avaliar o desempenho acústico dos sistemas construtivos citados na norma de desempenho ABNT NBR 15575/2013, a saber: o Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE), Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI), Sistema de Piso (SP) e Sistema de Cobertura (SC) para edificações habitacionais.

Etapa 2- Levantamento de todos os dados necessários para geração da ferramenta computacional de desempenho acústico.

Essa etapa consistiu em levantar e coletar os dados necessários para sistematizar e realizar os cálculos segundo as famílias das normas ABNT NBR15575, ISO 140, ISO 717 e BS EN 12354, tanto da parte relacionada à simulação na fase de concepção de projeto quanto na parte de verificação do desempenho na obra já executada.

Etapa 3- Elaboração dos modelos matemáticos em Microsoft Excel.

As planilhas desenvolvidas para realização dos cálculos de isolamento foram realizadas no programa Microsoft Office Excel/ 2010. As equações foram separadas no que se chamou de modelo matemático principal, secundário e auxiliar (Quadro 1). Em uma planilha reuniram-se as equações base, responsáveis pelos resultados principais e equações secundárias necessárias à solução dessas equações base. Em outras planilhas foram organizadas as equações auxiliares que ajudam o usuário a calcular dados de entrada.

O método de avaliação do desempenho acústico utilizado para a sistematização foi o proposto pelas famílias de normas ABNT NBR 15575 para classificação do desempenho, ISO 140 para métodos de medições, ISO 717 para determinação do número único e BS EN 12354 para estimativa de isolamento acústico. Esses métodos avaliam o desempenho acústico para os sistemas construtivos edificados pela Diferença de nível padronizada ponderada, D_{ntw}, e Diferença Padronizada de nível, a 2 metros, $D_{2m,nT,w}$, para ruído aéreo e Nível de pressão sonora de impacto–padrão ponderado, L'_{nTw}, para ruído de impacto.

Quadro 1 – Organização dos cálculos em planilhas.

Principal	•Cálculo de Diferença padronizada de nível ponderada, a 2 metros (**$D_{2m,nT,w}$**). •Cálculo de Diferença padronizada de nível ponderada (**$D_{nT,w}$**). •Cálculo de Nível de pressão sonora de impacto –padrão ponderado (**$L'_{nT,w}$**).
Secundário	•Cálculo de Diferença padronizada de nível , a 2 metros (**$D_{2m,nT}$**). •Cálculo de Diferença padronizada de nível (**D_{nT}**). •Cálculo de Nível de pressão sonora de impacto –padrão (**L'_{nT}**).
Auxiliar	•Cálculo do tempo de reverberação. •Cálculo do nível médio de ruído • Cálculo de paredes compostas

Fonte: Os autores

Etapa 4- Levantamento de dados acústicos de materiais construtivos.

A ferramenta possui um pequeno banco de dados, composto de elementos construtivos como: paredes simples, lajes, janelas, portas e outros. Esse banco de dados contém parâmetros acústicos de elementos construtivos medidos em laboratório, como o índice de redução acústica R. Os dados dos materiais utilizados no programa foram obtidos a partir da literatura e trabalhos acadêmicos. Os dados compilados de diversas fontes foram utilizados na formação do banco de dados, que nesse trabalho são utilizados na ferramenta computacional para simulação do desempenho acústico das edificações de acordo com suas características construtivas. Esse banco de dados pode ser alimentado pelo usuário com o acréscimo de mais materiais.

Etapa 5- Definição da linguagem de programação.

O Filemaker é uma plataforma de desenvolvimento de sistemas de banco de dados e foi criada para o desenvolvimento de aplicativos para Windows e Mac. Essa plataforma permite: a criação de um banco de dados, que são definidos como uma coleção de informações relacionadas, chamadas de "tabelas"; e o gerenciamento de informações, processos e atividades por meio de computadores, internet ou dispositivos móveis. Nessa etapa as

planilhas foram traduzidas em uma interface amigável e didática para usuários especialistas e não especialistas na área de desempenho acústico de edificações.

Etapa 6- Planejamento da interface.

O planejamento da interface foi feito definindo-se quais recursos o programa deveria conter e como seriam acessados. A interface do programa *Hipnos Acústica* representa o conjunto dos elementos: telas, imagens, menus, botões e caixas de diálogo. Baseando-se no desejo de que o programa fosse uma ferramenta de desempenho acústico para simular e também para avaliar os ambientes, foram considerados necessários os seguintes requisitos:

- Ter a capacidade de armazenar num único arquivo, os registros do desempenho dos vários sistemas do ambiente avaliado;
- Disponibilizar os dados registrados na forma de texto para elaboração de relatórios;
- Sistematizar o processo de armazenamento de dados e dos cálculos necessários;
- Possibilitar a inserção de novos materiais no banco de dados;
- Dispor de informações de ajuda ao usuário.

Etapa 7- Teste e aprimoramento da interface.

Antes de chegar ao resultado final da interface foram realizados inúmeros testes. Esses testes foram realizados ao longo do desenvolvimento da ferramenta para entender as possibilidades e as necessidades do usuário.

Etapa 8- Elaboração dos arquivos de ajuda ao usuário.

A ajuda ao usuário foi elaborada para fornecer informações sobre o uso do programa e assim possibilitar que pessoas não especialistas nesse assunto, possam utilizar o programa adequadamente.

4 RESULTADOS

A ferramenta foi desenvolvida pensando na construção civil brasileira e para atender a norma de desempenho ABNT NBR 15575. Foi desenvolvida para plataforma Windows e MAC. O item 4.1 apresenta as planilhas criadas em Microsoft Office Excel/ 2010 para os cálculos do desempenho acústico da edificação e serviu de base para o desenvolvimento do programa. O item 4.2 é referente à criação da interface na plataforma FileMaker.

4.1 Desenvolvimento de planilhas

As planilhas foram criadas de forma similar tanto para a condição de simulação quanto para a condição de verificação dos valores na edificação executada, alterando somente os campos que devem ser preenchidos para os respectivos sistemas. Destaca-se também o que diferencia o resultado final das duas situações é que na simulação por meio

de um *script* é percorrido um banco de dados de materiais e verificado um por um se atende o desempenho descrito ou não. No entanto na verificação o material já está definido e a planilha só verifica se ele atende ao desempenho requerido ou não.

Como exemplo, a seguir são apresentadas as planilhas desenvolvidas para simulação do Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE).

A primeira planilha foi criada para cálculo de ruído global e apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo da planilha de cálculo de ruído global

TESTE																
Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Ruído (dB)																
R E. Const. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R E. Const. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R E. Const. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R E. Const. 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R E. Const. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
τ *E. Const. 1*	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
τ *E. Const. 2*	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
τ *E. Const. 3*	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
τ *E. Const. 4*	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
τ *E. Const. 5*	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
Área E. Const. 1 (m^2)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Área E. Const. 2 (m^2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 3 (m^2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 4 (m^2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 5 (m^2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área Total m^2 (S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TxS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tcomposto	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
R composto	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Ruído Final (dB)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Ruído Global (dB)	#DIV/0!															

Inserção do nível de ruído obtido pela medição *in loco* ou pelo mapa de ruído em função da frequência.

Inserção das áreas dos elementos construtivos que compõem o sistema.

Valor do ruído global obtido

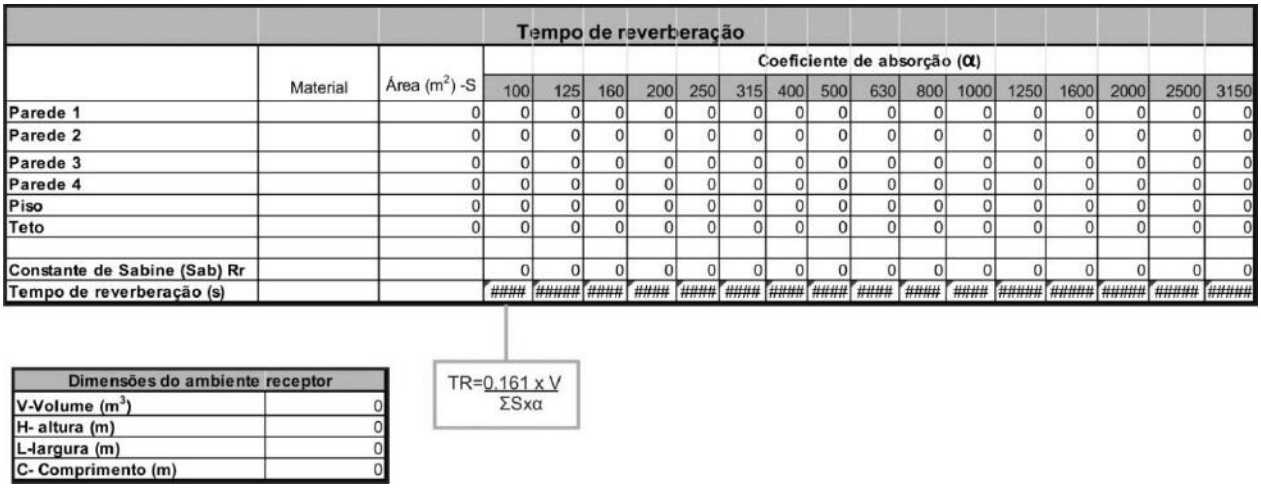
Fonte: Os autores

Nessa planilha são inseridos dados de ruído do local de implantação do projeto obtidos por meio de medição em campo e também são inseridas as áreas dos elementos que compõem o sistema. Esses dados são fornecidos à planilha pelo projetista. Além disso, na planilha constam outros campos que representam o desempenho acústico medido em laboratório de cada elemento construtivo, assim como os respectivos coeficientes de transmissão. Esses últimos dados não são inseridos pelo projetista, mas buscados pelo programa em um banco de dados. Foi criado um banco de dados em forma de planilhas com vários elementos construtivos de diferentes espessuras e com seus respectivos desempenhos de isolamento acústico em função da frequência que alimentarão o sistema.

A segunda planilha foi criada para o cálculo do tempo de reverberação é apresentada na Figura 2. Nesta planilha deverão ser inseridos os dados referentes ao cálculo do tempo de reverberação, as dimensões e os

materiais do ambiente receptor. A fórmula de Sabine foi utilizada para o cálculo de tempo de reverberação.

Figura 2 – Exemplo da planilha de cálculo de tempo de reverberação.



Tempo de reverberação

	Material	Área (m^2) -S	Coeficiente de absorção (α)														
			100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Parede 1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parede 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parede 3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parede 4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Piso		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Constante de Sabine (Sab) Rr			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo de reverberação (s)			####	#####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	#####	#####	#####	#####	#####

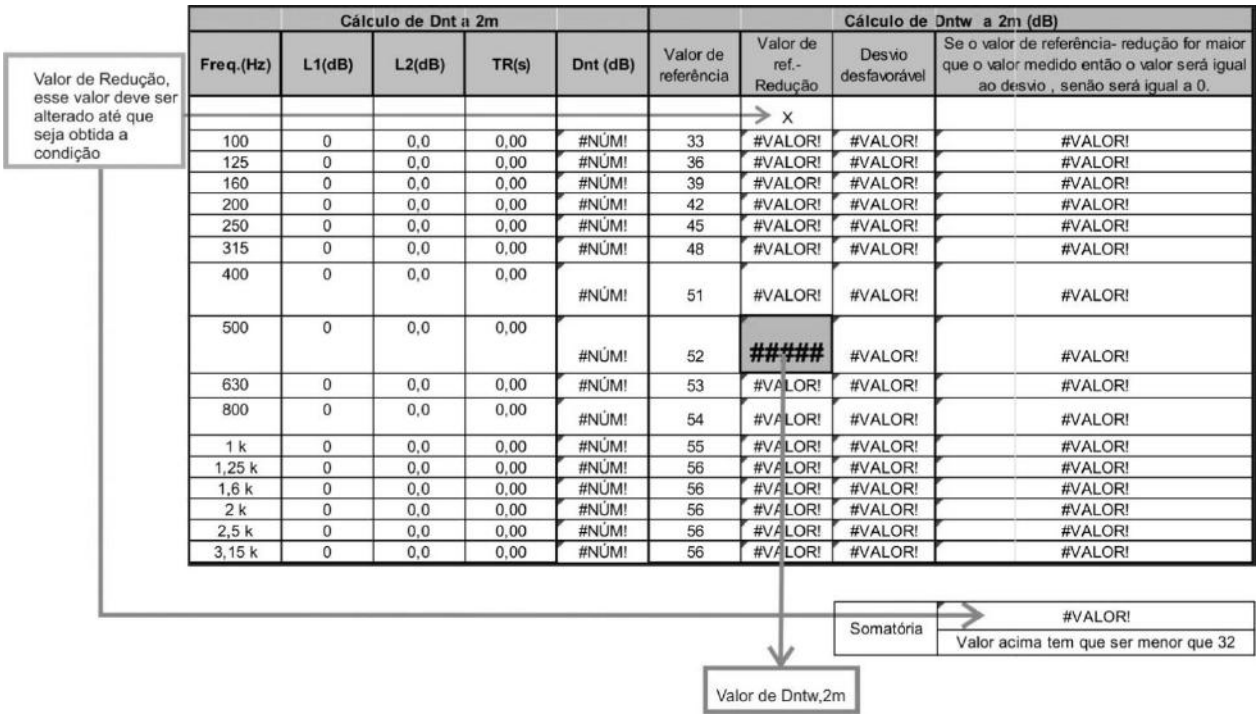
Dimensões do ambiente receptor	
V-Volume (m^3)	0
H- altura (m)	0
L-largura (m)	0
C- Comprimento (m)	0

$$TR = \frac{0.161 \times V}{\Sigma S x \alpha}$$

Fonte: Os autores

A terceira planilha apresentada na Figura 3 foi desenvolvida para o cálculo de isolamento do sistema construtivo e a obtenção do número único. No caso de isolamento de fachada para o cálculo da Diferença Padronizada de Nível a 2 metros da fachada ($D_{2m,nT}$). O projetista não precisa inserir os dados para o cálculo de $D_{2m,nT}$, pois eles já vem das planilhas anteriores. Para os cálculos destinados a caracterizar o isolamento acústico mediante a um único valor: a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros da fachada, $D_{2m,nT,w}$ foram utilizados os procedimentos descritos na ISO 717-1. Nesta planilha o projetista deve somente definir o valor de desempenho desejado de $D_{2m,nT,w}$ que é o valor definido na NBR 15575 (ABNT, 2013) para cada tipo de sistema. É a partir desse valor mínimo, intermediário ou superior escolhido que o sistema de planilhas vai começar a rodar buscando no banco de dados de materiais aqueles que atendem a norma. Os resultados obtidos quando as planilhas são rodadas conjuntamente são apresentados numa planilha nomeada de resultados. Essa planilha mostra as combinações e a descrição de elementos construtivos que formam o sistema e o valor obtido da Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros da fachada ($D_{2m,nT,w}$) no caso do sistema de fachada.

Figura 3 – Exemplo da planilha de cálculo de Diferença Padronizada de Nível e número único.



Fonte: Os autores

4.2 Interface gráfica

A interface gráfica do programa *Hipnos Acústica* foi dividida para atender duas situações: "Simulação do desempenho acústico da edificação" e "Verificação do desempenho acústico da edificação". Para cada uma das situações foram desenvolvidas telas para os quatro tipos de sistemas: Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE), Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI), Sistema de Piso (SP) e Sistema de Cobertura (SC).

As telas do programa para cada sistema foram desenvolvidas e divididas em telas principais, telas auxiliares, telas de informação e telas de tutorial. Cada um dos sistemas possuem seis telas principais: uma tela de apresentação do sistema, quatro telas de inserção de dados e cálculos e uma última tela com o relatório parcial com os resultados obtidos. Essas telas podem ser vistas como etapas que o usuário deve passar para que ele consiga um resultado final.

O layout das telas foi desenvolvido para que todos os sistemas possuíssem seis telas principais e que o usuário conseguisse visualizar a qualquer momento as outras telas e verificar por meio da mudança da cor do botão status, que possui a numeração da tela, de vermelho para azul se aquela etapa estiver concluída. A organização estabelecida pelo programa das seis telas foi desenvolvida para que existisse sempre uma mesma sequência que o usuário pudesse seguir na avaliação de todos os sistemas e que isso

tornasse o programa mais didático e intuitivo, mas o usuário não necessariamente precisa preencher os dados utilizando a sequência apresentada pelo programa. Ele tem a possibilidade de percorrer todas as etapas e ir preenchendo da forma que achar melhor, tendo sempre o indicativo das cores e de caixas de diálogo informando se há informações que ainda faltam ser preenchidas. Além disso, o usuário pode mudar de sistema avaliado porque em todas as telas tem abas na parte superior mostrando o sistema que está sendo estudado no momento. Mudando de aba a avaliação passa a ser de outro sistema.

As telas auxiliares são telas acionadas a partir das telas principais e foram criadas sempre que era necessário inserir informações complementares. As telas de informação servem para tornar o programa mais didático. Essas telas contêm informações que podem ajudar o usuário a entender o porquê da inserção daqueles dados e também informar ao usuário as normas e as considerações em relação a elas que estão sendo utilizadas pelo programa.

As telas de tutorial foram desenvolvidas para ajudar o usuário inserir os dados requeridos pelo programa. Essas telas reproduzem a imagem das telas principais e auxiliares acrescidas de informações de como fazer o preenchimento. O desenvolvimento da interface baseou-se nas informações e resultados reunidos nas planilhas no item 4.1.

Tela de Apresentação- É uma tela de informações sobre o sistema que está sendo estudado, e contém os parâmetros calculados e as normas utilizadas para a simulação ou verificação do desempenho acústico da edificação (Figura 4).

Figura 4 – Tela Apresentação do SVVE.



Fonte: Os autores

Tela 1: Medição de nível de ruído- Nessa tela devem ser inseridos os valores do nível de ruído medidos no local onde o projeto será implantado. Os valores das medições são inseridos em função das frequências em 1/3 de oitava. Nessa tela é possível inserir o valor de várias medições e calcular uma média do nível do ruído local (Figura 5).

Figura 5 – Tela de Medição do Nível de Ruído do SVVE.



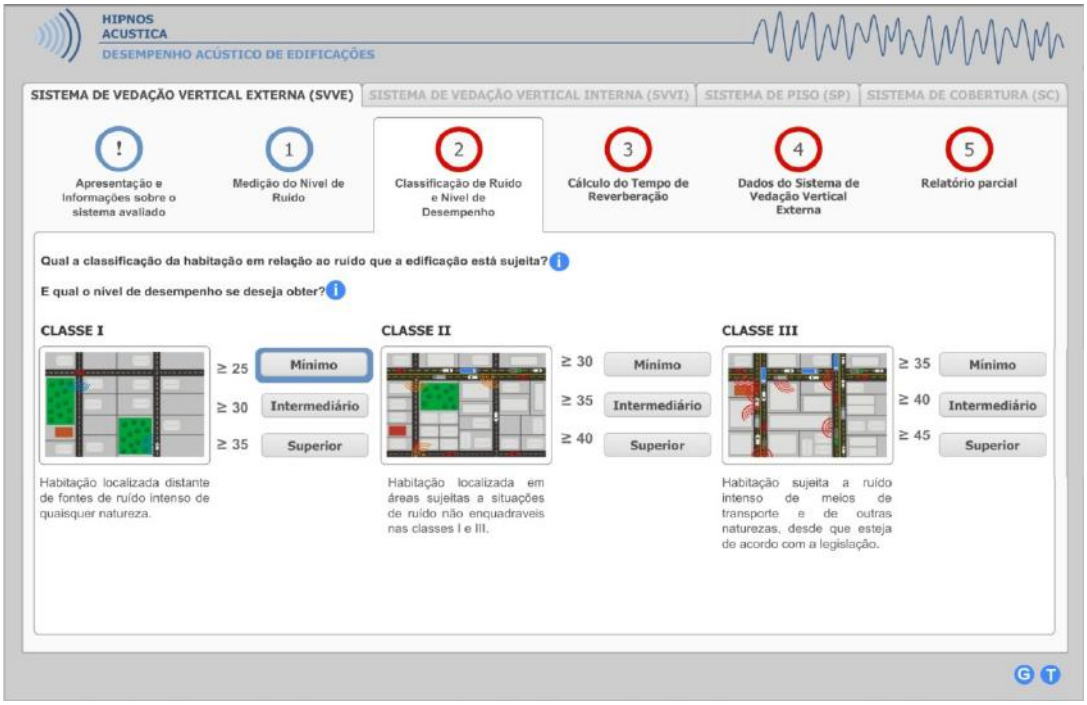
Fonte: Os autores

Tela 2: Nível de desempenho- Nessa tela devem ser escolhidos a classificação de ruído do local onde o projeto será inserido e o nível de desempenho que o usuário deseja obter na simulação. Esses valores estão de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), e serão armazenados para serem usados como valor base das simulações (Figura 6).

Tela 3: Cálculo do Tempo de Reverberação- Nessa tela devem ser inseridos os dados de dimensão e de revestimentos que compõem o ambiente receptor para realização do cálculo do tempo de reverberação em função das frequências de 1/3 de oitava (Figura 7).

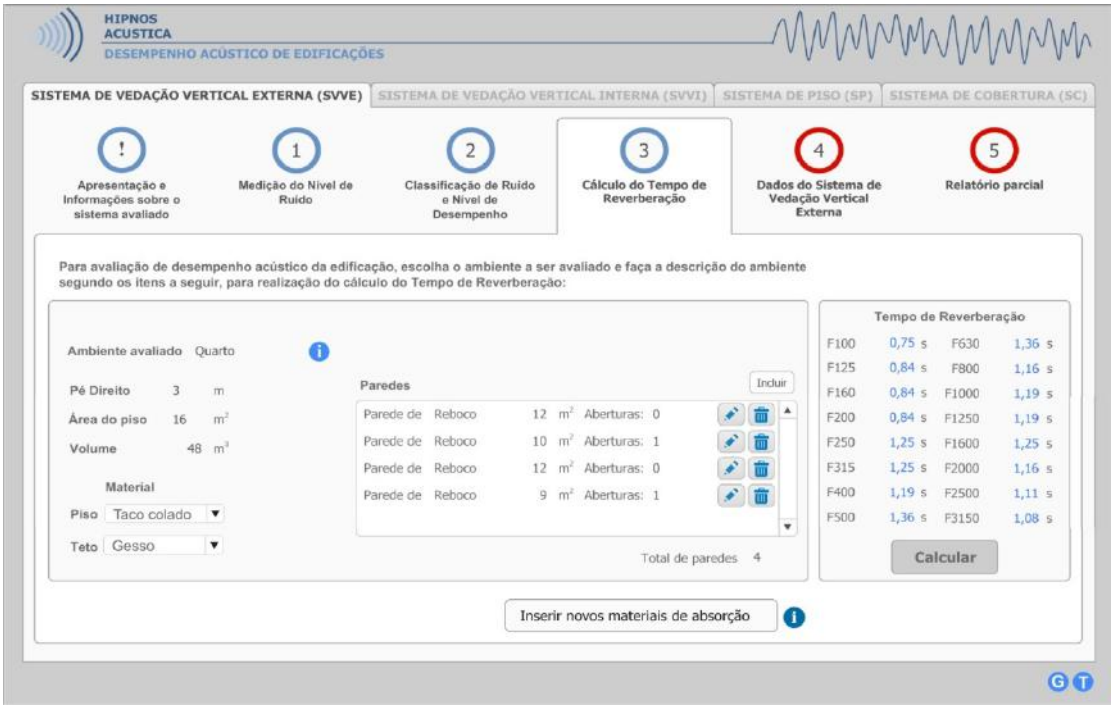
Tela 4: Dados do Sistema - Nessa tela devem ser inseridos informações sobre área e tipo dos elementos construtivos, e se for o caso a inserção do formato da fachada e transmissões indireta. O resultado é calculado em função da frequência e convertido em um valor único utilizando a curva de referência da ISO 717-1 ou ISO717-2 que será comparado com o valor estabelecido pelo usuário na tela de Nível de Desempenho (Figura 8).

Figura 6 – Tela de Classificação de Ruído e Nível de Desempenho do SVVE



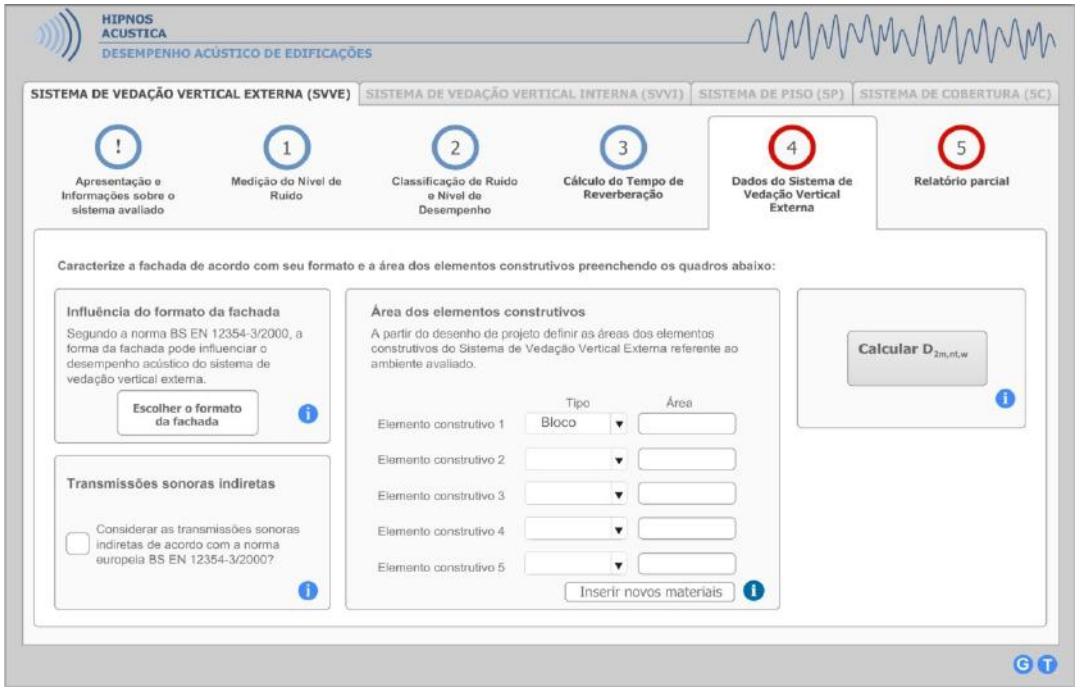
Fonte: Os autores

Figura 7 – Tela de Cálculo do Tempo de Reverberação do SVVE



Fonte: Os autores

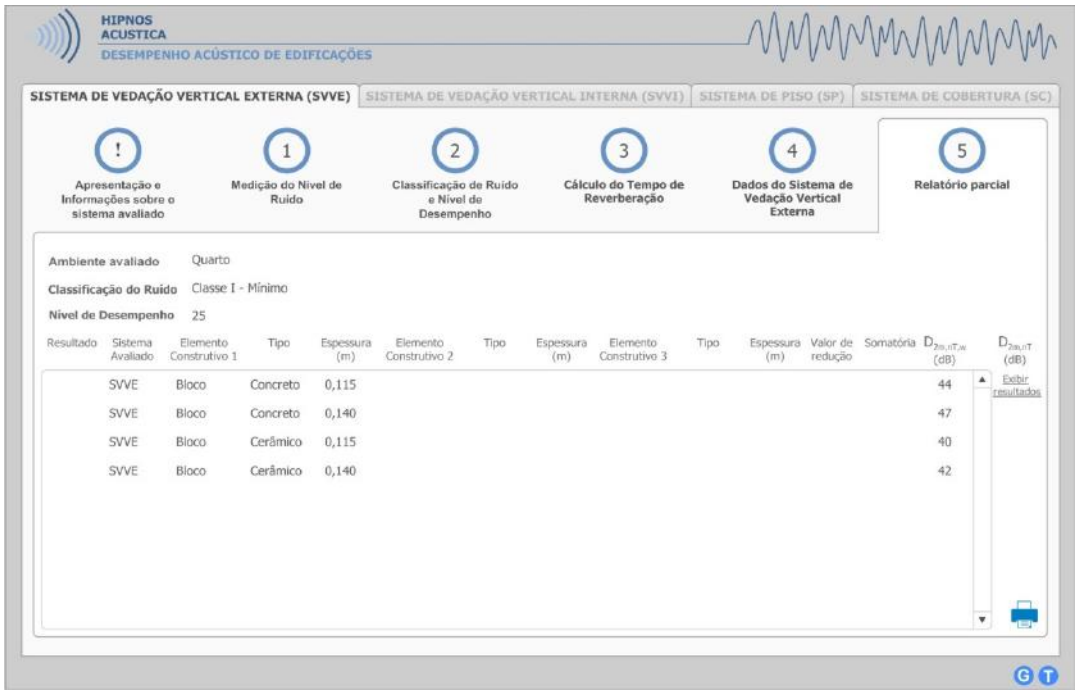
Figura 8– Tela de Dados do SVVE.



Fonte: Os autores

Tela 5: Relatório Parcial- Nessa tela aparecem os resultados obtidos pelos cálculos e as opções possíveis para o usuário, no caso da simulação. É listado todos os tipos de elementos construtivos que nessa situação de projeto tem valor igual ou superior ao nível desempenho requerido pelo usuário (Figura 9).

Figura 9– Tela de Resultados Parciais do SVVE.



Fonte: Os autores

Os comandos do programa foram desenvolvidos por meio de *scripts*. Quando o usuário der um clique num botão, selecionar uma opção, alterar ou inserir um dado haverá um procedimento de evento relacionado cujo código determinará o que o programa deve fazer. Os *scripts* podem realizar desde tarefas mais simples de levar o usuário de uma tela para outra assim como armazenar e realizar cálculos.

Todas as telas do programa estão relacionadas a tabelas que armazenam todos os dados que o usuário insere, dados calculados pelos *scripts*, ou banco de dados de características de materiais que o programa possui. Para realização dos cálculos, os dados de uma tela podem depender de resultados ou dados contidos em outras telas para isso existe uma relação feita entre tabelas, denominada gráfico de relacionamentos. O gráfico de relacionamentos fornece acesso de dados de uma tabela a outra. Se um relacionamento é definido entre duas tabelas, os campos de uma tabela podem ser acessados da outra.

5 CONCLUSÕES

O programa permite simular e verificar o desempenho acústico dos sistemas de vedação vertical externa e interna, sistema de piso e sistema de cobertura, de acordo com critérios e parâmetros exigidos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Destaca-se um aspecto importante do programa que é levar em consideração a influência do formato da fachada e as transmissões indiretas no desempenho acústico da edificação, tendo como base a norma europeia BS EN 12354/2000. A interface do programa é didática e intuitiva possibilitando que o usuário a entenda a norma ABNT NBR 15575/2013 nas questões do desempenho acústico ao usar o programa.

Durante a elaboração da ferramenta foi constada a existência de pouquíssima informação sobre dados de desempenho acústico de materiais construtivos para alimentar o programa e aumentar as possibilidades com os quais os profissionais possam trabalhar. É importante lembrar que a ferramenta deve auxiliar o projetista na escolha dos materiais para obtenção do desempenho acústico adequado do sistema ou a desenvolver novas tecnologias e sistemas construtivos que atendam a norma, mas que esses materiais devem estar de acordo com as outras exigências de projeto e dos outros itens da norma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pelo apoio financeiro a essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANAUATE, Milton; BUENO Clóvis Marcelo Dias. **Desempenho de edificações habitacionais. Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013**, Câmara brasileira de indústria da construção (CBIC) Brasília, 2013.

ASSOCIAÇÂO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais- Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITISH STANDARD. **BS EN 12354** -Building acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 140**: Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Geneve,1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 717**: Acoustics- Rating of sound insulation in building and building elements, Geneve, 2013.

TAKAHASHI, Vanessa Fátima de Medeiros. **Desempenho acústico de edificações: ferramenta computacional para avaliação**, 2016. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas – Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESAFIOS DA POLÍTICA PÚBLICA LOCAL PARA MELHORIA DO CONFORTO ACÚSTICO URBANO DA CIDADE DE MACAPÁ/AP[1]

TAKAMATSU, Patrícia Helena Turola (1)

(1) UNIFAP, e-mail: patritak@gmail.com

RESUMO

O processo de expansão, urbanização e industrialização nas cidades brasileiras, normalmente, não é acompanhado de planejamento urbano adequado. Por isso, acarreta modificações significativas na morfologia urbana, interferindo na saúde e na qualidade da vida. Em espaços urbanos abertos, particularmente nas grandes cidades, os indivíduos estão constantemente expostos a níveis sonoros elevados, situação que pode gerar desconforto acústico e trazer malefícios à saúde. Observa-se no Brasil uma quantidade reduzida de estudos na área de Conforto Ambiental Urbano. Considerando o caso de Macapá/AP, constata-se também a insuficiência de planejamento urbano local, de análise e de embasamento técnicos adequados para a elaboração das normas vigentes relacionadas a ruídos. Tudo isso interfere diretamente na sustentabilidade urbana da região e na perspectiva de internacionalização da construção. Conseguiu-se identificar que os marcos regulatórios locais são conflitantes e se baseiam apenas parcialmente nas normas técnicas nacionais. Tal dificuldade decorre da distorção dos conceitos técnicos das normas da ABNT, em função da utilização inadequada ou inconsistente dos parâmetros com as sucessivas revisões por que as normas passaram. A política pública local, ao invés de dinamizar-se em suas três esferas, congrega marcos proibitivos e restritos, dissipando responsabilidades e alargando a necessidade fiscalizatória, sem, contudo, efetivar a devida gestão pública.

Palavras-chave: Conforto ambiental urbano. Acústica ambiental. Planejamento urbano.

ABSTRACT

The process of expansion, urbanization and industrialization in Brazilian cities is usually not accompanied by an adequate urban planning. Therefore entails, significant changes in urban morphology, affecting the health and quality of life. In the open urban spaces, particularly in big cities, people are constantly exposed to high noise levels, a situation that can generate acoustic discomfort and bring harm to health. It's observed in Brazil a reduced amount of studies in Environmental Urban Comfort. Considering the case of Macapá/AP, it has also received insufficient local urban planning, analysis and appropriate technical basis for the preparation of regulations related to noise. All this directly affects the urban sustainability of the region and the perspective of internationalization construction. Can be identified that local regulatory frameworks are conflicted and only partly based on national technical standards. This difficulty stems from the distortion of the technical concepts of ABNT, due to the improper use or inconsistent parameters at the successive revisions of the standards passed. The local public policy, rather than boost in its three spheres, brings together prohibitive landmarks, dissipating responsibilities, and extending the be monitored needs, without, however, carry the proper public management.

[1] TAKAMATSU, Patrícia. Desafios da política pública local para melhoria do conforto acústico urbano da cidade de Macapá/AP. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Urban environmental comfort. Environmental acoustics. Urban planning.*

1 INTRODUÇÃO

O processo recente de expansão, urbanização e industrialização das cidades tem gerado um novo ambiente construído. Tal processo, por não ter sido acompanhado de um adequado planejamento urbano, acarretou modificações significativas, interferindo na saúde e na qualidade de vida humana. Em espaços urbanos abertos, particularmente nas grandes cidades, os indivíduos estão constantemente expostos a níveis sonoros elevados, situação que pode gerar desconforto acústico e trazer malefícios a saúde (SANTOS, 1999; CARVALHO, 2010; BISTAFA, 2011; HIRASHIMA, 2014).

"Conforto" é um tema relevante para as sociedades contemporâneas, estando diariamente presente não só em debates acadêmicos, mas também em conversas cotidianas. Em sua origem, as necessidades de implementação de melhorias nas condições de trabalho das empresas, comércio, etc. A origem do termo *conforto* está associada ao conceito de consolo ou apoio, a partir da palavra latina *cumfortare*, derivada de *cum-fortis*, significando "aliviar dor ou fadiga" (SCHMID, 2005, p. 32). Nesse contexto, a paisagem sonora de uma cidade constitui-se como importante referência ambiental de qualidade de vida no meio urbano (PEREIRA, 2003).

Para alcançar o objetivo deste estudo, procedeu-se a uma revisão da literatura pertinente, para aprofundar as características de regulamentação legal aplicadas à conformação do ambiente construído da cidade de Macapá/AP que diretamente interferem na gestão pública em relação à poluição sonora.

A metodologia científica adotada foi a qualitativa exploratória com pesquisa documental, por ajustar-se às características do projeto inicial de doutorado para estudo da paisagem sonora de Macapá submetido ao PRO-URB/UFRJ, congregando parte da experiência didática da cadeira Conforto Acústico, do CAU/UNIFAP.

A pesquisa contemplou a análise das leis urbanísticas municipais, das leis ambientais de Macapá e da Lei Estadual 1.149/2007 do Governo do Estado do Amapá, confrontando-se com a leitura técnica legal local, em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Também, buscou-se localizar todo o referencial de estudos de acústica urbana e ambiental já realizados sobre a cidade, o qual se mostrou incipiente e localizado. Os casos de análise espacial de poluição sonora, normalmente, mesclam a metodologia de análise das denúncias recebidas pelos órgãos regulamentadores, como o CONAMA, mediante o descumprimento da Resolução CONAMA 01/1990 e 02/1990, que dispõem sobre os critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, e sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora ou legislações específicas de poluição sonora

municipais, algumas vezes, vinculadas aos planos diretores, como o Código de Posturas e o Código de Obras, como observa Alencar (2013), como "leis de silêncio".

Apesar de existirem normativas, o que se observa ao confrontar dados analíticos de medição com a percepção das pessoas é que grande parte delas afirma "já estar acostumada com esse ruído cotidiano" (NOVAES, G; ALUCCI, M; MONTEIRO, L, 2013). Segundo Bistafa (2006), em ambientes externos de vocação comercial, o nível-critério de 70 dB (A) provoca imediatamente interferência nas atividades realizadas e queda de produtividade. A exposição constante a essa grandeza de ruído ao longo dos anos (cerca de 40 anos) pode provocar sérias perdas graduais da capacidade auditiva, acarretando a uma população de meia e de maior idade graves problemas de saúde no sistema auditivo, efeito que deverá ser sentido pela população em alguns anos.

2 ANÁLISE AMBIENTAL SONORA EM MACAPÁ

Com o crescimento das cidades, a poluição sonora tornou-se um problema urbano, embora nem sempre seja considerado de controle prioritário pelas autoridades.

No caso de Macapá/AP, não deixa de ser diferente a presença da poluição sonora. Atualmente, é forte a atuação no estado do Batalhão de Polícia Ambiental que fiscaliza veementemente o cumprimento das resoluções do CONAMA, por intermédio do Centro Integrado de Operações de Defesa Social.

Conforme Monteiro (2014), a poluição sonora lidera as denúncias recebidas pelo Batalhão Ambiental do Amapá. Apenas em Macapá, o órgão atendeu 1.862 ocorrências de poluição sonora entre janeiro e agosto de 2014. Soares (2011), em seu estudo sobre o bairro Perpétuo Socorro de Macapá, constatou uma concentração dos focos de maior ocorrência de reclamações de poluição sonora e de perturbação do sossego na Rua Hugo Alves Pinto, localizada próximo a áreas de lazer e comércio. Tal estudo de caso restringe a análise urbana ao georreferenciamento em mapas da localização das chamadas de reclamações para sua atuação (Figura 1).

De acordo com Pimentel (2011), a poluição sonora é um fato crítico no centro comercial da capital amapaense. O trânsito e as atividades comerciais são os maiores causadores de incômodo auditivos. Para o autor, apenas a legislação não consegue resolver os problemas, tornando-se necessários promover ações socioeducativas envolvendo a população.

Figura 1- Mapa de densidade de poluição sonora da Rua Hugo Alves Pinto, situada no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro



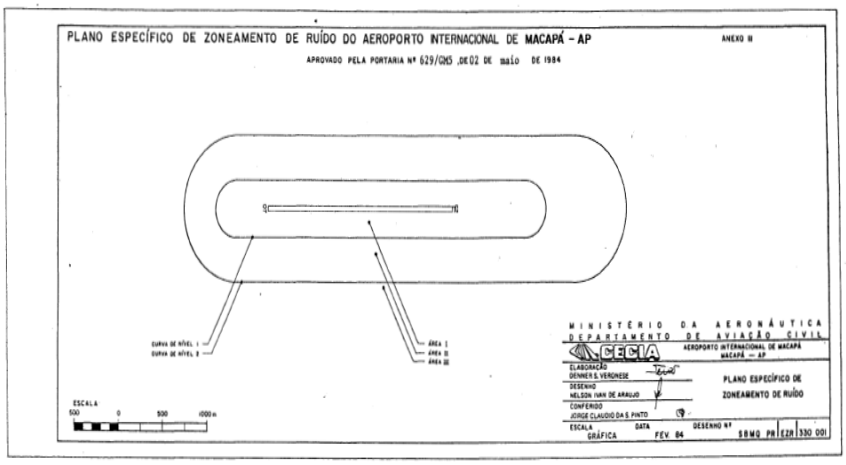
Fonte: Silva (2011) citado por Soares (2011)

2.1 Análise legislativa municipal da cidade de Macapá/AP

Do ponto de vista da análise urbana do conforto acústico na cidade de Macapá, tem-se como referência inicial o Plano Diretor de Macapá de 2004, ainda vigente. A primeira inclusão no planejamento urbano local priorizou a percepção dos impactos do ruído na cidade. Entretanto, tal documento, que deveria ser um instrumento da política de planejamento urbano, sob o ponto de vista do conforto ambiental acústico, mas simplesmente se baseia no "Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto Internacional de Macapá", elaborado pelo Ministério da Aeronáutica, o qual delimita a zona de proteção dos danos nocivos da poluição sonora de ruído aéreo dos aviões (Figura 2).

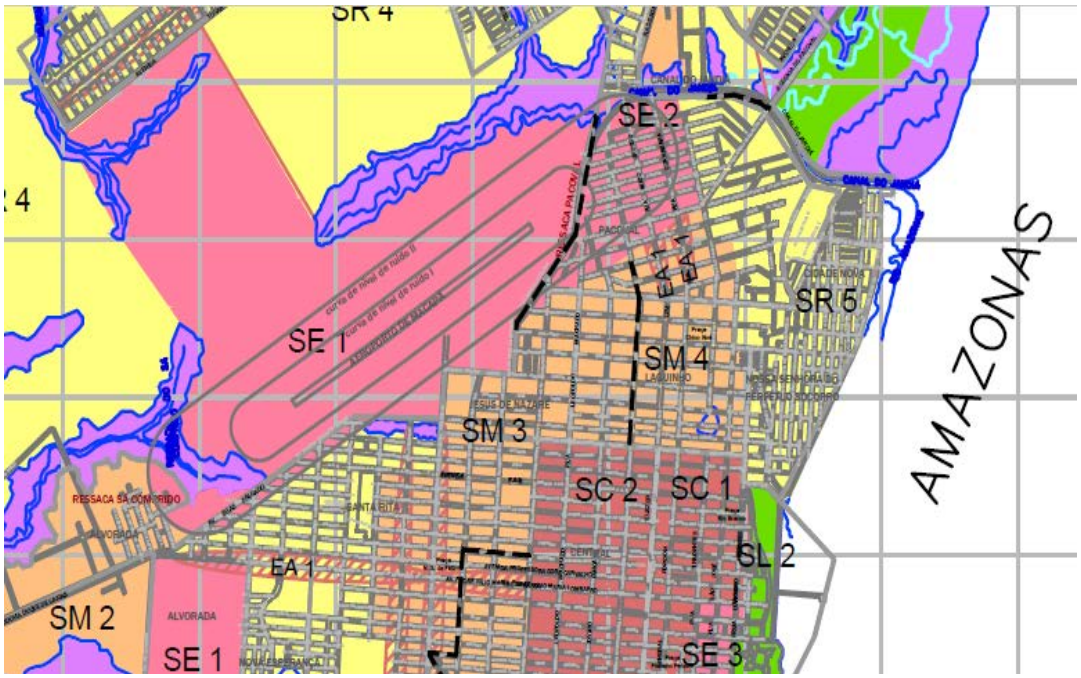
A sobreposição desse Plano ao Plano Diretor, disponível na própria Lei de Uso e Ocupação do solo (Figura 3), revela que tal delimitação caracteriza-se como as Zonas SE-1, Zona Especial 01 e parte do SE-2, Zona Especial 02, setores que atualmente contemplam apenas o bairro Pacoval. Assim, o Plano Diretor do Município de Macapá prevê como proteção urbanística para esta área, em seu art. 87, que as subzonas de Restrição à Ocupação são aquelas localizadas nos limites definidos no Plano Específico, em que se prevê o impedimento ao uso e à ocupação como na Zona Especial 01, onde se tem: "a) uso e ocupação restritos àqueles admitidos pelo Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto Internacional de Macapá; b) incentivo à baixa densidade; c) ocupação horizontal".

Figura 2 – Mapa do Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Ministério da Aeronáutica para o Aeroporto Internacional de Macapá.



Fonte: Portaria 629, de 2 de maio de 1984

Figura 3 - Lei de Uso e Ocupação de Macapá: SE I e SE2, com a sobreposição da área de Zoneamento de Ruído do Ministério da Aeronáutica referente ao bairro do Pacoval.



Fonte: PMM(2004)

Aprofundando a leitura do Plano Diretor, ganha destaque o art. 68, que trata do Relatório de Impacto de Vizinhança, o qual deverá ser elaborado de acordo com as diretrizes expedidas pelo órgão licenciador, devendo conter, no mínimo, descrito no inciso III, a avaliação do impacto potencial ou efetivo do empreendimento ou atividade, considerando níveis de ruídos emitidos. Entretanto, até o presente momento não se têm notícias dessas diretrizes nem das instruções para ajustar o documento às prescrições da ABNT.

Analisando a Lei Complementar 010/1998, no âmbito do município de Macapá, que institui o Código de Postura, em relação a questões sobre

como higiene pública, proteção ambiental, costumes, segurança e ordem pública (trânsito, sossego, logradouros e animais, entre outros), licenciamento para estabelecimentos, atividades de ambulantes, infrações e penalidades, entre outras, tem-se que a poluição sonora é abordada incialmente no art. 76, que incube o município da responsabilidade de "impedir ou reduzir a poluição proveniente de sons e ruídos excessivos, incumbe a administração adotar as medidas como":

> I — Impedir a localização em setores residenciais ou comerciais, de estabelecimento cujas atividades produzam raios, sons excessivos ou incômodos;
> II — Proibir a prestação de serviços de propaganda por meio de alto-falantes ou megafones, fixos ou volantes, exceto a propaganda eleitoral, nas épocas e formas previstas em lei;
> III — Disciplinar e controlar o uso de aparelhos de reprodução eletroacústicas em geral;
> IV — Disciplinar o uso de maquinaria, dispositivo ou motor de explosão que produzam ruídos ou sons, além dos limites toleráveis, fixados em atos administrativos;
> V — Disciplinar o transporte coletivo de modo a reduzir ou reduzir o tráfego em áreas próximas a hospital, casas de saúde ou maternidades.
> VI — Disciplinar o horário de funcionamento noturno de construções;
> VII — Impedir a localização de zona de silêncio ou setor residencial, em casas de divertimento públicos

Já nos arts. 83 a 88 da mesma lei, em capítulo que disciplina a ordem e o sossego públicos, são tratadas as regulamentações e as condições de funcionamento de atividades como propaganda com alto-falantes e a responsabilidade dos proprietários pela manutenção da ordem em seus estabelecimentos, contra desordens, algazarras ou barulhos.

Por fim, a Lei Complementar 27, de 24/06/2004, que dispõe sobre licenciamento, autorização e fiscalização das atividades socioeconômicas do município de Macapá, e dá outras providências, cita o caso das casas de diversão, no art. 53, e os comícios políticos e demais festividades, no art. 85, tratando-se de observar os níveis acústicos previstos na legislação ambiental.

> Art. 53. As casas de diversão, conceituadas neste capítulo, são obrigadas a: VIII - na realização de bailes, apresentações e outras atividades similares, observar os níveis de ruído e os revestimentos acústicos previstos na legislação ambiental;
> Seção VII - Das Oficinas Mecânicas [...] II - observar as normas municipais de controle e proteção da vizinhança contra ruídos, resíduos industriais e outras conseqüências previstas na legislação sobre meio ambiente e higiene.
> Art. 85. Para comícios políticos, festividades cívicas, religiosas, culturais e de caráter popular, poderão ser armados coretos ou palanques provisórios nos logradouros públicos [...] III - atendimento às orientações da legislação ambiental, quando se tratar de atividades e eventos que produzam sons e ruídos excessivos ou usem equipamentos de amplificação, alto-falantes e caixas de som

2.2 Análise legislativa da lei estadual em confronto com as normas brasileiras

A relevância do tema ganha destaque com a promulgação da Lei Estadual 1.149, de 3 de dezembro de 2007, que dispõe sobre limites na produção de poluição sonora no âmbito do estado do Amapá, e dá outras providências, estabelecendo punição pela produção de poluição sonora. Equivaleria, portanto, à "Lei do Silêncio" estadual.

O ruído divide-se em duas categorias de não permissividade a serem controladas, conforme cita o art. 2º:

> I - alcancem, no ambiente exterior ao recinto em que têm origem, quando não diversamente estabelecido nesta Lei, nível de pressão sonora superior a 85 (oitenta e cinco) decibéis aferido por medidor de pressão sonora;
> II - alcancem, no interior do recinto em têm origem, níveis de sons superiores aos considerados normais pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

De primeiro impacto, tem-se a ideia de que o legislador estaria aplicando a NBR 10.151/2000 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade – Procedimento. Entretanto, ao aprofundar a leitura da lei como um todo, tem-se a clara separação entre o que dispõe o inciso I e o que dispõe o inciso II. A aplicação do inciso I do art. 2º da lei sugere o uso da medição direta e instantânea de pressão sonora por decibelímetro até o limite de 85 dB, sejam eles dB (A), ou dB(B), ou dB(C) ou, até mesmo, dB(D).

Apesar da relevância da parametrização do limite de 85 dB ao qual a OMS (WHO, 2001) faz destaque para o início direto de danos à saúde, cumpre destacar que, conforme Machado (2004), o ruído ambiental não é constante e não se trata de mero problema de desconforto acústico. Está também atrelado à função da durabilidade, da repetição, e não apenas à intensidade. A medição instantânea ignora a representatividade do ruído característico do local, impossibilitando analisar parâmetros que permitam caracterizar as oscilações sonoras e a respectiva magnitude do impacto causado por ele. O valor máximo, apesar de potencialmente danoso, é comum na realidade urbana, equivalendo, por exemplo, ao barulho de um liquidificador ligado.

Aqui se faz a devida ressalva de que os danos à saúde dependem fundamentalmente do tempo de exposição. Como o ruído ambiental não é constante, é necessário considerar um valor que seja representativo do ruído característico do local, indicando não somente um valor médio, mas também parâmetros que permitam caracterizar as oscilações sonoras e a respectiva magnitude do impacto causado por ele.

Conforme Bistafa (2011) e Murgel (2007), são utilizados alguns parâmetros estatísticos para facilitar a interpretação dos valores medidos. Os mais

empregados são: nível equivalente contínuo, $L_{EQ,}$ e níveis estatísticos, L_{10} e L_{90} O L_{EQ}, por representar o ruído médio, é o mais versátil desses parâmetros. Por isso, normalmente, é utilizado como parâmetro legal e normativo. Dessa forma, a NBR 10.151/92 utiliza a nomenclatura de LA_{EQ} e faz jus a método alternativo de medição, conforme o nível da L_C (LA_{EQ} corrigido), que é comparado ao nível de critério de avaliação, determinado por tipo de ambiente. Assim, as normas da ABNT consideram a especificidade de ruídos de impacto, com componentes tonais e o referencial estatístico da média no tempo, diferente da abordagem isolada da Lei Estadual do Amapá.

No segundo parágrafo do art. 2º, a lei remete à NBR 10.152/87, que estabelece níveis de ruído para, fundamentalmente, espaços internos. Analisando os dois parágrafos da lei em conjunto, tem-se que a fonte sonora danosa ao ruído urbano advém apenas de dentro da edificação. Portanto, deverá ser sanada mediante o tratamento da envoltória, como única forma de previr a poluição sonora no espaço urbano. Assim, não há sequer menção aos problemas dos quais os gestores urbanos são corresponsáveis, por exemplo, os ruídos de tráfego.

Os demais artigos da lei proíbem no espaço urbano a produção de sons específicos, como barulhos advindos de escapamentos, buzinas e casas de show em horário noturno estendido. Portanto, a Lei Estadual, de certa forma, é mais restritiva do que a legislação federal, que está amparada na Resolução 01/90 do CONAMA escorada na aplicação da norma da ABNT, pois o critério fundado de 85 dB torna qualquer usuário da cidade produtor de som, com a janela aberta potencial infrator, e gera criminalização excessiva da produção do som na paisagem da cidade, novamente sem considerar uma das grandes fontes de poluição, que é o tráfego de veículos.

No art. 11 da Lei, bem ao seu final, o legislador ressalta que as medições citadas deverão ser feitas de acordo com a metodologia da NBR. 10.151/2000, citada anteriormente. Isso lança mais confusão na interpretação do art. 2º, inciso I, pois não se tem claro se os 85 decibéis equivaleriam a L_C = 85dB(A) ou LA_{EQ} Nesta hipótese, tornar-se-ia muito mais permissiva que a própria norma citada e amparada com força de lei federal das Resoluções do CONAMA, em que se tem que a pior hipótese de parâmetro urbano é para área industrial, cujo limite de L_C = 70 dB(A) para o período diurno.

3 CONCLUSÕES

Iniciando-se pelo Plano Diretor, os instrumentos urbanísticos aptos a serem aplicados a Macapá fazem apenas menção aos necessários impactos decorrentes da poluição sonora, em especial a aérea, ou aquelas advindas de grandes empreendimentos, mas não há aprofundamento subsidiário para avançar sob o ponto de vista dos usuários comuns das edificações em relação a sua inserção urbana e quanto ao impacto local da implantação de suas edificações. Lança-se como diretriz jurídica municipal apenas a

discriminação dos usos decorrentes da poluição causada por eventos isolados, normalmente, por grupos de usuários, que, como é o mais comum das situações, envolvem problemas de convívio entre vizinhos, mas mantêm o paradigma de que todo ruído é ruim.

Conseguiu-se estabelecer que os marcos regulatórios locais são conflitantes entre si e que, quando se fundamentam tecnicamente, baseiam-se parcialmente nas normas técnicas nacionais. Entretanto, observou-se que a aplicação da referência técnica da área de conforto pelos marcos legais distorce os conceitos técnicos das normas da ABNT, utilizando os parâmetros de forma inadequada e inconsistentes com as sucessivas revisões por que as normas passaram. Assim, imbrica-se num entendimento de uma gama de diferentes parâmetros que, a princípio, seriam equivalentes (decibéis), sem conseguir estabelecer claramente quais seriam os limites da poluição sonora. A política pública local, ao invés de dinamizar-se em suas três esferas (federal, estadual e municipal), congrega marcos essencialmente proibitivos restritos, dissipando responsabilidades e alargando a necessidade fiscalizatória (punitiva), sem, contudo, efetivar um desenho de gestão pública necessário.

Do ponto de vista da aplicação mais recente pela construção civil das normas de desempenho, faz-se necessário extrapolar as consequências do desafio normativo, considerando a falta de parâmetros para o entorno das edificações, pode gerar um superdimensionamento das edificações, devido à poluição sonora. Faz-se considerar que, permeadas as dúvidas de aplicação legal de parâmetros técnicos, a sorte ao legislador, poderá se ter diversas interpretações, ao qual o construtor gera insegurança jurídica para aplicá-las. Ainda falta o devido entendimento de que a compatibilização das normas deve iniciar a partir da criação de um Plano Diretor Sonoro e se encaminhar a uma gestão compartilhada de atribuições e regulamentações. Os órgãos legislativos devem procurar se aprofundar nos conhecimentos técnicos antes de lançar mão de tais critérios, mas também não deve abster-se de fazê-lo.

AGRADECIMENTOS

Especial agradecimento à Universidade Federal do Amapá, por intermédio da PROGRAD, via Programa de Auxílio ao Pesquisador - PROPEV, e ao Programa de Doutorado Interinstitucional da Universidade Federal do Rio de Janeiro – DINTER/UFRJ-UNIFAP.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 10151/2003:** Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

_____. **NBR 10152/1992:** Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

_____. **NBR 13.369/1995** : Cálculo simplificado do nível de ruído equivalente contínuo (Leq) Rio de Janeiro, Brasil, 1995.

ALENCAR, B.S; ALVES, A. de S. M; OITICICA, M. L. G da R. **Perfil da Poluição Sonora na Cidade de Maceió** – AL In: XII Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Anais do XII ENCAC e VIII ELACAC. Brasilia, 2013

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2ª edição. São Paulo: Edgar Blücher, 2011.

CARVALHO, Régio Panagio. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2010.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 001/1990:** Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.1990.
_____. **Resolução CONAMA nº 002/1990:** Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - SILÊNCIO. 1990.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ**. Lei Estadual Nº. 1149 de 03 de dezembro de 2007**: Dispõe sobre limites na produção de poluição sonora no âmbito do Estado do Amapá e dá outras providências. Macapá:2007

HIRASHIMA, S. Q. S**. Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte - MG**, Brasil. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MURGEL, Eduardo. **Fundamentos de Acústica Ambiental.** Editora Senac, São Paulo, 2007

PEREIRA, M. **Percepção Sonora no espaço público: indicadores de tolerância ao ruído na cidade do Rio de Janeiro**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC- COTEDI, Curitiba, 2003, Anais...Curitiba, ENCAC 2003.

PIMENTEL, A de A**. A Poluição Sonora no Centro Comercial e Macapá e a necessidade de Educação Ambiental.** Dissertação de Mestrado. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amapá. Acesso em 08 de outubro de 2015. Disponível em:< http://www2.unifap.br/ppgdapp/files/2013/05/ALESSANDRO-DE-ARA%C3%9AJO-PIMENTEL.pdf.

PREFEITURA MUNICIPAL DA MACAPÁ. **Lei Complementar nº 010/1998**. Código de Posturas do município de Macapá. Macapá: 1998

_____.. **Lei complementar nº 026/2004**. Plano Diretor de desenvolvimento urbano e Ambiental de Macapá. Macapá: 2004a

_____. **Lei complementar nº 029/2004**. Do uso e ocuapçao do solo do municíopio de Macapá. Macapá: 2004b

_____.. **Lei Complementar nº 027/2004**. Lei do Licenciamento, Autorização e Fiscalização das Atividades Socioeconômicas do Município de Macapá. Macapá: 2004b

SANTOS, U. P. (org.). **Ruído: riscos e prevenção**. 3ª edição. Editora HICTEC. São Paulo, 1999

SCHMID, A. L. **A Ideia de Conforto: Reflexões sobre o Ambiente Construído**. Curitiba; Pacto Ambiental, 2005.

SOARES, E. M. A. **Análise do conforto acústico no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro: Rua Hugo Alves Pinto em Macapá – AP**. (Trabalho de Pesquisa), CEAP, Macapá, 2011. Disponível em http://www.ceap.br/material/MAT12032013201521.pdf

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO).**Occupational and community noise**. Fact Sheet n. 258, 2001. Disponível em: <http://www.who.int/peh/Occupational_health/OCHweb/OSHpages/OSHDocuments/Factsheets/noise.pdfl>. Acesso em 10 de março 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

COMPARATIVO ENTRE VARIÁVEIS LUMINOTÉCNICAS E PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA LUZ: EXPERIMENTO EM CÂMARA CLIMÁTICA[1]

TAMURA, Cintia (1); KRÜGER, Eduardo (2)

(1) UTFPR, e-mail: cintiatamura@gmail.com; (2) UTFPR, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

RESUMO

Relações entre iluminação e regulação de funções orgânicas e bem estar ultrapassam as já reconhecidas (salubridade e conforto visual ambiental). Estas incluem alterações hormonais, de sono, stress, ansiedade e depressão. Apresentam-se resultados parciais de experimento realizado em câmara climática giratória localizada em Karlsruhe, Alemanha (49°N, 8,5°E). Esta possui dois escritórios-teste, cada qual com duas estações de trabalho com acesso à internet. Foram monitoradas/controladas as condições dos ambientes como temperatura do ar, de superfície, velocidade do ar e umidade relativa. As aberturas envidraçadas dos ambientes-teste foram dispostas em diferentes orientações cardeais, durante inverno, primavera e verão em 2015. Contou-se com 16 participantes homens; com coleta de dados objetivos e subjetivos, nos quais os sujeitos foram mantidos em conforto térmico, porém sob diferentes orientações solares. Analisou-se a percepção subjetiva comparativamente às condições de iluminação, obtidas no inverno. Os resultados contemplam dados objetivos (iluminância nas superfícies de trabalho, à altura dos olhos, espectro de cor) e subjetivos, (condições de sono, ansiedade, estados depressivos, stress e percepção da luz no ambiente). Resultados sugerem correlações discretas entre características da iluminação e dados subjetivos. Entretanto, alguns questionários não foram satisfatoriamente sensíveis no registro de alterações de natureza sutil, indicando a necessidade de validação de ferramentas mais apropriadas para investigações relacionadas ao tema.

Palavras-chave: Luz natural. Aspectos não visuais da luz. Percepção subjetiva da luz.

ABSTRACT

Relations between daylighting and regulation of body functions and well-being go beyond the already recognized (health and environmental visual comfort). These include hormonal changes, sleep, stress, anxiety and depression. We present partial results of experiments performed in a climatic chamber located in Karlsruhe, Germany (49 ° N, 8.5 ° E). This has two test offices, each one with two workstations with internet access. Environmental conditions such as air temperature, surface, air velocity and relative humidity were monitored / controlled. The glazed openings of the test environments were positioned in different cardinal orientations during winter, spring and summer 2015. Sample size was 16 males; the method involved collecting objective and subjective data, the subjects kept in thermal comfort, but under different solar orientations. We analyzed subjective perception compared to lighting conditions, obtained in the winter. The results include objective data (illuminance at work surfaces, measured at the eye level, color spectrum) and subjective data (sleep conditions, anxiety, depressive states, stress and perception of light in the environment). The results

[1] TAMURA, Cintia; KRÜGER, Eduardo. Comparativo entre variáveis luminotécnicas e percepção subjetiva da luz: experimento em câmara climática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

suggest correlations between discrete lighting features and subjective data. However, some questionnaires were not satisfactorily sensitive in recording the subtle nature changes, indicating the need to validate more appropriate tools for investigations related to the topic.

***Keywords**: Daylight. Light aspects not related to vision. Subjective perception of light.*

1 INTRODUÇÃO

Interações Homem/ambiente são mediadas por estímulos diversos, que interferem na percepção de variáveis de conforto ambiental. Quanto à percepção visual, características da luz (variação de intensidade, espectro e distribuição), e possibilidade ou não de contato visual com o exterior podem afetar humor, stress, ansiedade e depressão, entre outros (BOUBEKRI, 2008). Tendo evoluído sob a influência do Sol, apreciamos instintivamente espaços abertos e luz natural, necessária não somente à visão, mas também para a regulação circadiana (BEUTE, F.; DE KORT, 2013). Esta ocorre pela exposição de fotorreceptores específicos da retina às alterações intrínsecas do espectro visível da luz natural, que modificam respostas fisiológicas via produção hormonal, mecanismos que não funcionam adequadamente quando se expõe somente à luz artificial (CABALLERO-ARCE; VIGIL-DE INSAUSTI; BENLLOCH-MARCO, 2012; HECHT, 2012). Objetivando explorar relações entre tipo de iluminação de ambientes e impactos em aspectos de bem estar não relacionados à visão em humanos, realizou-se experimento em câmara climática giratória, cujos dados para o período de inverno em localidade do hemisfério norte são apresentados.

2 MATERIAIS E MÉTODO

O estudo é experimental; a análise é descritiva e correlacional, estruturada em: (a) descrição das configurações dos ambientes-teste e protocolos aplicados aos participantes; (b) descrição das variáveis objetivas monitoradas e equipamentos utilizados; (c) caracterização da amostra, descrição das variáveis subjetivas avaliadas e ferramentas de mensuração; (d) apresentação e discussão dos resultados.

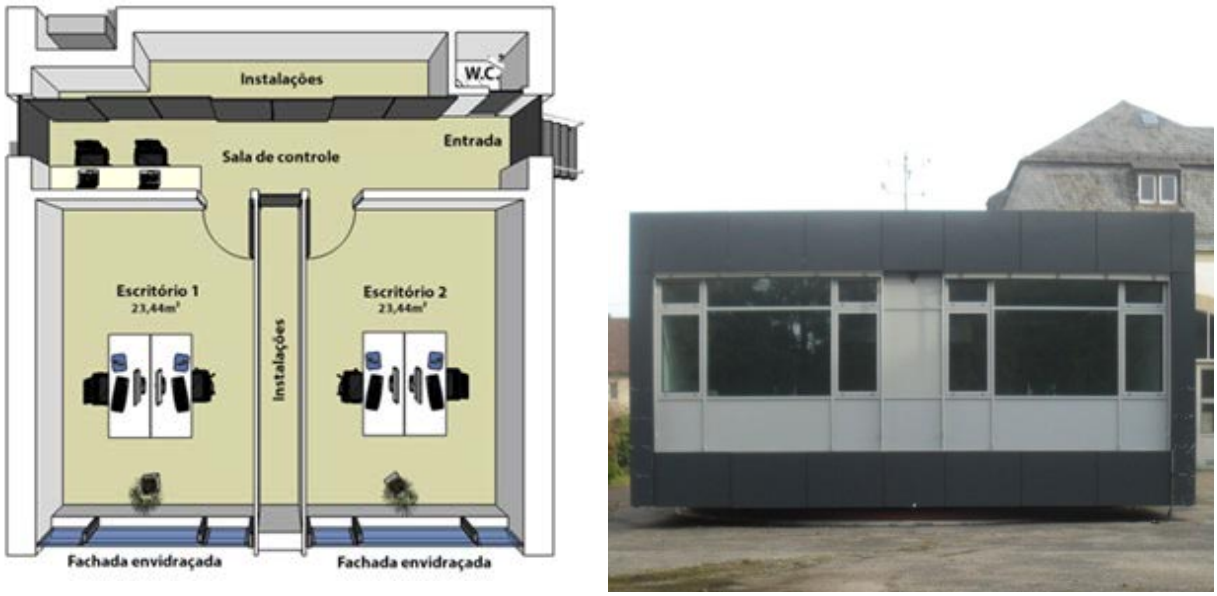
2.1 Caracterização do ambiente teste e configurações gerais

2.1.1 LOBSTER

O estudo ocorreu na câmara climática LOBSTER (*Laboratory for Occupant Behaviour, Satisfaction, Thermal Comfort and Environmental Research*), propriedade do *Karlsruher Institut für Technologie*, localizado em Karlsruhe, Alemanha (49°N, 8,5°E). Desenvolvido pelo *Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau* (fbta/KIT), LOBSTER possui dois ambientes contíguos configurados à maneira de escritórios com aproximadamente 24 m² cada, recebendo até dois indivíduos simultaneamente. Variáveis ambientais como temperatura do ar, de superfície, velocidade do ar, umidade relativa, dentre outras, podem ser monitoradas e/ou controladas. Complementarmente, variáveis climáticas são continuamente registradas por uma estação meteorológica localizada na cobertura da câmara. As aberturas

envidraçadas, com wwr=75% possuem painel triplo (*Visible Light Transmittance* – VLT) de 70 nas janelas operáveis, e VTL 72 para as partes fixas, podendo ser orientadas em diversas posições cardeais, graças ao sistema giratório onde a câmara se apoia, possibilitando giros de até 355°. Maiores detalhes são descritos por Schweiker at al., (2014); a Figura 1 (a) e (b) apresentam a planta e a fachada envidraçada.

Figura 1 – (a) Planta do LOBSTER; (b) Fachada envidraçada



(a) (b)

Fonte: pesquisa

2.1.2 Configurações dos escritórios

Realizaram-se três sessões de experimentos (inverno, primavera e verão de 2015), de 12 dias cada; os resultados apresentados são os de inverno. Testaram-se diferentes combinações de variáveis, tal como apresentadas na Tabela 1: (1) orientação da fachada com janela para SO (255°) ou N/NO (335°); (2) persiana externa (aberta ou fechada) e (3) fonte de luz disponível (natural, ou artificial indireta). Adicionalmente, registraram-se as condições climáticas diárias.

Definiram-se as orientações de fachada a serem testadas após realização de simulações computacionais de iluminação natural, identificando-se as orientações que apresentassem máxima diferenciação entre possibilidades de acesso à luz natural, porém sem ofuscamento direto no campo de trabalho. Como resultado, obtiveram-se condições exposição da janela ao céu, representadas por imagens realizadas com lente olho de peixe, que se mostraram equivalentes durante o inverno (Figura 2 a e b). A quantificação da porcentagem da abóbada visível foi feita por meio da ferramenta Rayman (MATZARAKIS et al. 2010).

Tabela 1 – Configurações adotadas – inverno

Data	**13/jan**	**14/jan**	**15/jan**	**20/jan**	**21/jan**	**22/jan**
Orientação	SO (225°)	N/NO (335°)	N/NO (335°)	N/NO (335°)	N/NO (335°)	SO (225°)
Iluminação	Nat.	Art.	Nat.	Art.	Nat.	Nat.
Tempo	Ensolarado	Tempestuoso	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado
Data	**27/jan**	**28/jan**	**29/jan**	**03/fev**	**04/fev**	**05/fev**
Orientação	SO (225°)	N/NO (335°)	N/NO (335°)	N/NO (335°)	SO (225°)	SO (225°)
Iluminação	Nat.	Nat.	Art.	Nat.	Nat.	Art.
Tempo	Ensolarado	Nublado	Tempestuoso	Ensolarado	Nublado	Nublado

Fonte: Pesquisa

Figura 2 – Vista das fachadas selecionadas para os dias de experimento com luz natural no período de inverno e com valores estimados de visão do céu: (a) N/NO (335°) e (b) SO (225°)



(a) N/NO (335°) - fator de visão do céu (na vertical) =0,230

(b) SO (225°) - fator de visão do céu (na vertical) = 0,234

Fonte: Pesquisa

Nos dias de experimento com iluminação artificial, utilizaram-se quatro lâmpadas fluorescentes OSRAM L40 W 765 (TCC=6500K e IRC=≥70), índice satisfatório para atividades gerais de escritório, conforme norma DIN 6169-2 (1976-2002). As luminárias foram direcionadas para o teto, resultando em luz difusa no plano de trabalho. A Figura 3 demonstra (a) configuração do ambiente teste para a condição de iluminação natural e (b) situação com luz natural.

Figura 3 – (a) Janelas cerradas, iluminação natural e persiana externa abaixada; (b) Janelas cerradas, iluminação natural e persiana externa recolhida



(a) (b)

Fonte: Pesquisa

2.1.3 Configurações adotadas para os sujeitos

Os ambientes-teste foram ocupados cada um por dois indivíduos, por cinco horas (8h00 – 13h00, horário local), três dias a cada estação. Todos utilizaram vestimenta padrão, (jeans, camiseta manga curta e tênis), minimizando variações ligadas a aspectos térmicos. Durante o período de experimento, controlou-se a alimentação; a ingestão de substâncias com potencial influência no bem estar (como cafeína ou glicose) foi significativamente reduzida; disponibilizaram-se alimentos neutros (água desgaseificada, torradas, bolachas e frutas). Vetaram-se alterações nas configurações pré-definidas no ambiente, como abertura de janelas, movimentação das persianas externas, ou acionamento de luz artificial. Além disso, os participantes foram orientados a não trazer notebooks, ou quaisquer equipamentos que emitissem luz, alterando as configurações de iluminação pré-estabelecidas. Pelo mesmo motivo, uniformizaram-se as configurações de brilho dos monitores. Na necessidade de ausentar-se dos ambientes-teste, (utilização do toalete), era solicitada a utilização de óculos escuros com proteção UV (fornecido), para minimizar variações de intensidade e fonte luminosa.

2.2 Descrição das variáveis ambientais monitoradas e equipamentos utilizados

2.2.1 Condições térmicas nos ambientes teste

Para excluir o efeito de variações térmicas, as condições dos ambientes teste foram monitoradas e reguladas continuamente. Os indivíduos foram expostos a condições térmicas estáveis no interior da câmara ao longo do experimento, com uma fase de discreto aquecimento na primeira hora, porém sem alterações significativas no voto predito médio (PMV) ao longo das quatro horas restantes. Ao final dos experimentos, o valor médio de PMV sempre estava próximo à condição térmica de neutralidade (PMV=0), entre -0,5 a +0,2. Como o preenchimento dos questionários subjetivos momentâneos ocorreu após 12h00, assumiu-se que variações térmicas ocorridas entre 8h00 e 9h00 exerceram pouca influência nas respostas.

2.2.2 Iluminância na superfície de trabalho

No monitoramento das variáveis objetivas relacionadas à iluminação, utilizaram-se dois equipamentos. Para valores de iluminância (lux) e espectro dominante (nm) na superfície de trabalho (mesas dos participantes, h= 0,75m), utilizaram-se espectroradiômetros JETI modelo Specbos 1201 (Figura 4a); a frequência de coleta de dados foi configurada para 5 minutos. Entretanto, dado o processo de integração realizado pelo equipamento, este intervalo de tempo mostrou-se variável, oscilando entre 5 a 7 minutos, conforme condições de céu e disponibilidade de luz a cada período.

2.2.3 Iluminância e espectro de luz na altura dos olhos dos participantes

No monitoramento da iluminância (lux) à altura dos olhos dos participantes, utilizou-se um actímetro com luxímetro acoplado (Actiwatch da Phillips Respironics - Figura 4b). Originalmente projetado para uso no pulso, como um relógio, o equipamento foi adaptado, substituindo-se a pulseira por velcro, fixado a uma bandana, vestida pelos indivíduos. Viabilizou-se assim o registro de dados de iluminância à altura dos olhos, órgãos da percepção da luz em humanos. A frequência de registro foi 60 segundos. Eventuais períodos de ausência do ambiente foram registrados em um diário de bordo, assim os dados registrados pelos actímetros nestes períodos foram posteriormente excluídos da avaliação.

2.3 Caracterização da amostra, descrição das variáveis subjetivas monitoradas e instrumentos de coleta

A amostra (n=16), remunerada, compôs-se por estudantes alemães do sexo masculino. Estes, codificados de 1 a 16, possuem os seguintes valores médios: altura 1,80m (SD=0,06); peso 80 kg (SD=8,9) e idade 24,9 anos (SD=3,6).
Levantaram-se variáveis subjetivas por meio de questionários, selecionados por: (1) serem traduzidos e validados para o idioma alemão; (2) serem autoaplicáveis; (3) produzirem um escore de classificação, evitando a necessidade de acompanhamento direto de profissional da área de psicologia na aplicação e avaliação dos resultados. As variáveis subjetivas avaliadas relacionam-se às condições de sono (cronotipo, sonolência diurna e qualidade do sono), bem-estar (ansiedade, estresse), suscetibilidade a desordens afetivas sazonais e avaliação do ambiente. Os testes Cronotipo,

Sonolência Diurna, Qualidade de Sono, Ansiedade-Traço (tendência à ansiedade), Desordem Afetiva Sazonal e Stress objetivam caracterizar indivíduos; já o teste para Percepção da Situação de Luz no Ambiente avalia a relação entre dados subjetivos momentâneos versus condições de luz. O preenchimento online dos questionários em plataforma web desenvolvida para este fim seguiu a sequência demonstrada na Figura 5.

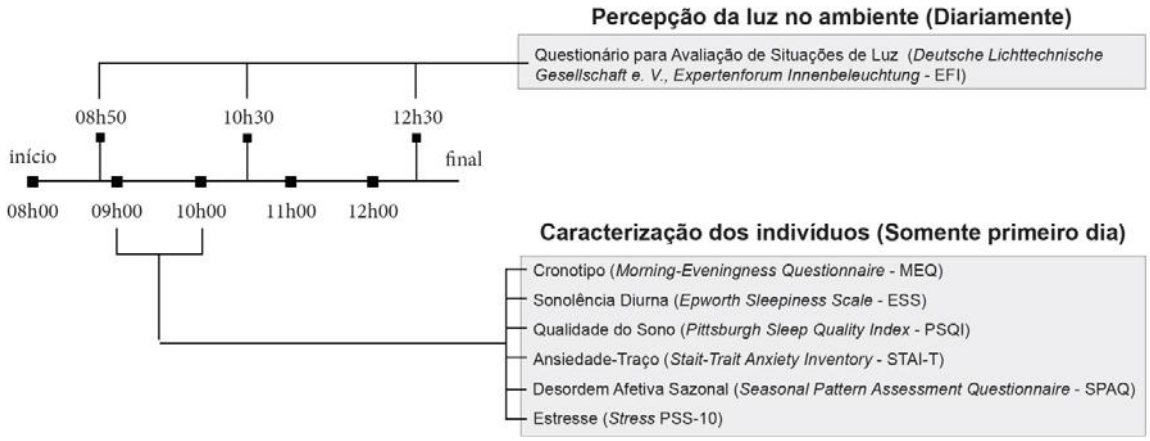
Figura 4 – (a) Espectroradiômetro JETI Specbos 1201; (b) Actímetro com luxímetro Actiwatch Spectrum Respironics adaptado



(a) (b)

Fonte: Pesquisa

Figura 5 – Fluxograma com rotina de preenchimento dos questionários



Fonte: Pesquisa

2.3.1 Cronotipo

À apresentação de períodos de maior e menor atividade em horários específicos, dá-se o nome de cronotipo. Ainda que atividades físicas, mentais e sociais possam agir como fatores de mascaramento, o cronotipo é

uma característica endógena, não sendo, portanto, passível de controle ou manipulação pelo indivíduo (REILLY; WATERHOUSE; ATKINSON, 1997). Utilizou-se o Questionário de Identificação de Matutinos e Vespertinos - MEQ (ou *Morningness–eveningness questionnaire) de* Horne e Östberg (1975).

2.3.2 Sonolência diurna

Sonolência Excessiva Diurna (SED) é a incapacidade de manter-se acordado e alerta durante o dia (GIORELLI et al., 2012) e pode ser decorrente de transtornos do sono relacionados ao ritmo circadiano (BITTENCOURT, 2005). É uma condição crônica, em que o ritmo circadiano de sono e vigília está fora de fase em relação aos padrões ambientais convencionais; o desajuste do ciclo dia-noite é persistente ou periódico, e o ajuste é difícil ou inexistente (ZISAPEL, 2001). Os distúrbios do ritmo circadiano podem levar à SED especialmente em casos em que os indivíduos acometidos são forçados a sincronizar-se ao ambiente (BITTENCOURT, 2005). Utilizou-se a escala de sonolência de Epworth (ESS) desenvolvida por Johns et al. (1991).

2.3.3 Ansiedade-Traço

A falta de luz natural e longas permanências sob luz artificial podem causar tensão, desordens alimentares e ansiedade; esta última é considerada um estado afetivo, fisiológico, cognitivo e comportamental (BOUBEKRI, 2008). Conforme Dobson (1985), ansiedade é um estado de excitação sem foco, desconfortável e a ser evitado, e parece relacionar-se a outros desequilíbrios como depressão e SAD. Segundo Scott et al. (2007), existem associações entre comorbidades de desordens mentais, em particular desordens de humor e condições físicas crônicas. Neste contexto, desordens depressivas e ansiedade ocorrem simultaneamente em 50% dos indivíduos (KESSLER et al.,1996; SCOTT et al., 2007). Entre as origens desta desordem, há evidências de estreitas relações entre produção hormonal, sincronização circadiana e atrasos de fase (AVERY; DAHL, 2012; MAGNUSSON; BOIVIN, 2003); condições relacionadas a curtas ou inexistentes exposições à luz natural (BOUBEKRI, 2008). Distingue-se ansiedade traço (a tendência à ansiedade, sem, no entanto, estar ansioso no momento) da ansiedade estado (a experienciação da ansiedade) (DOBSON, 1985). Nesta pesquisa, utilizou-se o Inventário de Ansiedade Estado-Traço (STAI-T). Utilizou-se a versão em alemão de Laux et al. (1981).

2.3.4 Desordem afetiva sazonal

SAD é uma condição caracterizada por episódios depressivos sazonais anuais (ROSENTHAL; BRADT; WEHR, 1984). Subtipo de desordem bipolar ou depressiva, é marcada por episódios recorrentes de depressão. Para a avaliação da ocorrência de SAD, utilizou-se o Seasonal Pattern Assessment Questionnaire (SPAQ), criado por Rosenthal, Bradt e Wehr (1984), instrumento mais utilizado para mensurar alterações sazonais; avalia duração do sono, atividade social, humor, peso, apetite e energia.

2.3.5 Estresse

Estresse é causado por reações psicológicas e fisiológicas que prejudicam a homeostase, como uma resposta adaptativa do corpo humano, que por vezes exige considerável desgaste e consumo de energia física e mental (LIPP, 1999). Quanto às fontes de estresse ambientais, Rashid e Zimring (2008) dividem-nas em duas categorias: variáveis de design do ambiente e variáveis ambientais. A primeira inclui uso do espaço, mobília, dispositivos elétricos e equipamentos, acabamentos, cores e acesso à paisagem natural. A segunda inclui ruídos, temperatura, qualidade do ar e iluminação. Luz inadequada provoca desconforto visual, traduzido em sintomas físicos (inconvenientes visuais, dores musculares, de cabeça, dificuldade de concentração), fatores que, isoladamente ou conjuntamente, podem causar estresse (VEITCH, 2001). Para avaliação do estresse nos participantes, utlizou-se a versão em língua alemã do Perceived Stress Scale (PSS-10), desenvolvido por Cohen, Kamarck e Mermelstein (1983).

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

3.1 Classificação dos indivíduos

Procedeu-se inicialmente à tabulação dos resultados obtidos com os dados biométricos coletados e os questionários para avaliação das condições de sono (cronotipo, sonolência diurna, qualidade do sono) e relacionadas às condições de bem estar (ansiedade-traço, SAD e estresse) (Quadro 1). Estas classificações foram posteriormente cruzadas com os dados objetivos de iluminância e com a percepção do ambiente; estas informações são descritas na seção 3.3.

Quadro 1 – Classificação dos indivíduos

Cód. Indiv.	Massa corporal		MEQ		SED		PSQI		STAI-T		SPAQ		PSS-10	
	Peso		Cronotipo		Sonolência excessiva diurna		Qualidade sono		Ansiedade-Traço		Desordem afetiva sazonal		Estresse	
	IMC	Classi-ficação	Escore	Classe	Escore	Classe	Escore	Classe	Escore	Classi-ficação	GSS	Classi-ficação	Escore	Classi-ficação
1	22,53	Normal	34	Mod. vespert.	10	Normal	6	Ruim	38	9 º	11	Normal	26	1 º
2	19,92	Normal	36	Mod. vespert.	8	Normal	7	Ruim	37	10 º	8	Normal	25	2 º
3	29,71	Acima do peso	55	Indiferente	5	Normal	3	Bom	38	9 º	11	Normal	16	6 º
4	30,07	Obesidade I	69	Mod. vespert.	4	Normal	3	Bom	36	11 º	13	Normal	11	12 º
5	23,20	Normal	47	Indiferente	5	Normal	7	Ruim	42	6 º	11	SAD	23	3 º
6	23,82	Normal	56	Indiferente	7	Normal	6	Ruim	39	8 º	10	Normal	16	6 º
7	24,62	Normal	48	Indiferente	4	Normal	4	Bom	46	4 º	12	Normal	15	7 º
8	23,89	Normal	53	Indiferente	6	Normal	2	Bom	41	7 º	7	Normal	21	5 º
9	21,91	Normal	48	Indiferente	6	Normal	5	Ruim	41	7 º	10	Normal	12	10 º
10	27,47	Acima do peso	63	Mod. vespert.	8	Normal	5	Ruim	41	7 º	20	Normal	14	8 º
11	24,21	Normal	31	Mod. vespert.	4	Normal	3	Bom	44	5 º	13	Normal	12	11 º
12	31,20	Obesidade I	55	Indiferente	2	Normal	4	Bom	50	1 º	18	SAD	22	4 º
13	26,20	Acima do peso	44	Indiferente	10	Normal	3	Bom	38	9 º	13	Normal	9	13 º
14	22,88	Normal	47	Indiferente	4	Normal	5	Ruim	41	7 º	6	Normal	3	14 º
15	24,57	Normal	42	Indiferente	7	Normal	8	Ruim	47	3 º	15	Normal	21	5 º
16	22,10	Normal	50	Indiferente	8	Normal	5	Ruim	48	2 º	4	Normal	13	9 º

Fonte: Pesquisa

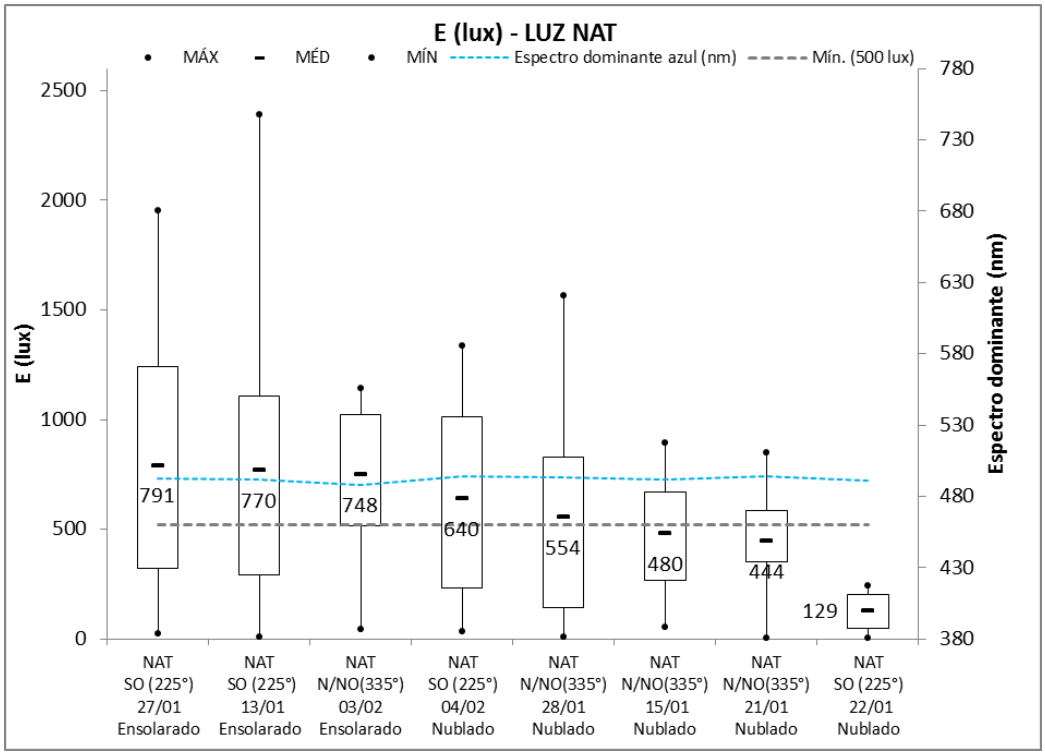
3.2 Caracterização das condições de iluminação

Para caracterização do tipo de luz dos ambientes-teste conforme a orientação solar das aberturas e /ou da fonte de iluminação adotada organizaram-se os resultados de iluminância (E) em ordem decrescente, juntamente com o espectro dominante (Figuras 6 a e b).

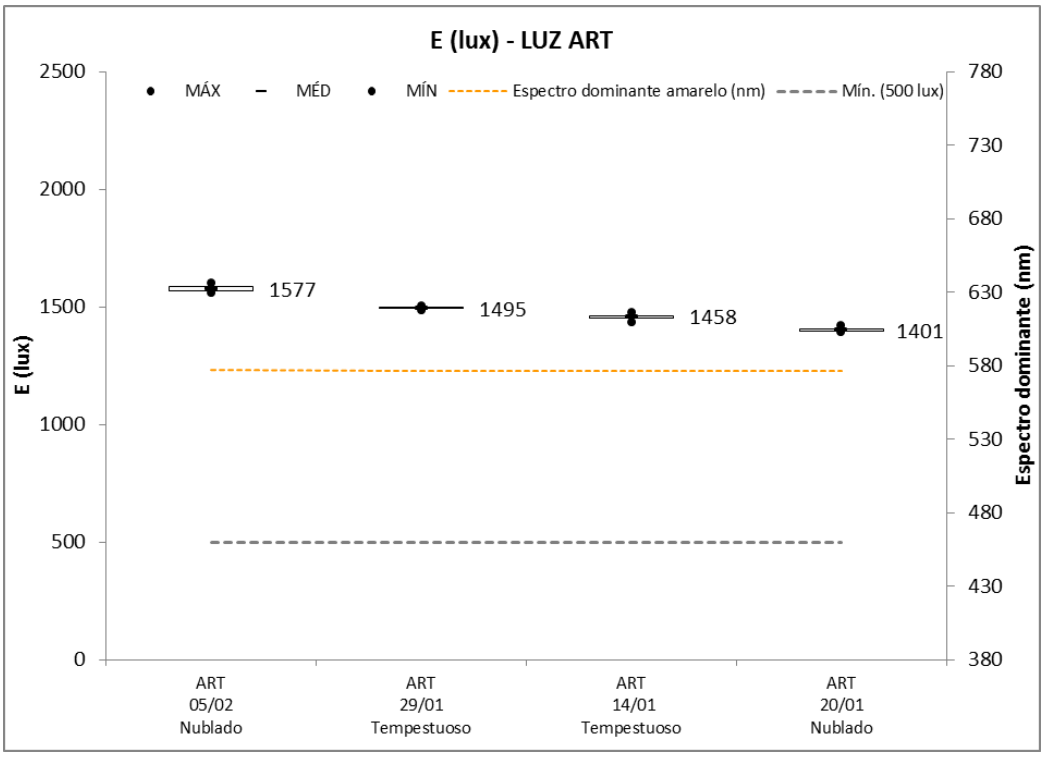
Como esperado, houve maior diferenciação entre a iluminância média (Eméd) nos dias com iluminação natural. Os dias com orientação SO – face equatorial – foram os que registraram maiores valores de iluminância (máximo1952 lux, e média geral de 582 lux). Com a orientação N/NO, o máximo alcançou 1565 lux, com média geral de 471 lux.

Para luz artificial, a amplitude dos valores permaneceu baixa, oscilando entre 1602 a 1392 lux, com média geral de 1483 lux. Em todas as configurações, alcançou-se predominantemente a média mínima de 500 lux, valor de referência definido pela norma alemã DIN 5034 (1997) para escritórios. As exceções foram dois dias com iluminação natural N/NO e um dia SO, quando o céu permaneceu nublado. Assim, quanto a demandas visuais, a iluminância nos ambientes-teste manteve-se adequada em todos os dias e situações de iluminação.

Figura 6 – (a) Valores de iluminância (E) do espectroradiômetro organizados em ordem decrescente e espectro dominante para: (a) iluminação natural; (b) iluminação artificial



(a)



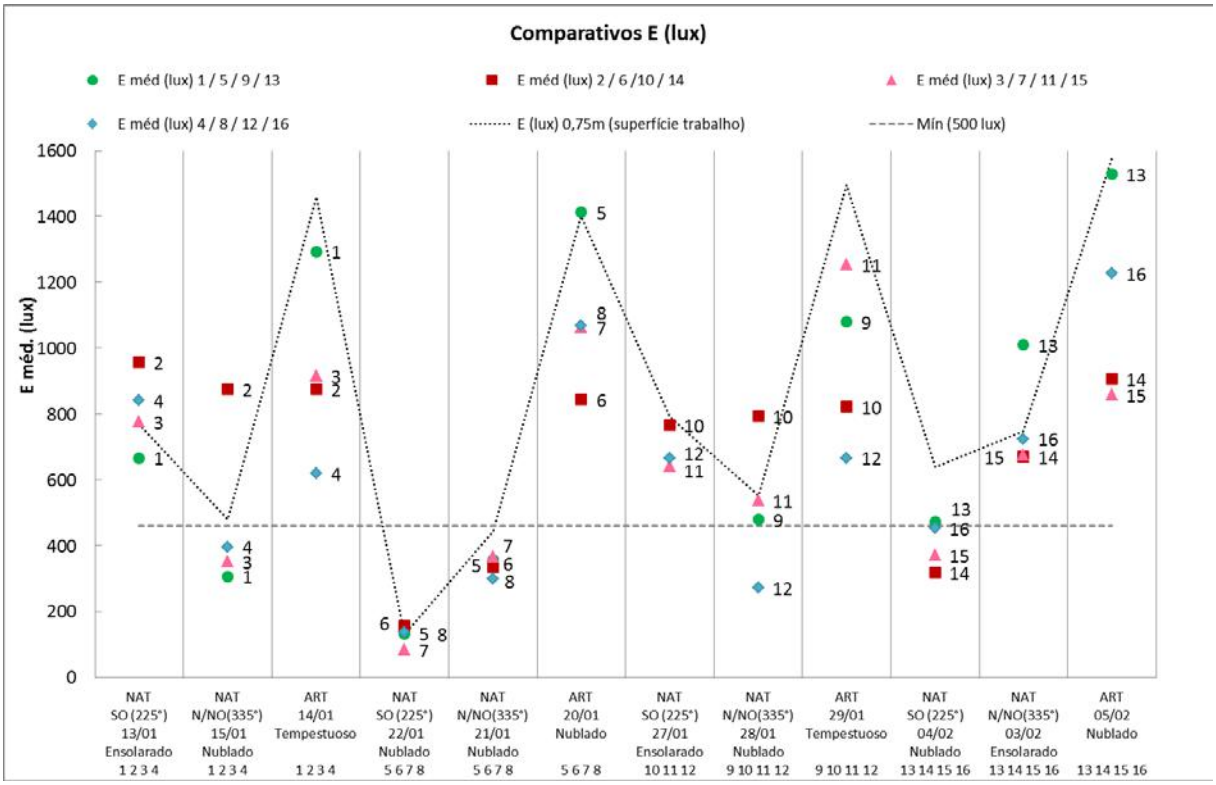
(b)

Fonte: Pesquisa

Quanto ao espectro dominante, nos dias de experimento com luz natural para as duas orientações, os valores máximos, médios e mínimos apresentaram pouca variação (480 a 512 nm), coincidindo com a faixa de comprimento azul do espectro, a mais indicada para a estimulação das funções circadianas no período da manhã (ANDERSEN et al., 2012). Para a iluminação artificial, verificou-se estreitamento da amplitude dos valores, que se mantiveram praticamente estáticos (576 a 577 nm), com predominância do espectro amarelo, cuja exposição prolongada ao longo do dia pode causar atrasos de fase no ciclo circadiano (HECHT, 2012).

A fim de diferenciar a Eméd na superfície de trabalho e Eméd registrada com os actímetros ao nível dos olhos, organizaram-se os dados na Figura 7.

Figura 7 – Comparativo entre Eméd registrada pelo espectroradiômetro e Eméd registrada pelo actímetro



Fonte: Pesquisa

Ainda que valores de Eméd para espectroradiômetro e actímetros não sejam numericamente equivalentes, apresentaram tendência similar. Com exceção dos valores médios registrados em 13/1(225°, ensolarado), os demais valores para actímetros permaneceram predominantemente abaixo dos valores médios do espectroradiômetro. Verifica-se que, da mesma forma que os resultados obtidos com o espectroradiômetro, os valores médios dos actímetros mantiveram-se acima do valor de referência (500 lux), à exceção dos dias 15, 22, 21/1 e 4/2, com luz natural proveniente de orientações distintas, porém sempre com céu nublado.

3.3 Comparativo entre condições de iluminação e avaliação subjetiva momentânea

3.3.1 Percepção da luz no ambiente

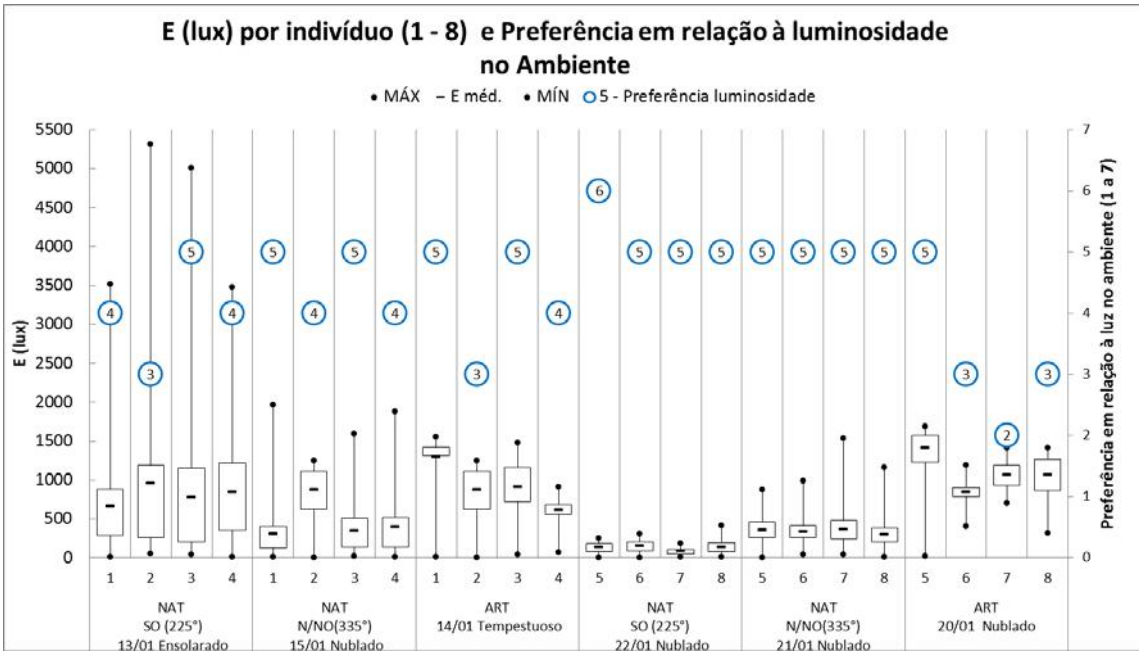
Para quantificar a percepção do ambiente em função das condições de conforto lumínico, utilizou-se o questionário EFI – Questionário para Avaliação de Situações de Luz. Este contém nove questões sobre percepção do ambiente, e pontuação em escala Likert de sete pontos. Avaliou-se somente o quesito preferência: "Preferia que a luz no ambiente fosse:". As opções de resposta são apresentados no Quadro 2, e os resultados obtidos estão na Figura 8 (a e b).

Quadro 2: Escala Likert

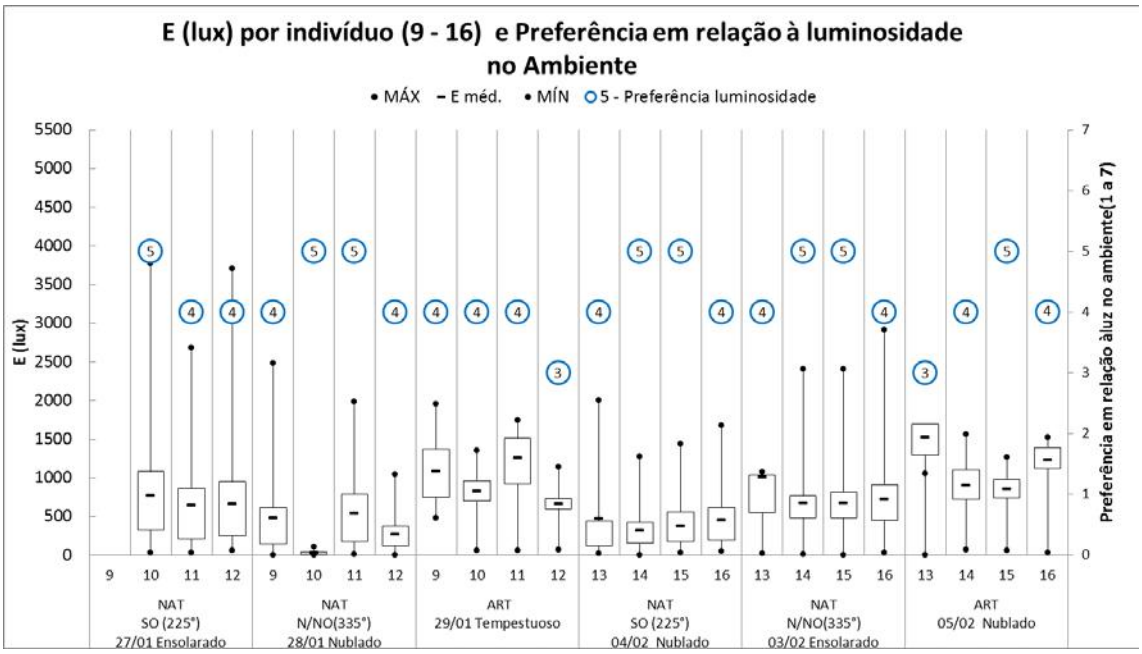
1	2	3	4	5	6	7
Extremamente menos intensa	Muito menos intensa	Pouco menos intensa	Nem mais nem menos intensa	Pouco mais intensa	Muito mais intensa	Extremamente mais intensa

Fonte: Pesquisa

Figura 8 – (a) Comparativo entre Eméd dos actímetros e preferência em relação à luz do ambiente - Indivíduos 1 a 8 e (b) – Indivíduos 9 a 16



(a)



(b)

Fonte: Pesquisa

Os votos subjetivos momentâneos quanto à preferência em relação à luz ambiente revelam que, independentemente do tipo de iluminação ambiente (natural ou artificial), 38,3% estiveram satisfeitos (4) ou desejando que a luz fosse somente um pouco mais intensa (5) – 44,7%; a ocorrência da segunda condição é mais frequente em situações de Eméd baixa (casos dos dias 21 e 22/1). Nota-se também a maior presença do voto 3 (preferência por luz pouco menos intensa) nos dias com iluminação artificial (dias 14/1, 20/1, 29/1 e 5/2).

A seguir, relacionam-se resultados obtidos pela caracterização dos indivíduos versus preferência por diferentes configurações de iluminação.

Quanto às diferentes configurações de luz utilizadas, verificou-se que, apesar do comprimento de onda dominante azul observado nos dias de iluminação natural ser o mais adequado para a regulação circadiana, para o período avaliado (inverno), haveria a necessidade de complementação da luz natural por uma fonte artificial, de forma a aumentar a iluminância incidente e consequentemente o grau de satisfação dos indivíduos relacionada à percepção do ambiente. A fonte de luz artificial, por sua vez, deveria possuir menor intensidade para 6 indivíduos (37,5% da amostra) que declararam preferência por menor intensidade (3) quando sob luz artificial.

4 indivíduos (25%) declararam-se satisfeitos, (4) independente do tipo de iluminação; outros 25% prefeririam a luz natural um pouco mais intensa (5). Somente um indivíduo declarou insatisfação com a iluminação sob qualquer tipo de iluminação, desejando sempre luz pouco (5) ou muito mais intensa (6).

Por fim, quanto a correlações entre as diversas caracterizações realizadas, verificou-se apenas uma discreta relação direta entre a existência de desordens afetivas sazonais e maiores escores para estresse (indivíduos 5 e 12, com terceiro e quarto maiores escores, respectivamente).

Como limitações, cita-se a amostra reduzida, seleção não probabilística (inviabilizando a generalização dos resultados), e poucos dias de experimento por indivíduo. Também a impossibilidade de apresentação de outros dados subjetivos levantados (como estados de humor, ansiedade-estado e resultados relacionados à percepção da luz no ambiente, dada a restrição de tamanho imposta pelo formato do artigo). Além disso, espera-se que a análise dos dados de primavera e verão, próxima etapa da pesquisa, resulte em maior diferenciação de condições de iluminação natural, possibilitando o aprofundamento das análises e a corroboração/refutação dos resultados até aqui obtidos. Objetiva-se assim contribuir com estudos correlatos às respostas biológicas humanas ao estímulo fótico, que apontam para a possibilidade de aplicação clínica da luz no tratamento de distúrbios e patologias, que vão das condições de sono e alerta ao desempenho cognitivo, à memória e ao humor.

Finalmente, a dificuldade em correlacionar dados de iluminação objetivos e relacionados às condições de iluminação e o bem-estar dos indivíduos pode ser um indício de que, dada a natureza sutil e interdisciplinar das emoções e percepções humanas, haja a necessidade de mais estudos que produzam

ferramentas mais sensíveis para este registro, bem como a complementação dos dados com ferramentas e metodologias de pesquisa mista.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsas Doutorado-Sanduíche e Estágio Sênior, aos colegas do KIT (Alemanha) e aos participantes da pesquisa que compuseram nossa amostra.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, M.; MARDALJEVIC, J.; LOCKLEY, S. W. A framework for predicting the non-visual effects of daylight–Part I: photobiology-based model. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 1, p. 37-53, 2012.

AVERY, D.; DAHL, K. Bright Light Therapy and Circadian Neuroendocrine Function in Seasonal Afiective Disorder.In: SCHULKIN, J. (Ed.). **Hormonally Induced Changes in Mind and Brain**. San Diego, CA: Academic Press, 1993.

BEUTE, F.; DE KORT. Let the sun shine! Measuring explicit and implicit preference for environments differing in naturalness, weather type and brightness. **Journal of Environmental Psychology**, v. 36, p. 162-178, 2013.

BITTENCOURT, L. R. A. *et al*. Excessive Daytime Sleepiness. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, v. 27, supl. 1, p. 16-21, 2005.

BOUBEKRI, M. **Daylighting, Architecture and Health**. Routledge, 2008.

CABALLERO-ARCE, C.; VIGIL-DE INSAUSTI, A.; BENLLOCH-MARCO, J. Lighting of space habitats: Influence of color temperature on a crew's physical and mental health. In: **42nd International Conference on Environmental Systems**. 2012. p. 15-19.

COHEN, S.; KAMARCK, T.; MERMELSTEIN, R. A global measure of perceived stress. **Journal of Health and Social Behavior**, v. 24, n. 4, p. 385-396, 1983.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 6169-2**: Farbwiedergabe: Teil 2: Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik. Berlin, 1976.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 5034**: Tageslicht in Innenräumen. Berlin, 1997.

DOBSON, K. S. The Relationship Between Anxiety and Depression. **Clinical Psychology Review**, v. 5, n. 4, p. 307-324, 1985.

GIORELLI, A. S. *et al.* Sonolência Excessiva Diurna: aspectos clínicos, diagnósticos e terapêuticos. **Revista Brasileira de Neurologia**, v. 48, n. 3, p. 17-24, 2012.

HECHT, J. Better than sunshine: see life in an improvement light. **New Scientist**,06 jul. 2012. Source: <http://www.newscientist.com/article/mg21428710.300-better-than-sunshine-see-life-in-an-improved-light.html>. Acesso em: 13 ago. 2013.

HORNE, J. A.; ÖSTBERG, O. A Self-Assessment Questionnaire to Determine Morningness-Eveningness in Human Circadian Rhythms. **International Journal of Chronobiology**, v. 4, n. 2, p. 97-110, 1975.

JOHNS, M. W. *et al*. A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: the Epworth sleepiness scale. **Sleep**, v. 14, n. 6, p. 540-545, 1991.

KESSLER, R. C. *et al*. Comorbidity of DSM-III—R Major Depressive Disorder in the General Population: results from the US National Comorbidity Survey. **The British Journal of Psychiatry**, v. 30, p. 17-30, jun. 1996.

L. Laux, P. Glanzmann, P. Schaffner, C. D. Spielberger. Das State-Trait-Angstinventar. **Theoretische Grundlagen und Handanweisungen**. Beltz, Weinheim, Alemanha, 1981.

LEHNKERING, H.; SIEGMUND, R. Influence of Chronotype, Season, and Sex of Subject on Sleep Behavior of Young dults. **Chronobiology International**, v. 24, n. 5, p. 875-888, 2007.

LIPP, M. E. N. **O Que Eu Tenho É Stress?** De onde ele vem: o stress está dentro de você. São Paulo: Contexto, 1999.

MAGNUSSON, A.; BOIVIN, D. Seasonal Affective Disorder: an overview, review. **Chronobiology International,** v. 20, n. 2, p. 189-207, 2003.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, 54(2), 131-139, 2010.

RASHID, M.; ZIMRING, C. A Review of the Empirical Literature on the Relationships Between Indoor Environment and Stress in Health Care and Office Settings Problems and Prospects of Sharing Evidence. **Environment and Behavior**, v. 40, n. 2, p. 151-190, 2008.

REILLY, T.; WATERHOUSE, J.; ATKINSON, G. Aging, Rhythms of Physical Performance, and Adjustment to Changes in the Sleep-Activity Cycle. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 54, n. 11, p. 812-816, 1997.

ROSENTHAL, N. E.; BRADT, G. H.; WEHR, T. A. **Seasonal Pattern Assessment Questionnaire (SPAQ)**. Bethesda: National Institute of Mental Health, 1984.

SANASSI, L. A. Seasonal Affective Disorder: is there light at the end of the tunnel? **Journal of the American Academy of Physician Assistants**, v. 27, n. 2, p. 18-22, 2014.

SCHWEIKER, M. *et al*. Presenting LOBSTER, an Innovative Climate Chamber, and the Analysis of the Effect of a Ceiling Fan on the Thermal Sensation and Performance Under Summer Conditions in an Office-Like Setting. In: WINDSOR CONFERENCE: COUNTING THE COST OF COMFORT IN A CHANGING WORLD, 8., Windsor, 2014. **Proceedings...** Windsor, 2014.

SCOTT, K. M. *et al*. Depression–Anxiety Relationships With Chronic Physical Conditions: results from the World Mental Health Surveys. **Journal of Affective Disorders**, v. 103, n. 1, p. 113-120, 2007.

VEITCH, J. A. Psychological Processes Influencing Lighting Quality. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 30, n. 1, p. 124-140, 2001.
ZISAPEL, N. Circadian Rhythm Sleep Disorders. **CNS drugs**, v. 15, n. 4, p. 311-328, 2001.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

IMPACTOS DOS EDIFÍCIOS ISOLADOS NO CONFORTO AMBIENTAL DE ÁREAS ORIGINALMENTE RESIDENCIAIS DE BAIXO GABARITO[1]

MARTINS, Wennder Tharso Oliveira da Silva (1); ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho (2); DURANTE, Luciane Cleonice (3); CALLEJAS, Ivan Júlio Apolonio (4); SCAFFI, Malu Herrera (5); LOUZICH, Kellen Melo Dorileo (6)

(1) UFMT, e-mail: wenndertharso_93@hotmail.com; (2) UFMT, e-mail: karyna.rosseti@gmail; (3) UFMT, e-mail: luciane.durante@hotmail.com; (4) UFMT, e-mail: ivancallejas@ig.com.br; (5) UFMT, e-mail: maluscaffi94@gmail.com; (6) UFMT, e-mail: keldorileo@hotmail.com

RESUMO

O adensamento urbano resulta, muitas vezes, na verticalização de espaços de baixo gabarito, interferindo na configuração dos ventos, reflexões e absorções das superfícies. O objetivo desta pesquisa é avaliar a dimensão das interferências da verticalização no espaço urbano. A metodologia consiste das etapas de levantamento microclimático espacial da área e simulação computacional. A primeira etapa foi realizada por meio de medições de estação fixa, transecto móvel e mapeamento da área. A segunda contempla duas simulações computacionais: o ambiente real, com um edifício residencial de sete pavimentos e, outra, sem o mesmo. Os impactos mais expressivos foram verificados na intensidade e configuração dos ventos, principalmente nas regiões a sotavento do edifício, com redução de até 1,40m/s. Percebe-se, ainda, redução superior a 1,5 pontos na escala do PMV nos quintais da mesma região. Os resultados confirmam que a verticalização gera interferências significativas nas características atmosféricas do seu entorno, reiterando a necessidade do planejamento urbano aliado à politicas públicas para a promoção do conforto e bem-estar do usuário, melhorando a qualidade de vida dos habitantes.

Palavras-chave: Clima urbano. Verticalização. Conforto ambiental.

ABSTRACT

The urban density often results in the vertical integration of low-to gauge spaces, interfering with the configuration of the wind, reflections and absorptions surfaces. The objective of this research is to evaluate the extent of vertical integration of interference in urban areas. The methodology consists of spatial microclimate lifting stages of area and computational simulation. The first step was performed via fixed station measurements and mobile transect mapping area. The second includes two computer simulations: the real environment, with a residential building with seven floors and another without it. The most significant impacts were observed in the intensity and configuration of the winds, especially in regions downwind of the building, down to 1.40m / s. It is noticed also reduced by more than 1.5 points on the scale of PMV in the backyards of the same region. The results confirm that the verticalization generates significant interference in the atmospheric characteristics of its surroundings, reiter-

[1] MARTINS, W.T.O. S; ROSSETI, K.A.C.; DURANTE, L.C. CALLEJAS, I.J.A. SCAFFI, M.H.; LOUZICH, K.M.D. Impactos dos edificios isolados no conforto ambiental de áreas originalmente residenciais de baixo gabarito. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

ating the need for urban planning combined with public policies to promote comfort and user well-being, improving the quality of life of the population.

***Keywords**: Urban climate. Verticalization. Environmental comfort.*

1 INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo crescente em toda a humanidade, sendo considerada por (NETO, 2011), um dos maiores fenômenos da história. Dessa maneira, a busca por espaço, principalmente dentro das cidades, é cada vez mais disputado, ora devido à falta de terrenos disponíveis, ora pela busca do local em que seja oferecido maior conforto.

Este fenômeno de adensamento urbano resulta, muitas vezes, na verticalização de espaços que eram originalmente caracterizados por edificações de baixo gabarito, interferindo na configuração dos ventos, nas reflexões e absorções das superfícies. Esses fatores, por fim, alteram o conforto térmico e a qualidade do ambiente na cidade (LOMBARDO, 1985; ROCHA E FIGUEIRÓ, 2010). Isso é explicado pelo fato dos edifícios modificarem o sentido e a direção do vento, e suas fachadas refletiram mais a radiação. (LANDSBERG, 1968).

Para CAMPOS (2014) a urbanização em si não é um problema, e sim a forma como as cidades estão sendo construídas e ocupadas**.** Em sua pesquisa foi investigada a influência do sombreamento gerado pelos edifícios altos dentro de uma área de grande verticalização em Curitiba.

Para reaver a qualidade do conforto no ambiente urbano são necessárias pesquisas visando orientar o processo de urbanização das cidades, visando maior consideração dos atributos naturais na manutenção de determinadas funcionalidades ambientais (ALVES; FIGUEIRÓ, 2016).

Segundo KRÜGER, NIKOLOPOULOU e ROSSI (2011), a configuração urbana interfere nas condições climáticas.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é analisar comparativamente dentro de um cenário, a influencia da implantação de um edifício de alto gabarito, à luz das interferências sobre a velocidade do vento, temperatura do ar, umidade específica do ar e Predicted Mean Vote (PMV).

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada seguindo as seguintes etapas metodológicas: escolha da área de estudo, levantamento espacial e microclimático da área, modelagem e simulação no software Envi-Met e definição dos parâmetros do conforto do pedestre, a seguir descritas.

2.1 Escolha da área de estudo

Buscando analisar os impactos que um edificio de maior gabarito traz ao microclima na área de seu entorno, foi selecionado um prédio isolado em um bairro caracterizado por construções residenciais de baixo gabarito

(máximo 2 pavimentos: térreo + 1). O bairro escolhido foi o Jardim Petrópolis (figura 1), localizado na cidade de Cuiabá/MT, que possui área de 4 ha, tendo em seu centro, um edifício residencial de sete pavimentos.

Figura 1- localização da área de estudo dentro da cidade de Cuiabá



Fonte: Adaptada de GoogleMaps

2.2 Caracterização do microclima na área de estudo

Todos os dados microclimáticos utilizados como parâmetros de entrada para esta pesquisa foram extraídos de ROSSETI (2013), que, por sua vez, foram obtidos da estação de referência (83362), localizada no Aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande, MT.

Estes dados consistem de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, turbulência, temperatura inicial da atmosfera (K), umidade específica a 2500m, entre outros, como visto no quadro 1.

Quadro 1 – Dados do Modelo de Simulação no ENVI-Met

Parâmetro	Valor
Data da Simulação :	05.08.2013
Hora de início:	20:00:00
Duração total:	48 horas
Intervalo de registro:	60 min
Velocidade do vento 10 m acima do solo:	2.46 m/s
Direção do vento:	170°
Rugosidade z0 no ponto de referência [b]:	0.1
Temperatura inicial da atmosfera:	298.33 K
Umidade específica em 2500 m [c]:	7.77 g/kg
Umidade relativa em 2m [%]:	56.21 %
Tipo de vegetação do telhado, altura e DAF [d]	Grama,10cm,3m²/m³

Fonte: Os autores

Neste item não será considerada a discussão das necessidades de conforto externo, uma que vez que esta não é o objetivo deste trabalho, mas sim o impacto gerado pela implantação do edifício em questão.

2.3 Caracterização espacial da área de estudo

A medição das variáveis espaciais na área de estudo foi realizada por meio de observações no local e levantamentos por meio do *Googlemaps*.

As variáveis espaciais consideradas englobam os elementos urbanos, tais como larguras das vias, calçadas, quantidade de indivíduos arbóreos, projeção e altura das edificações, dentre outros. O levantamento das árvores foi realizado *in loco*, em termos de quantidade e posicionamento dos indivíduos arbóreos, sem identificação da espécie, informação irrelevante para os objetivos propostos.

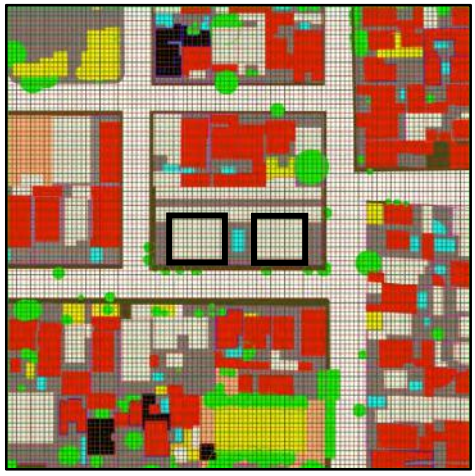
Primeiramente, a área foi desenhada com auxílio do software AutoCad. Para que fosse possível o maior detalhamento da área de estudo, cada quadra, de um total de sete, foi desenhada individualmente e, posteriormente, anexadas umas às outras (Figura 2 e 3).

Figura 2- Área de estudo com identificação do edifício na parte central



Fonte: Adaptada de GoogleMaps

Figura 3- Área de estudo modelada no AutoCad



Fonte: Os autores

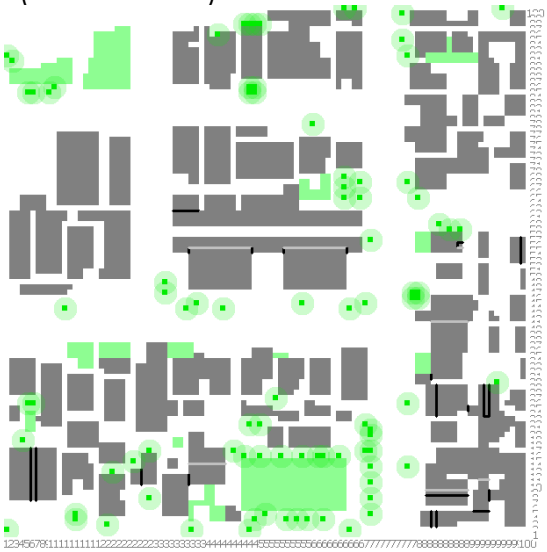
2.4 Modelagem e simulação no Envi-Met

Para modelagem no software ENVI-Met (versão 4.0) foi utilizado um processador Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E4500 @2.20GHz 2.20GHz, 0,99GB de RAM.

O ambiente de simulação foi configurado com grids de 2x2x2m, em compatibilidade com o modelo do software Auto-Cad, de forma a permitir englobar toda a área de estudo, sem perder a resolução para simulação de elementos menores, tais como calçadas, canteiros, piscinas e pequenos jardins.

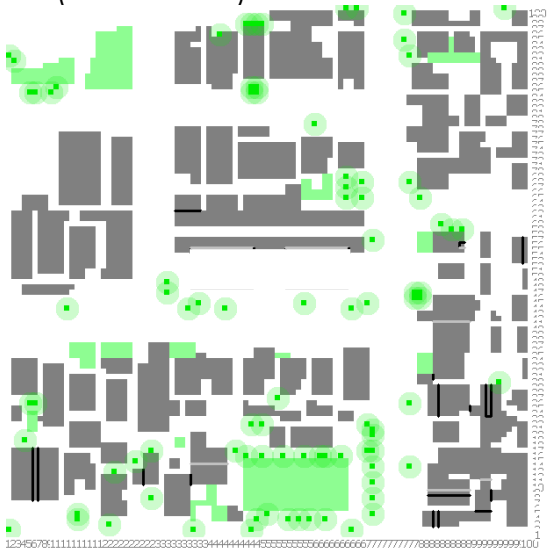
Foram criados dois cenários para simulação: o cenário real (Figura 4) e, outro, hipotético, considerando a exclusão do edifício (Figura 5). Para a simulação, foi utilizada a versão de 180x180x35 grids do software ENVI-Met.

Figura 4- Modelagem ambiente real (com edifício) no software Envi-Met4



Fonte: Os autores

Figura 5- Modelagem ambiente hipotético (sem edifício) no software Envi-Met4



Fonte: Os autores

Os resultados gerados pelo modelo foram analisados em três horários, 06:00, 13:00 e 20:00h, nos quais considerou-se as variáveis de temperatura e umidade específica do ar, velocidade do vento e o conforto do pedestre, expressos em valores médios para cada um dos 10.000 grids que compõem o cenário.

Para analisar estatisticamente as diferenças nos diferentes cenários do estudo, foi utilizada a estatística de Kruskal-Wallis (LEE; WANG, 2003), que determina se há ou não diferença significativa entre duas ou mais amostras de dados de uma mesma população (ROSSETI, 2014). Para esta análise foram comparados todos os índices, nos três horários específicos, das duas simulações.

2.5 Definição dos parâmetros do conforto do pedestre

O índice utilizado nesta pesquisa para mensurar o conforto do pedestre foi o PMV (*Predicted Mean Vote),* um valor numérico que representa o nível de conforto ou desconforto térmico do ser humano (FANGER, 1972). Para calculá-lo, levam-se em conta os dados de Temperatura média radiante, Velocidade, Umidade relativa e Temperatura do ar, Atividade física e Vestimenta utilizada pelo pedestre.

Foram utilizados os dados de entrada fornecidos pelo software Envi-met, que são: idade 35 anos, altura 1,75 m e peso 75 kg. O valor de isolamento térmico das roupas considerado foi de 0,5clo e a taxa metabólica de 150 W/m².

O critério estabelecido para avaliação do PMV desconsiderou valores negativos menores que -2 pelo fato de que tais índices não são observados na área de estudo, uma vez que localiza-se em região de clima quente.

Quadro 2 – Critério para avaliação do PMV

PMV	SENSAÇÃO
PMV<-3,0	Muito frio
-3,0<PMV<-2,0	Frio
-2,0<PMV<+0,5	Levemente frio
-0,5<PMV<+0,5	Neutro
+0,5<PMV<+2,0	Levemente quente
+2,0<PMV<+3,0	Quente
PMV>+3,0	Muito quente

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O software Envi-met apresenta a possiblidade de conversão de todos os dados numéricos em planilha, passando-os diretamento ao software Excel. Esses dados numéricos referem-se a cada grid da simulação. Como foi utilizado um cenário de 40000m², dividido em grids de 4m² (2x2m), o total de índices numéricos é de 1000, tanto para a temperatura média, umidade específica do ar, velocidade do vento e pmv.

Esses índices foram agrupados, de forma a poder confrontar a interferencia numérica dos dados entre um cenário e outro. Assim sendo, foi utilizado kruskal-wallis para saber se existe diferença significativa entre os dados numéricos entre o cenário com edifício e sem edifício.

Apresentam-se no Quadro 3, os resultados da análise estatística de Kruskal-Wallis, os quais indicam que para todos os horários houve diferença significativa entre o cenário hipotético e o cenário real. O calculo foi realizado com auxílio do software Past 3.04, elaborado por Hammer, da Universidade de Oslo e colaboradores.

Quadro 3 – Resultados da análise de Kruskal-Wallis, mostrando que para cada variável e nos três horários há diferença entre os dados numéricos entre os dois cenários.

	Temperatura média do ar	específica do ar	Velocidade do vento
06:00	p (same): 2,909E-235	p (same): 1,129E-273	p (same): 0,02476
13:00	p (same): 9,383E-35	p (same): 1,283E-30	p (same): 0,02993
20:00	p (same): 1,435E-17	p (same): 2,765E-08	p (same): 0,04611

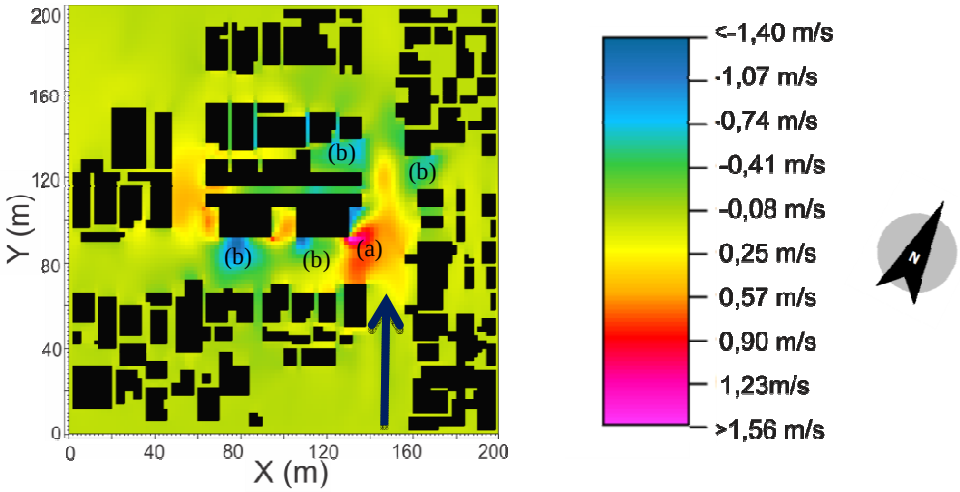
Fonte: os autores

3.1 Velocidade do vento

Os resultados do impacto da retirada do edifício na velocidade do ventopode ser observado na Figura 6, na qual é apresentado um mapa das diferenças entre o ambiente hipotético (sem a edificação) e o ambiente real. Desta forma pode-se localizar e quantificar de forma mais precisa as interferências provocadas pelo edifício no seu entorno.

A máxima alteração na variável velocidade do vento foi de 1,56m/s e a mínima de -1,40m/s em alguns pontos do cenário. Isto significa que o edifício provoca tanto a aceleração do ar quanto a desaceleração, em pontos específocos do cenário. As maiores interferências são observadas nas proximidades do edifício até aproximadamente 40m, influenciadas pela direção predominante do vento. Uma zona de aceleração é identificada na esquina da porção frontal do edifício com via localizada a direita (Figura 6 (a)) e zonas de desaceleração, mais frequentes no cenário, são identificadas na porção frontal do edifício e posterior, extendendo-se a quadra localizada a direita (Figura 6 (b)), conforme direção predominante do vento, representada pela seta azul na figura.

Figura 6 – Mapa das diferenças na velocidade do vento em todos os horários de análise, considerando a diferença entre o cenário real e hipotético



Fonte: Os autores

3.2 Temperatura e umidade específica do ar

Quando analisados os mapas referentes às diferenças provocadas pela presença do edifício nas variáveis temperatura e umidade específica do ar observa-se a interferência do comportamento do vento na distribuição dos efeitos da incorporação do edifício (Figura 7).

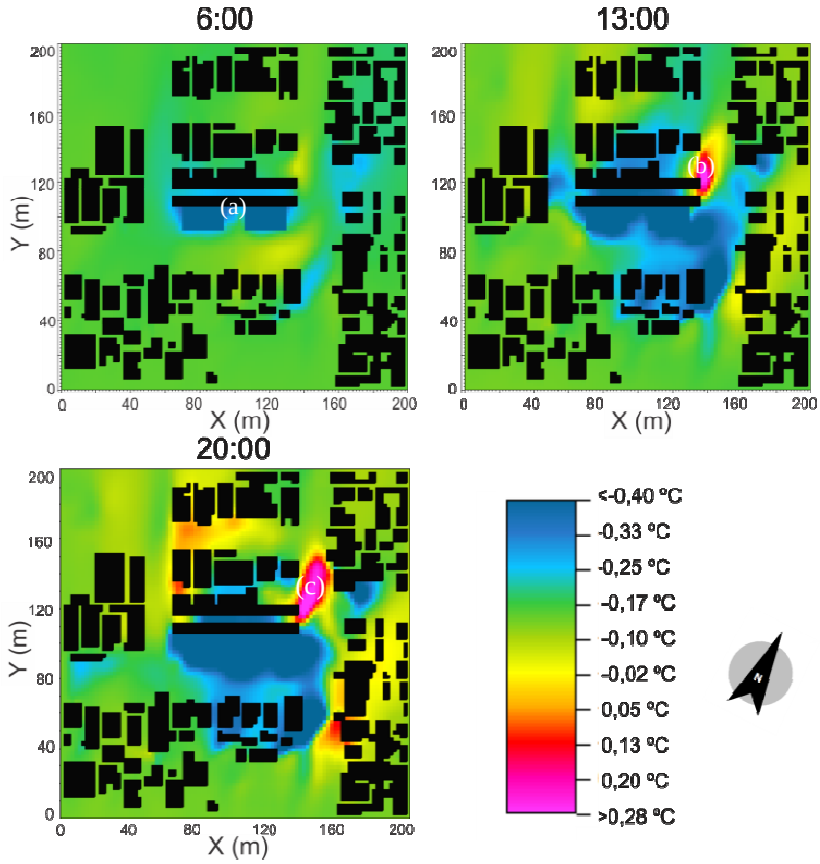
Os dados referentes à temperatura do ar indicam o aumento de até 0,30°C em alguns pontos específicos do mapa e decréscimo de até 0,40°C em uma porção maior do ambiente.

No horário das 06:00h, observa-se em quase todo o cenário uma redução em torno de 0,15°C na temperatura do ar. Neste horário observa-se que reduções maiores na temperatura do ar ficam contidas no quintal do próprio edifício (figura 7 (a)).

No horário das 13:00 e 20:00h, observa-se um maior alcance espacial das reduções acima de 0,40°C (região azulada) na temperatura do ar, abrangendo não somente a quadra do edifício mas também a quadra oposta a via

frontal do mesmo, região onde observou-se também a redução da velocidade do vento. Tal comportamento se explica principalmente pelo fato de esta região ser sombreada pelo edifício durante o período vespertino, a partir das 12:00, reduzindo os ganhos energéticos das superfícies e consequentemente mantendo o ar mais fresco. Observa-se nestes dois horários também a elevação da temperatura do ar nas proximidades da fachada norte do edifício, (pontos b e c) fachada esta que recebe insolação durante todo o dia e reemite para seu entorno. Os maiores impactos são observados no período noturno, após absorção de toda a radiação incidida durante o dia.

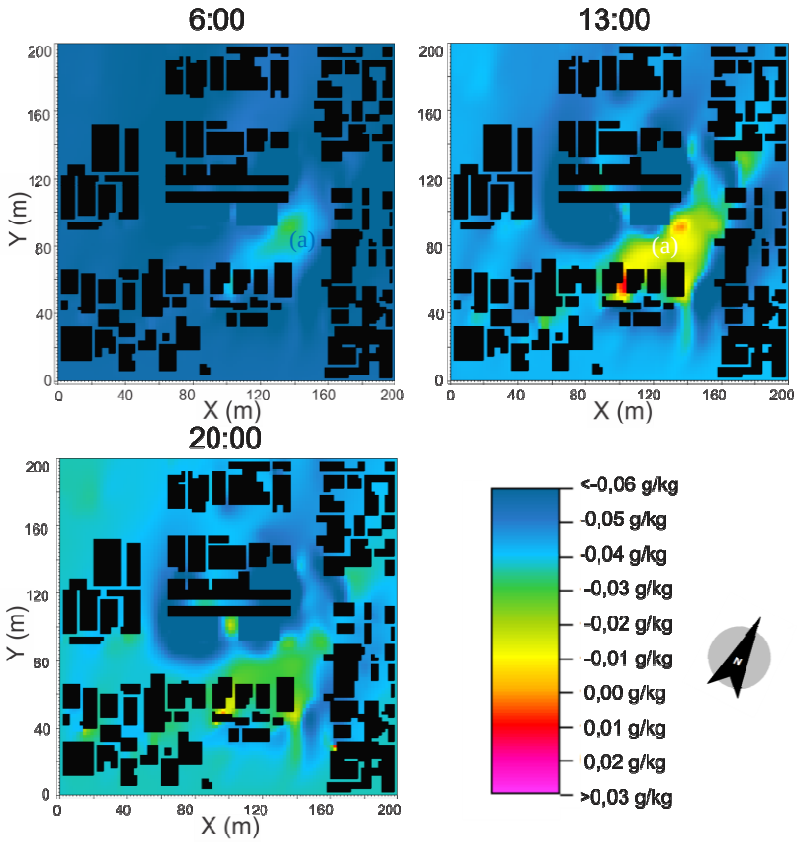
Figura 7 – Mapa das diferenças na temperatura do ar considerando a diferença entre o cenário real e hipotético



Fonte: Os autores

A umidade específica é pouco alterada nas simulações, sendo que há diferença de apenas 0,09g/Kg entre a máxima e a mínima entre todos os horários (Figura 8). No horário das 13:00 o impacto é mais visível, apesar de pouco, nas porções mais verdes e amarelas do mapa (figura 8 (a)).

Figura 8 – Mapa das diferenças na umidade específica do ar considerando diferença entre o cenários real e hipotético



Fonte: Os autores

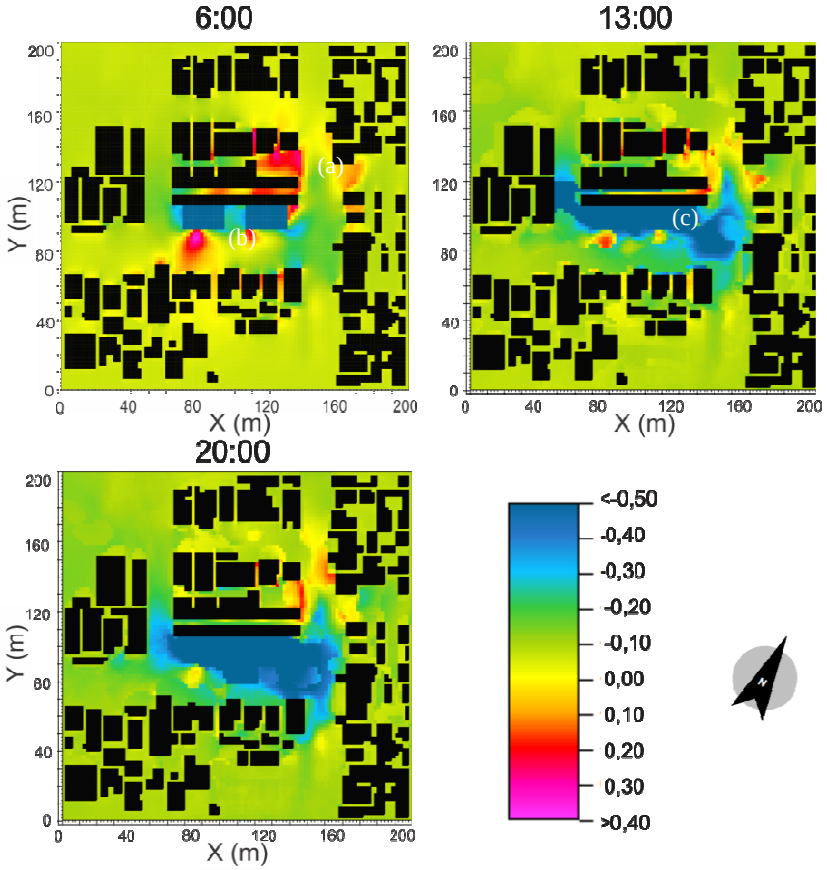
3.3 Resultados da implementação do edifício no parâmetro de conforto PMV

Fica evidenciado tambem nos mapas (Figura 9) que o PMV é alterado significativamente pela incorporação do edifício, quando se considera a diferença entre o cenário real e o hipotético. No que se refere aos dados das 06:00h, ocorre a menor interferência, considerando a ausência de radiação solar no sistema. Ainda assim, há elevações na escala da pontuação, alcançando a máxima de +0,40, nas regiões (a) e (b) demarcadas. Nesse horário, todas as pessoas em questão se sentem em um ambiente neutro independente da existência ou não da edificação (quadro 4)

Já as 13:00h, as alterações são maiores, ninguém se considera em um abiente neutro. A porcentagem de pessoas com a sensação de estar em um ambiente levemente quente aumenta em 4,65%. Já a porcentagem das pessoas com a sensação de estar em ambiente quente passa por um aumento de 1,64%. Ainda há outra porcentagem de pessoas que se sentem num ambiente muito quente, presentando, pela primeira vez, um decrescimo, de 6,28%, (na região mais azulada representada pela região c) que é o mais representativo dentre todos os demais, justificado pela interferencia do sombreamento provocado pela edificação. Observa-se comportamento semelhante para a temperatura do ar, nesse mesmo horário.

Figura 9 – Mapa das diferenças no PMV considerando diferença entre o ce-

nário real e hipotético



Fonte: Os autores

As 20:00 não há pessoas se sentindo em ambiente neutro ou levemente quente, mas a sensação de estar em ambiente quente aumenta em 2,71%. Ocorre, também, a sensação de estar em um ambiente muito quente, minorando a porcentagem em 2,71% na região azul do mapa.

Nesse período noturno houve maior ocorrência de votos para a escala de sensação muito quente, mais de 92% de individuos, em relação aos demais horários analisados. Isso se deve ao fato da edificação receber e acumular calor durante todo o dia e fazer a troca com o ambiente externo à noite. A região mais afetada por este fenômeno foi a área localizada próxima a fachada norte do edifício, fachada com maior incidência solar no período considerado no estudo. Todavia, devido ao sombreamento provocado pelo edifício na orientação sul, sudeste, observa-se ainda a redução no PMV, aumentando a porcentagem de pessoas confortáveis nesse horário.

Dessa forma, evidencia-se pelos mapas que os valores da velocidade do vento e da temperatura do ar são diretamente proporcionais ao índice PMV, uma vez que onde se tem decréscimo daqueles, obtém-se, também, o decréscimo do PMV, aumentando o percentual de pessoas com a sensação de conforto térmico.

Quadro 4 – Predicted Mean Vote (PMV) expresso em Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas com o ambiente térmico (%)

	SEM EDIFÍCIO			COM EDIFÍCIO		
SENSAÇÃO	**06:00**	**13:00**	**20:00**	**06:00**	**13:00**	**20:00**
Ambiente neutro	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Ambiente levemente quente	0,00%	37,88%	0,00%	0,00%	42,52%	0,00%
Ambiente quente	0,00%	47,93%	7,44%	0,00%	49,57%	10,15%
Ambiente muito quente	0,00%	14,19%	92,56%	0,00%	7,91%	89,85%

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÃO

A implantação do edifício na área de estudo trouxe mais benefícios do que era esperado, diminuindo em até 0,40°C a temperatura em seu entorno e melhorando o conforto térmico dos pedestres no período da tarde e da noite, efeito resultante do sombreamento que o edifício promove durante todo o período da tarde na porção sul da área estudada, aliada ao efeito do vento, que apesar de não mudar consideravelmente de velocidade, apresenta alterações de sentido, fundamentais para os resultados.

Houve também elevações de temperatura de até 0,30°c em alguns horários em partes específicas do cenário. O conforto analisado com base no voto médio predito (PMV), teve significativa alteração, sendo mais visível na parte da tarde (13:00).

Ainda assim, é importante salientar alguns pontos. O primeiro é que o estudo se refere a apenas à estação seca do ano e foi feito com dados bioclimáticos de uma cidade específica, podendo haver resultados diferentes para outras regiões e estações do ano. Para generalizar a questão seriam ainda necessárias mais simulações, contemplando períodos maiores e locais distintos. Outro ponto importante é que os resultados referem-se à implantação de apenas uma edificação, não significando que para duas edificações ou mais, o resultado seria diretamente proporcional.

REFERÊNCIAS

ALVES, D.B; FIGUEIRÓ, A.S. **Vegetação urbana e variabilidade do campo térmico em áreas selecionadas da cidade de Santa Maria (RS)**. Revista Geonorte, v. 3, n. 5, p. 1111–1125. 2016

CAMPOS, G. A. C. **Análise da influência do sombreamento causado pelos edifícios na Zona Central de Curitiba**. 2014. 159f. Dissertação (Área de concentração: Meio ambiente) Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – PPGEC - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

FANGER, P. O. **Thermal comfort.** New York: Mc Graw Hill, 1972.

LEE, E. T., WANG, J. W. **Statistical methods for survival data analysis**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 2003

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**. São Paulo, HUCITEC. 1985

NETO, J.L.S.A. **Clima e Organização do Espaço. Boletim de Geografia**, v. 16, n. 1, p. 119-132. 2011

ROCHA, J.R.; FIGUEIRO, A. S. **Poluição do ar no bairro centro de Santa Maria/RS: Variáveis geourbanas e geoecológicas.** Mercator – Revista de Geografia da UFC, Fortaleza, n. 18., p. 105-120. 2010

ROSSETI, K. A. C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met.** 73f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

RÜGER, E; NIKOLOPOULOU, M; ROSSI, A.R. **a influência da configuração urbana no microclima e na sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná.** XI Encontro nacional de conforto no ambiente construído e VII encontro latino americano de conforto no ambiente construído, Búzios, RJ, 2011.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS MODULARES PARA MUROS VIVOS[1]

THOMAZELLI, Rodolfo (1); CAETANO, Fernando (2); BERTOLI, Stelamaris (3)

(1) UNICAMP, e-mail: rodolfo.thomazelli@gmail.com; (2) UNIPAR, e-mail: durso.arq@gmail.com; (3) UNICAMP, e-mail: rolla@fec.unicamp.br

RESUMO

O conhecimento do coeficiente de absorção sonora de muros vivos possibilita que a simulação acústica de ambientes urbanos onde tais elementos foram empregados forneça resultados mais realísticos, já que a propagação sonora depende da absorção sonora das fachadas presentes. Esse trabalho apresenta resultados experimentais de testes de absorção sonora em um sistema modular de painéis vegetais. Cada módulo utilizado foi composto por uma placa base feita de compensado plastificado, de 60 cm², equipada com 9 bolsas de manta geotêxtil, nas quais foi inserido um substrato altamente poroso e cultivada uma espécie de planta com alta densidade foliar. Os testes foram realizados em câmara reverberante, onde foram medidos os coeficientes de absorção sonora em função de frequência. Os resultados demonstraram uma elevação significativa nos valores do coeficiente de absorção sonora em todas as frequências analisadas ao se inserirem, em etapas, o substrato e a vegetação nas placas base.

Palavras-chave: Absorção sonora. Coeficiente de absorção sonora. Muros vivos.

ABSTRACT

The characterization of the acoustic performance of green walls may provide better results for the acoustic simulation of urban environments where such elements are employed. This paper presents experimental results of the sound absorption tests for a modular system of vegetable panels. Each module was composed of a baseplate made of laminated plywood, equipped with 9 geotextile bags in which was inserted a highly porous substrate, and grown a specie of plant with high leaf density. Absorption tests were conducted in a reverberation room, where sound absorption coefficient over frequency was measured. Results showed a significant increase of sound absorption coefficients at the whole spectrum when substrate and vegetation were inserted on the baseplates in each situation.

***Keywords**: Sound absorption. Sound absorption coefficient. Green walls.*

1 INTRODUÇÃO

A problemática da qualidade ambiental no meio urbano é um tema recorrente na literatura científica a partir da década de 70. Desde o século XVIII, a capacidade do ser humano modificar o seu habitat cresceu em proporções que ultrapassaram o equilíbrio de vários ciclos naturais; aliado a isto, o grande contingente de pessoas que passaram a viver em áreas

[1] SOBRENOME01, Nome; SOBRENOME02, Nome; SOBRENOME03, Nome. Instruções para a preparação do artigo completo para o ENTAC 2016. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

urbanas coloca em foco a discussão do paradigma ambiental da cidade contemporânea (RIBEIRO; BARROS, 1997; HARVEY, 2004; HALL, 2009).

Diversos estudos vêm apontando que as condições ambientais existentes no meio urbano tornam-se cada vez mais prejudiciais ao bem estar humano, produzindo quadros de estresse na população e causando diversas doenças fisiológicas (ULRICH, 1986; HERZOG; STREVEY, 2008). Sabe-se que, em grande parte, estas alterações se devem ao modo de uso e ocupação do solo, caracterizado pela presença de revestimentos rígidos e impermeáveis (AKBARI; POMERANTZ; TAHA, 2001). O asfalto, o concreto e as pedras absorvem grandes quantidades da radiação solar incidente e impedem a retenção da água pluvial no solo, produzindo efeitos como as ilhas de calor e as inundações urbanas (NOWAK, 2006); já materiais como os vidros e os metais refletem grande quantidade de luz, aumentando o risco de ofuscamento, e dificultam a absorção do ruído urbano (DUNNET; KINGSBURY, 2008).

Especificamente sobre o ambiente acústico, muitas pesquisas indicam que os níveis de ruído aos quais as pessoas estão submetidas diariamente nos centros urbanos ultrapassam limites saudáveis, produzindo assim diversos transtornos psicofisiológicos, como o aumento da pressão sanguínea, distúrbios no sono, e baixo rendimento no trabalho (PAZ; FERREIRA; ZANNIN, 2005). Segundo a World Health Organization (2011), o ruído urbano é uma das maiores fontes de poluição ambiental nos centros urbanos, afetando diretamente a população, mas com o perigo de ser esquecido por não oferecer risco imediato à vida.

Já nos anos de 1960, Rosen e Olin (1965) destacavam que a presbiacusia, um mal comum na sociedade da época, pode ser considerado um fenômeno ligado ao ruído urbano, tendo em vista que os idosos de muitas comunidades indígenas relativamente silenciosas não apresentam perda auditiva considerável com a idade. Níveis equivalentes de ruído (Leq) acima de 65 dB(A), comumente encontrados no meio urbano, já são considerados desgastantes para o organismo, aumentando o risco de doenças cardiovasculares (HOFFMANN *et al*, 2006; WHO, 2011).

Considerando o impacto que o ruído ocasiona sobre a saúde da população, a necessidade de modificações sobre o perfil acústico do ambiente urbano é premente. Como já citado, um dos pontos centrais nesta discussão é a adequação das propriedades da superfície do solo. Neste sentido, a recuperação da cobertura vegetal urbana tem sido utilizada como uma alternativa tecnológica com um impacto considerável na qualidade ambiental. Diversos estudos têm demonstrado que as características morfofisiológicas da vegetação melhoram a qualidade do ar, mitigam o efeito das ilhas de calor, e também atuam na amenização do estresse urbano (NOWAK, 2006). Em relação ao ruído urbano, análises experimentais indicam que a vegetação atenua o ruído através da reflexão e espalhamento na folhagem e ramos; além disso, parte do ruído é absorvido pela camada termoviscosa de ar que circunda as folhas, e pela

conversão da energia sonora em vibração mecânica, dissipada então como calor (VAN RENTERGHEM *et al*, 2012).

Apesar disso, Cook e Van Haverbeke (1977) já haviam colocado que a vegetação sozinha tem um potencial limitado de atenuação do ruído, em geral variando de 5 a 10 dB, de acordo com o tipo de vegetação e o posicionamento da fonte sonora. A atuação da vegetação se dá mais em as altas frequências, mas se considerarmos o efeito conjunto do solo macio com raízes e folhas mortas, tanto o nível de atenuação quanto as faixas de frequência atenuadas aumentam.

De qualquer forma, o potencial de amenização ambiental que a recuperação da cobertura vegetal oferece frequentemente esbarra na demanda pelo uso do solo urbano para outros fins. É exatamente devido a esta limitação que os revestimentos vegetais tem se destacado como uma alternativa viável no processo de inserção da vegetação nas cidades. O uso das fachadas e coberturas dos edifícios para este fim permite que espaços frequentemente ociosos recebam os revestimentos vegetais, evitando disputas pelo uso do solo. (KÖHLER, 2008; DUNNETT; KINGSBURY, 2008). O revestimento vegetal é especialmente válido para o caso das fachadas, que são abundantes nos grandes centros urbanos verticalizados, possibilitando o contato da vegetação com a superfície dos edifícios (PERINI; MAGLIOCCO, 2012).

O papel das peles vegetais de configuração vertical – ou paredes verdes – sobre o comportamento térmico dos edifícios tem sido bem explorado ao redor do mundo, e também no Brasil. No entanto, a análise do comportamento acústico do sistema ainda é muito pobre e inconsistente devido à existência de poucos estudos e à falta de padronização da metodologia utilizada (AZKORRA *et al*, 2015).

Embora a vegetação sozinha não possua uma grande capacidade de atenuação acústica, o grande interesse das fachadas verdes reside na atuação conjunta das diferentes camadas que compõe seus painéis, o que aumenta o potencial de absorção do ruído urbano e do isolamento sonoro dos ambientes internos.

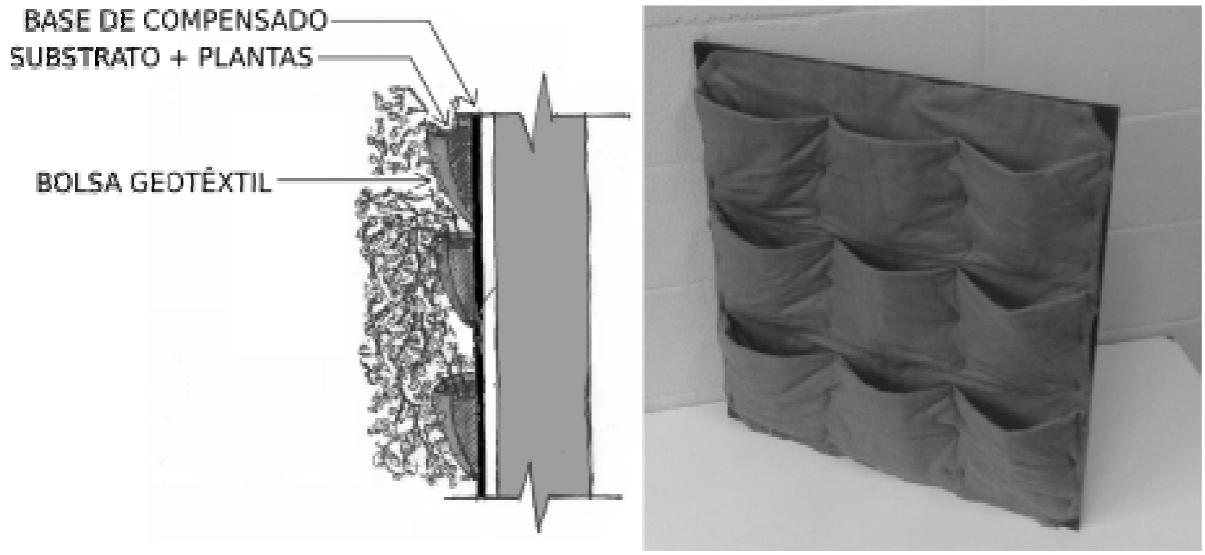
Azkorra *et al* (2015) destacam que o conhecimento prévio das propriedades acústicas dos diferentes materiais e revestimentos fornece uma vantagem no desenvolvimento do projetos das edificações. Da mesma forma, a obtenção destas propriedades no ambiente controlado do laboratório evita erros provenientes da influência de fatores externos. Nesse contexto, este artigo tem como finalidade apresentar os resultados de uma análise controlada das propriedades de absorção acústica de um sistema modular de muro vivo, desenvolvido previamente em uma pesquisa acadêmica, e discutir o seu potencial de aplicação para o controle do ruído. Essa analise e discussão fornece subsídios para futuras simulações sobre o impacto acústico que o uso de muros vivos traz para o ambiente urbano e para o interior das edificações.

2 METODOLOGIA

2.1 Seleção e montagem do sistema de muro vivo

O desenvolvimento deste trabalho se embasou na análise de um sistema de muro vivo proveniente da pesquisa de Caetano (2014). O sistema desenvolvido consistia de painéis vegetais modulares, compostos por placas bases de compensado plastificado, sobre as quais foram então grampeados recortes de manta geotêxtil formando bolsas. Dentro das bolsas eram dispostos o meio de crescimento e as plantas (Figura 1).

Figura 1 – Corte transversal esquemático e foto do sistema



Fonte: Os autores

Como um todo, o sistema foi pensado para trazer um baixo carregamento da alvenaria e funcionar de modo autossustentado num esquema de irrigação semi-hidropônica. Foi utilizado um meio de crescimento leve elaborado a partir de porções granulares e fibrosas do mesocarpo do coco (fibra de coco), associado ao mineral perlita. Desta forma foi possível obter um substrato com boa aeração (porosidade total de 87 %), baixa densidade aparente de 71 kg/m³ e capacidade de retenção de líquidos de 400 ml por litro de substrato.

A seleção das plantas do sistema, originalmente levou em consideração critérios de resistência ambiental, volume e tipo de folhagem, e necessidade de manutenção. Para a análise do comportamento acústico dos painéis foi utilizada a espécie *Callisia repens* (dinheiro em penca), que foi escolhida devido ao grande volume de sua folhagem, grande número de folhas, e à maior massa que suas folhas suculentas possuem. Esta característica da planta poderia oferecer um diferencial na absorção/atenuação acústica do ruído, por aumentar a porosidade da superfície dos painéis, aprisionado e dispersando o som entre a folhagem (HOROSHENKOV; KHAN; BENKREIRA, 2013).

2.2 Medições acústicas

Para determinação dos coeficientes de absorção sonora em função de frequência do sistema de painéis, foram executados ensaios em câmara reverberante. O procedimento experimental foi baseado na norma ISO 354 (2003), que prevê o cálculo do coeficiente de absorção a partir da medição dos tempos de reverberação da câmara com e sem amostra. Para a medição foram utilizados 20 painéis, dispostos ao centro da câmara, cobrindo uma área total de 7,2 m².

Para a medida do tempo de reverberação foram escolhidos quatro pontos de microfone e duas posições de fontes. Para cada uma das oito combinações de microfone e fonte foram efetuadas três medições, sendo que o resultado considerado foi a média de todas as situações. Os tempos de reverberação foram medidos em bandas de frequência de 1/3 oitava entre 100 e 5000 Hz. Foi utilizado para a medição o sistema *Building Acoustics* da *Bruel&Kjaer*, composto por uma fonte omnidirecional, um amplificador de sinais e um analisador de frequência em tempo real (*Investigator* 2260).

O sistema modular foi analisado em três configurações diferentes, a fim de melhor caracterizar a contribuição de cada parte da montagem que o compunha na sua eficiência acústica. As configurações escolhidas foram: (I) placa base + bolsas geotêxteis, (II) placa base + bolsas geotêxteis + substrato, e (III) placa base + bolsas geotêxteis + substrato + vegetação. A Figura 2 mostra os painéis da terceira configuração (painéis completos) alocados na câmara reverberante.

Figura 2 – Montagem da configuração III na câmara de reverberação



Fonte: Os autores

Nas três configurações descritas, o conjunto de painéis foi apoiado diretamente ao chão da câmara. Além disso, para simular uma situação mais próxima da forma real da aplicação dos painéis sobre as paredes, optou-se também por realizar os ensaios da configuração II com os painéis apoiados sobre ripas de madeira e comparar os resultados (Figura 3).

Figura 3 – Variação da configuração II, com o uso de apoios de madeira



Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

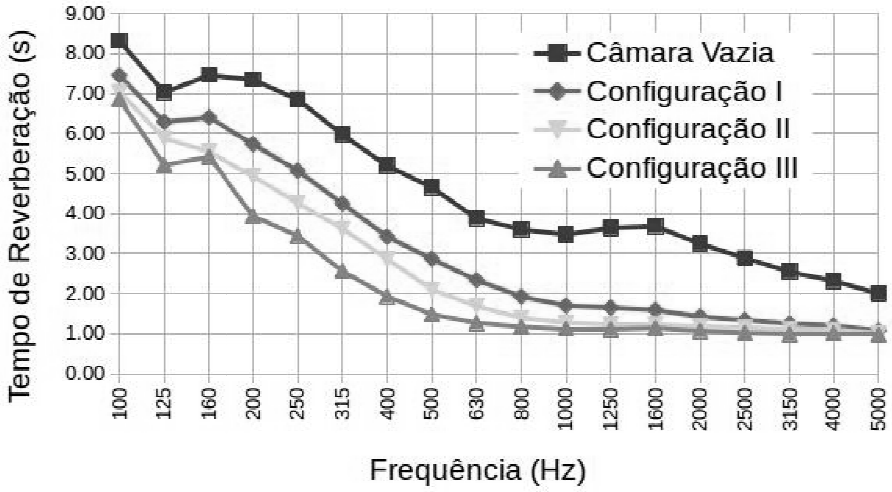
As curvas apresentadas no gráfico da Figura 4 mostram um comparativo entre os tempos de reverberação (TR) em função de frequência obtidos com a câmara vazia e com a câmara preenchida com os painéis arranjados nas três configurações. Nota-se que houve uma redução do tempo de reverberação para os três casos, sucessivamente, em toda a faixa de frequência analisada. Nota-se também que, a partir de 2 kHz, a contribuição do substrato para a redução do TR diminui consideravelmente. O mesmo comportamento ocorre para a contribuição da configuração com planta, nesse caso a partir de 1 kHz.

Pode-se afirmar que o principal agente para redução do TR ao longo da faixa de frequência analisada são as bolsas geotêxteis, considerando que a superfície plastificada do compensado não se comporta como um bom material absorvedor. O comportamento obtido para frequências abaixo de 200 Hz não pode ser analisado com precisão, pois em tal região as características modais da câmara podem ter prejudicado os resultados.

Na Figura 5, as curvas do gráfico representam os coeficientes de absorção sonora em função de frequência, obtidos para as três configurações de

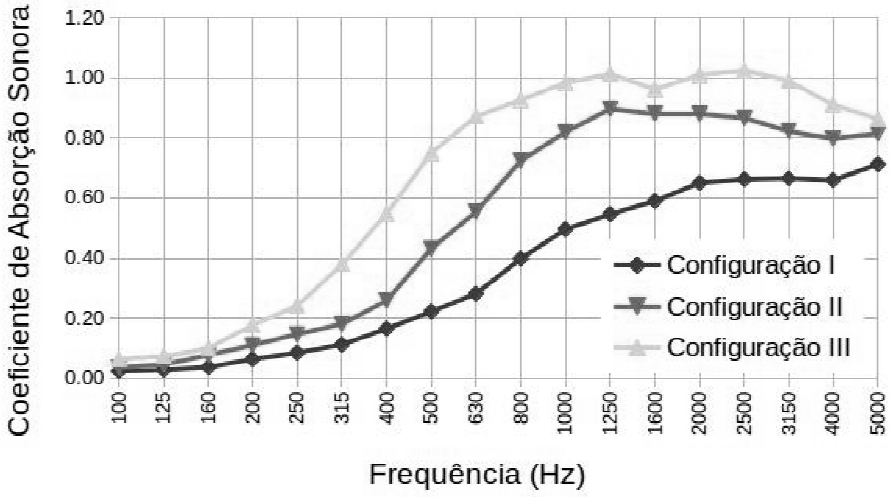
painéis analisadas. Nota-se que, como era esperado pela análise do gráfico da Figura 4, há um aumento do coeficiente de absorção em todas as frequências ao se inserir, respectivamente, o substrato e as plantas nas bolsas das placas base.

Figura 4 – Tempo de reverberação em função de frequência das diferentes configurações do sistema



Fonte: Os autores

Figura 5 – Coeficiente de absorção sonora em função de frequência das diferentes configurações

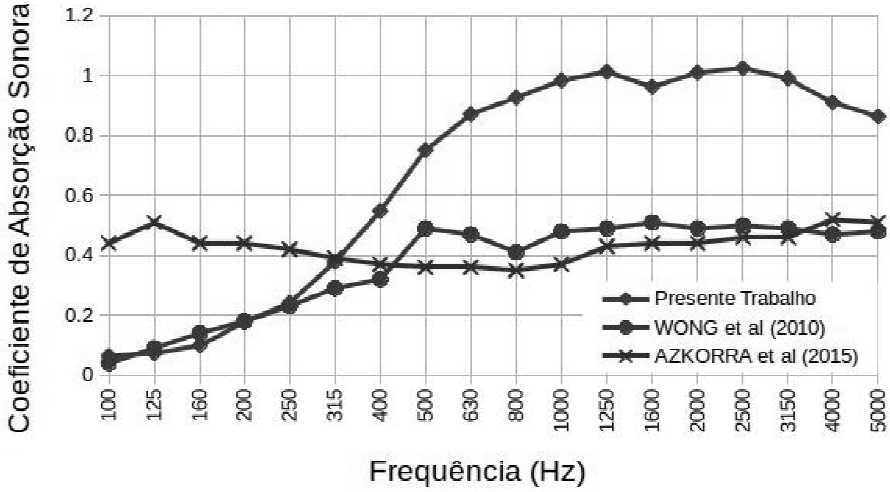


Fonte: Os autores

Para a Configuração III (painel completo), os coeficientes de absorção sonora obtidos demonstram que os painéis têm grande potencial para aplicação acústica, chegando a apresentar desempenho semelhante a materiais desenvolvidos especificamente para o condicionamento acústico de ambientes, principalmente acima de 500 Hz.

A figura 6 mostra um comparativo entre os resultados obtidos neste trabalho e os resultados obtidos em outros dois trabalhos semelhantes, cujos ensaios foram também realizados em câmara reverberante de acordo com a norma ISO 354 (2003).

Figura 6 – Comparativo entre os coeficientes de absorção sonora em função de frequência de sistemas de muro vivo obtidos em três diferentes trabalhos



Fonte: Os autores

No trabalho de Wong *et al* (2010), os painéis eram compostos por uma estrutura de madeira na qual eram inseridos vasos com as vegetações. Segundo os autores, o substrato foi o responsável pela eficácia dos painéis na absorção sonora de baixas frequências. Os autores ainda comentam que a presença da vegetação atua acusticamente nas altas frequências, porém como mecanismo de espalhamento, o que não surte efeito significativo na redução do tempo de reverberação. Por fim, os autores concluem que a área coberta pela vegetação influi na absorção sonora para frequências entre 250 e 1 kHz. Esta conclusão foi baseada comparando resultados obtidos com painéis com 43 %, 71 % e 100 % de cobertura vegetal. No gráfico foi mostrada a curva do coeficiente de absorção sonora para painéis 100% cobertos por vegetação. No trabalho de Azkorra *et al* (2015), os painéis eram compostos por módulos de plástico, nos quais o substrato e a planta eram cultivados. Os autores, ao comparar os resultados de diferentes trabalhos, concluem que painéis vegetais têm potencial como absorvedores sonoros, e que a variação entre as performances acústicas são consequências das diversas possibilidades de configurações dos painéis e dos materiais que os compõe.

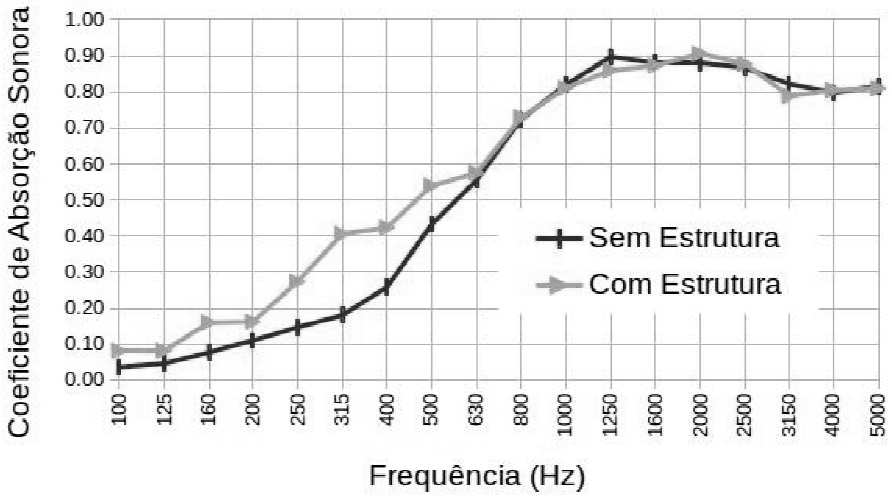
Duas situações despontam na comparação entre as curvas da Figura 6. A primeira é a diferença entre os coeficientes obtidos neste trabalho e nos outros dois, para frequências acima de 400 Hz. Há muitas variações entre as configurações, porém o uso das bolsas geotêxteis parece ser o principal fator responsável pela diferença: além do material apresentar por si só boa absorção sonora na faixa em questão (como pode ser constatado pela

análise do gráfico da Figura 5), ele não representa um barreira relativamente rígida para o substrato, tal qual o plástico e o vaso, como destacam Azkorra *et al* (2015).

A segunda situação refere-se ao melhor desempenho dos painéis utilizados no trabalho de Azkorra *et al* (2015) para frequências abaixo de 315 Hz. Os painéis utilizados em tal trabalho foram instalados sobre estruturas de madeira que, em relação à superfície de instalação (piso da câmara), criavam uma caixa de ar de 120 mm de profundidade. Essa configuração permite que as placas funcionem como painéis vibrantes cujo desempenho de absorção é eficiente em baixas frequências. Para os outros dois trabalhos os ensaios foram realizados com os painéis posicionados diretamente sobre as superfícies da câmara (piso para o presente trabalho e parede para o trabalho de Wong *et al* (2010)).

A comparação dos ensaios de absorção realizados com a Configuração II das placas aplicadas diretamente sobre o piso e sobre uma estrutura de madeira é representada no gráfico da Figura 7 e confirmam a hipótese de que tal disposição dos painéis influencia consideravelmente a absorção em baixas frequências. A análise do gráfico da Figura 7, mostra que o comportamento de absorção acústico da disposição da configuração II (placa base + bolsas geotêxteis + substrato) com os painéis apoiados diretamente sobre o chão da câmara tem coeficientes de absorção menores que os valores obtidos com os painéis apoiados sobre vigas de madeira (neste caso, criando uma caixa de ar de aproximadamente 20 mm) para frequência inferiores a 630 Hz. Assim, nota-se que a suspensão dos painéis proporcionou um aumento no coeficiente de absorção sonora na faixa entre 200 e 630 Hz (lembrando que frequências inferiores a 200 Hz não estão sob análise).

Figura 7– Comparativo entre o coeficiente de absorção sonora da configuração II apoiada sobre o chão e sobre os suportes de madeira



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento acústico de um sistema de painéis vegetais modulares. O sistema de placas modulares proposto apresentou potencial de absorção sonora. Os valores de coeficientes de absorção obtidos experimentalmente mostraram diferenças significativas de desempenho entre as configurações estudadas. Os resultados são promissores, pois o desempenho de absorção da placa concorre com materiais de absorção comerciais desenvolvidos especificamente para o condicionamento acústico. Os resultados mostraram que cada elemento do painel (bolsas geotêxteis, substrato e vegetação) contribui para o aumento da absorção sonora. Constatou-se ainda que o distanciamento dos painéis da superfície de aplicação pode aumentar a absorção em baixas frequências. Comparações com outros trabalhos permitiram concluir que a característica do espectro de absorção sonora depende significativamente da tipologia dos painéis, mesmo que o comportamento geral das plantas e dos substratos se assemelhe.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesp e a Capes pelo suporte financeiro concedido com bolsa, e aos técnicos do laboratório.

REFERÊNCIAS

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar energy**, v. 70, n. 3, 2001. p. 295–310.

AZKORRA *et al*. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. **Applied Acoustics,** 89, 2015. p. 46-56.

CAETANO, F. D. N. Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

COOK D, VAN HAVERBEKE D. F. Suburban noise control with plant materials and solid barriers. In: Proceedings of the conference on metropolitan physical environment. Use of vegetation, space and structures to improve amenities for people. **USDA forest service general technical report NE-25**; 1977.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. Portland: Timber Press, 2008.

HALL, P. **Cidades do Amanhã**. (P. D. CARVALHO, Trad.) São Paulo: Perspectiva, 2009.

HARVEY, D. **Condição Pós-Moderna: Uma Pesquisa sobre as Origens da Mudança Cultural**. São Paulo: Loyola, 2004.

HERZOG, T. R.; STREVEY, S. J. Contact With Nature, Sense of Humor, and Psychological Well-Being. **Environment and Behavior**, v. 40, n. 6, 2008. p. 747-776.

HOFFMANN, B. *et al*. Residence close to high traffic and prevalence of coronary heart disease**. European Heart Journal**, v. 27, n. 22, 2006. p. 2696–2702.

HOROSHENKOV, K. *et al*. Acoustic Properties of Low Growing Plants. **Journal of Acoustical Society of America**, v. 133, n. 5, 2013. p. 2554–2565.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 354 Acoustics -- Measurement of sound absorption in a reverberant room**. Geneva, 2003.

KÖHLER, M. Green facades – a view back and some visions. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, 2008. p. 423-436.

NOWAK, D. J. Institutionalizing urban forestry as a biotechnology to improve environmental quality. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 5, 2006, p. 93-100.

PAZ, E. C. DA; FERREIRA, A. M. C.; ZANNIN, P. H. T. Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 3, 2005. p. 467–472.

PERINI, K.; MAGLIOCCO, A. The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces. **International Journal of Biology**, v. 4, n. 2, 2012. p. 79.

RIBEIRO, G. L.; BARROS, F. L. A Corrida por Paisagens Autênticas: Turismo, Meio Ambiente e Subjetividade no Mundo Contemporâneo. In: C. M. SERRANO, & H. T. (orgs.), **Viagens à Natureza: Turismo, Cultura e Ambiente.** Campinas: Papirus, 1997. p. 27-42.

ROSEN, S.; OLIN, P. Hearing Loss and Coronary Heart Disease. **Archives of Otolaryngology**, 1965. p. 82-236.

ULRICH, R. S. Human responses to vegetation and landscapes. **Landscape and urban planning**, v. 13, 1986. p. 29–44.

VAN RENTERGHEM, T. et al. Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. **Journal of Sound and Vibration**, v. 331, 2012. p. 2404-2425.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe.** Copenhagen, Regional Office for Europe, 2011.

WONG *et al*. Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, 45, 2010. p. 411-420.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS[1]

TRIANA, Maria Andrea (1); LAMBERTS, Roberto (2); SASSI, Paola (3)

(1) UFSC, e-mail: andrea@labeee.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br;
(3) Oxford Brookes University, e-mail: psassi @brookes.ac.uk

RESUMO

O objetivo deste artigo é realizar uma investigação inicial considerando impactos no desempenho termo energético em longo prazo frente às mudanças climáticas de projetos que estão sendo desenvolvidos para o setor de habitação social no país. Um projeto representativo estimado com base no levantamento de projetos nacionais foi usado como estudo de caso nas cidades de São Paulo e Salvador. A avaliação usou simulação termo energética considerando arquivos climáticos atuais e de previsão futura. Foi realizada uma caracterização de usos finais e padrão de uso de habitações de interesse social com base em pesquisas nacionais. Os resultados avaliados foram comparados usando-se indicadores de consumo de energia, emissões de carbono e conforto térmico do usuário e mostraram aumento acentuado com relação aos indicadores de resfriamento, refrigeração e desconforto por calor para os climas futuros.

Palavras-chave: Habitação de interesse social. Mudanças climáticas. Desempenho térmo energético.

ABSTRACT

This article seeks to carry out an initial investigation considering impacts on thermal and energy long-term performance of projects developed for national programs of social housing in view of climate change. A representative project estimated based on a survey of national projects was used as case study in São Paulo and Salvador. The evaluation used thermal and energy simulation considering current and future climate scenarios. It was conducted a characterization of end uses and usage pattern of social housing based on national surveys. Results were compared using as indicators, energy consumption, carbon emissions and user thermal comfort and showed an increase with respect to cooling indicators and discomfort for heat in future climates.

***Keywords**: Social housing. Climate change. Thermal and energy performance.*

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia do setor residencial no Brasil apresenta tendência de crescimento conforme indicado pelo Plano Nacional de Energia 2030. É hoje responsável por 9,3% do consumo final por setor e por 24,8% dos 49,9% correspondentes ao consumo de energia elétrica do setor de edificações

[1] TRIANA, Maria Andrea**;** LAMBERTS, Roberto; SASSI, Paola. Desempenho de habitações de interesse socialfrente às mudanças climáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

(Brasil e EPE, 2015a). Com relação às emissões de CO_2 embora representa a maior emissão dentro das edificações (3,7%) (Brasil e EPE, 2015), não apresenta a mesma importância observada em outros países, por conta da matriz energética ainda ter maior parcela com base em renováveis. Contudo, a capacidade instalada da geração térmica no Brasil teve aumento de 41,2% considerando 2006 até 2010(Brasil e EPE, 2013).

O déficit habitacional brasileiro estimado em 5,8 milhões de unidades, tem a maior parcela em habitações urbanas (85,7%), população até três salários mínimos (82,5%) e regiões Sudeste e Nordeste (Fundação João Pinheiro, 2015). O Programa Minha Casa, Minha Vida proposto para aliviar o déficit está entrando na terceira fase. Na segunda fase foi estabelecida uma divisão para alocação de recursos considerando-se três faixas de renda. Projetos para população de menor renda -Faixa 1, são usualmente desenvolvidos pelas Companhias de Habitação e Agentes Públicos sendo um dos critérios de priorização o menor custo da habitação.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estima uma vida útil para edificações residenciais de mínimo 50 anos. Para Williams et al.(2012) mudanças no clima podem influenciar nas demandas energéticas para aquecimento, refrigeração e emissões de gases de efeito estufa (GEE) das edificações. Além do conforto do usuário. De acordo com IPCC (2014), o aumento dos GEE na atmosfera devido à ação humana é uma das principais causas das mudanças climáticas e continuam em aumento, causando impactos que incluem estresse pelo aumento das temperaturas e riscos associados.

Para análise dos impactos, o IPCC estabelece cenários futuros de possível desenvolvimento, a partir dos quais são avaliadas alternativas para mitigação ou adaptação, porém têm alto grau de incerteza. Em 1996 foi desenvolvido um conjunto de cenário de emissões cobrindo diferentes alternativas de evolução demográfica, econômica e tecnológica (UNEP, WMO e IPCC, 2000) sendo usados no terceiro e quarto relatório do IPCC. No quinto e último relatório -AR5 foi adotado um novo conjunto de cenários produzidos pela comunidade científica que representam caminhos representativos de futuros climáticos (RCPs) (IPCC, 2016). Os cenários A2 e A1F1 do relatório 3 e 4, e o RCP 8,5 do relatório 5 são considerados alta emissão.

As habitações de interesse social representam um setor importante na atualidade do país, em especial pela quantidade e possível aumento da demanda de energia. Assim, deveriam poder garantir um desempenho adequado com conforto térmico do usuário ao longo do tempo para evitar gastos futuros aos usuários e país. Desta forma este artigo busca fazer uma investigação inicial considerando impactos no desempenho termo energético em longo prazo frente às mudanças climáticas nos projetos desenvolvidos para os programas nacionais de habitação social. A análise foi realizada nas cidades de São Paulo (SP) e Salvador.

2 MÉTODO

O método previu as seguintes etapas:

- Preparação de arquivos climáticos futuros;
- Levantamento dos dados para simulação do projeto representativo na Faixa 1;
- Avaliação dos impactos das mudanças climáticas com indicadores para consumo energético, conforto do usuário e emissões de CO_2 na fase de uso.

2.1 Cenários climáticos futuros

Considerando a falta e dificuldade no acesso a dados regionais de clima futuro foi adotado para geração de arquivos de climas futuros, a ferramenta de livre acesso *CCWorldWeatherGen* na versão 1,8 (JENTSCH et al., 2013). Trabalhos nacionais que usaram esta ferramenta incluem Casagrande (2013). A ferramenta permite uso de arquivos TMY e TRY e coloca como cenário base para previsões do IPCC arquivos dos anos 1961 a 1990. Foram usados arquivos no formato que se encontra disponível para SP e Salvador, sendo TRY que representavam o período de 1961-1990 (LABEEE, 2015) considerados como cenário atual. Os mesmos foram convertidos para arquivos de climas representativos dos anos 2020 e 2050. 2020 representa o período de 2011 a 2040, enquanto 2050 representa o período de 2041 a 2070, com isto embora o ano de 2011 esteja poucos anos no passado quando considerado o ano atual, estão sendo representados de forma aproximada 50 anos da vida útil da edificação.

O *CCWorldWeatherGen* possibilita conversão de arquivos para clima futuro de qualquer local assumindo dados globais do modelo HadCM3 no cenário A2. O IPCC considera que este cenário mostra tendência de desenvolvimento atual. Mesmo não sendo usados dados regionais ou dos cenários do último relatório, os resultados obtidos com a ferramenta consideram-se mostrando uma tendência no clima futuro conforme colocado por Jentsch et al.(2013).

2.2 Dados para simulação do projeto

O estudo de caso é um projeto representativo de habitação unifamiliar-Faixa 1 definido através da análise de 11 projetos usados no PMCMV por Companhias de Habitação e Agentes Públicos nacionais cujas características e parâmetros para definição encontram-se descritos em Triana, Lamberts e Sassi (2015). O modelo para simulação termo energética no programa *EnergyPlus* versão 8.2 incluiu quatro zonas térmicas: estar/cozinha, quarto 1, quarto 2 e banheiro, todos com pé direito de 2,5m. O ático foi modelado também como zona (Figura 1). A Tabela 1 mostra características da envoltória e a Tabela 2 as propriedades térmicas dos materiais tomados da NBR15220 Parte 2 (ABNT, 2005).

Figura 1 – Projeto representativo

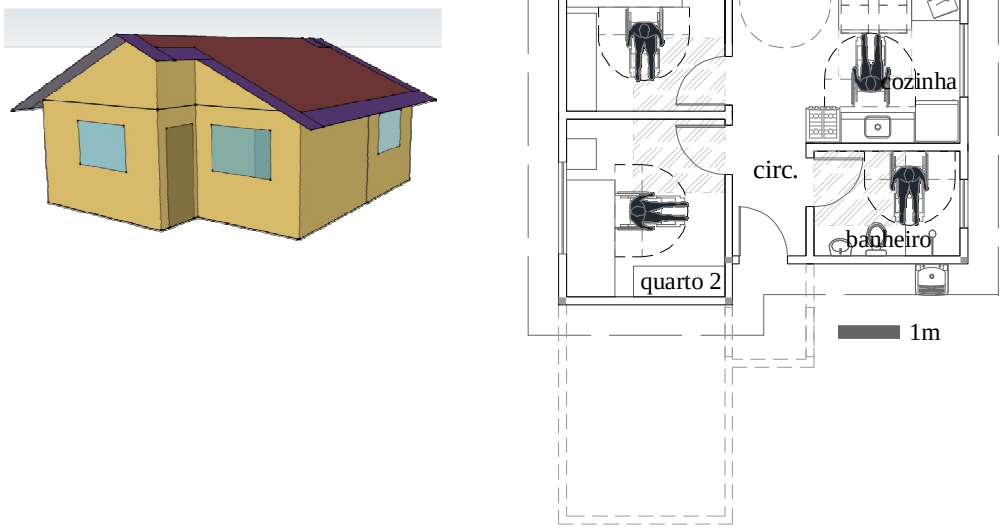


Tabela 1 - Características do projeto representativo

Construção	**Descrição**	**U [W/m 2.K]**	**C [kJ/m 2 .K]**	**a**
Paredes	13cm (tijolo cerâmico 6 furos 9x14x19 com 2cm de reboco interno e externo	2.43	132	0.6
Cobertura	2 aguas – Telha cerâmica, ático e forro de PVC. Inclinação: 23.6°	1.75	21.4	0.7
Área dos ambientes	Área útil total habitação: 39.75m^2; Estar/Cozinha= 17.83m^2; Quarto 1= 8.07m^2; Quarto 2=7.54m^2; Circulação= 2.21m^2			
Janelas	-Estar e quartos: 1,50m^2–2 folhas de correr, Fator de ventilação (FV)=0.45; Fator de iluminação (FI)=0.8; Cozinha: 1,20m^2–2 folhas de correr, FV=0.45; FI=0.80; Banheiro:0.48 m^2–Basculante com esquadria, FV=0.90; FI=0.65 . Todas sem sombreamento			
Portas	5 portas de 0.80x2,10m sendo 2 externas metálicas e 3 internas em madeira			
Beiral	50cm			
Pé direito	2.50 m			

Tabela 2 - Propriedades dos materiais nas simulações

Material	Espessura equivalente [cm]	Condutividade [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Calor específico [J/kgK]	Absortância
Tijolo 6 furos 9x14x19cm	2,07*	0,90	1427,57*	920	0,7
Junta argamassa	1,30	1,15	1950	1000	0,7
Reboco	2,00	1,15	1950	1000	0,6
Piso cerâmica	1,00	1,05	1900	920	0,4
Argamassa regularização piso	2,00	1,15	1950	1000	0,7
Laje concreto piso	5,00	1,75	2300	1000	0,7
Brita piso	3,00	0,70	1250	800	0,8
Telha cerâmica	1,00	1,05	1900	920	0,6
Forro PVC	2,83*	0,20	96,61*	960	0,3
Porta madeira	0,50	0,23	675	1340	0,7
Porta metálica (alumínio)	0,20	55	7800	460	0,6

Câmara de ar	Resistência térmica [m²K/W]
Câmara de ar superfície de alta emissividade, espessura >5cm - fluxo horizontal	0,17
Câmara de ar superfície de alta emissividade, espessura 2 a 5cm - fluxo horizontal (usada em parede)	0,16
Câmara de ar superfície de alta emissividade, espessura 1 a 2cm - fluxo horizontal (usada em portas)	0,14

*Valores de densidade e espessura equivalente para simulação calculados conforme Ordenes et al. (2003)

2.3 Outros dados para simulação

Para definição das cargas internas foram analisadas referencias nacionais com enfoque na habitação e, quando disponível na habitação de interesse social: Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo-SINPHA (BRASIL, ELETROBRÁS, PROCEL, 2007) considerando os dados de 1 a 3 salários mínimos de renda e tipologia casa nas regiões Sudeste e Nordeste. Também da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios-PNAD (IBGE, 2013), Censo de 2010, Etiquetagem de Energia e dados da Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Embora acredite-se que os usos finais de equipamentos e iluminação podem mudar durante a vida útil da edificação, foram mantidos constantes para verificar a influência da envoltória. Igualmente com base na pesquisa de Ren, Chen e Wang (2011) que observou as cargas internas não mostrando muita sensibilidade às questões de aquecimento global. Além disso, por questões de simplificação do estudo e o foco estar na envoltória, não foi considerado consumo de energia em *stand by*, energia para cocção ou aquecimento de água. Na mesma linha e embora reconhecendo da importância do usuário no desempenho da edificação, o comportamento e número de usuários foram mantidos constantes para todos os cenários climáticos, considerando

atividade metabólica de 108W para o estar e banheiro, e 81W para os quartos.

As simulações foram realizadas com duas formas de operação baseadas no método de avaliação por simulação do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Energia: uso exclusivo de ventilação natural e uso de condicionamento ambiental (AVAC) e ventilação natural. Porém com algumas diferenças em relação à Etiqueta que são ressaltadas. Para ventilação natural, definida como acontecendo 24 horas ao longo do ano, foi usado o objeto *airflow network* do *Energy Plus* com controle nas zonas por temperatura considerando *setpoint* de 20°C. Já a simulação com ar condicionado, usou o objeto *Packaged Terminal Heat Pump* do *Energy Plus*, sendo um recurso para verificar consumo provável caso seja usado o condicionamento ambiental. Para isto, modelou-se para os quartos e o estar de forma diferente do método utilizado na Etiqueta de Energia, que só considera os quartos. O sistema foi ligado a um termostato. Outras diferenças relacionadas ao método utilizado na Etiqueta de Energia, são os limites de aquecimento e resfriamento. Para aquecimento adotou-se um limite constante em 19,5°C (DE VECCHI et al., 2014). Para resfriamento, considerou 25°C no período entre a meia noite até às 07h e 24°C no período após as 07h até a meia noite (SORGATO, 2015). O uso do AVAC segue a ocupação dos ambientes. O coeficiente de desempenho do sistema de refrigeração e aquecimento de 3,24 W/W, manteve-se constante em todos os cenários, já que o foco é a envoltória. Nesta simulação, a ventilação natural foi usada no período oposto ao uso do AVAC.

Para tipologias térreas no Brasil a interação entre temperatura do solo e temperatura interna da habitação é muito importante. A ferramenta usada para conversão dos arquivos futuros proporcionou dados previstos de temperatura do solo sendo usado no *Energy Plus* o objeto integrado através do *Ground Domain Slab*.

2.4 Indicadores: consumo energético, impacto ambiental e conforto térmico, na fase de uso da edificação

A simulação termo energética com AVAC forneceu dados de consumo previsto para condicionamento ambiental expressos em kWh/ano para a habitação. Para uma comparação direta entre os três cenários climáticos estabelecidos, foi decidido usar um fator de emissões de previsão futura, desta forma, foi usado o fator previsto para a eletricidade pelo PNE 2030 considerando o fator médio entre os quatro cenários propostos no documento, sendo 0,156 $kgCO_2/kWh$.

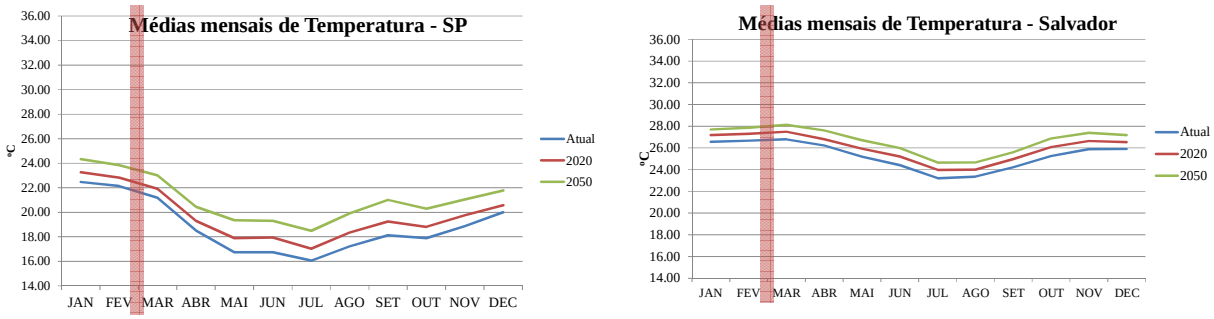
Para avaliação de conforto térmico com uso exclusivo de ventilação natural foram usados dois indicadores. Horas de desconforto foram avaliadas com o método adaptativo da ASHRAE 55 (2013) que considera a temperatura operativa do ambiente com relação à temperatura externa predominante ($Tpma_{(out)}$) para horas ocupadas. Com base no estudo de De Vecchi et al. (2014) foi adotado o uso das médias mensais de temperatura para o cálculo

da $Tpma_{(out)}$ e temperatura fixa em 19,5°C para horas de desconforto por frio. Para desconforto por calor considerou-se aceitabilidade de 80%. Outro indicador usado foi graus hora, que considerou o limite de 26°C para resfriamento e19,5°C para aquecimento. Ambos estimados de forma anual com relação à temperatura operativa dos principais ambientes de ocupação. Por fim, foi realizada uma ponderação que considerou as áreas dos ambientes de forma obter-se um único valor para cada indicador.

3 RESULTADOS

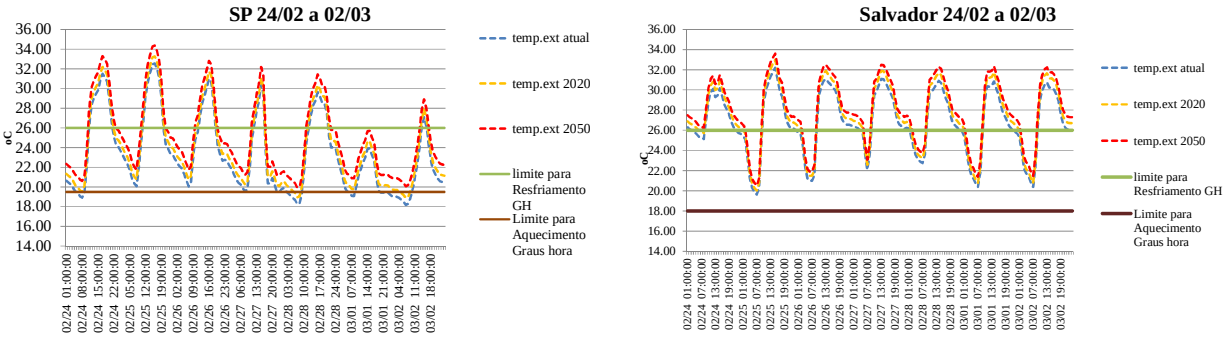
Os resultados mostraram previsão de aumento futuro nas temperaturas médias em SP em 2°C e até 3°C. Em Salvador as mudanças são mais constantes ao longo do ano com aumento de temperaturas médias ao redor de 2°C (Figura 2). Porém, olhando mais em detalhe observa-se na semana entre 24 de fevereiro a 02 de março, a temperatura externa chegando a picos de temperatura ao redor dos 35°C para o cenário de 2050 em SP e ao redor dos 34°C para Salvador (Figura 3).

Figura 2 - Temperaturas médias mensais SP(a) e Salvador(b)-Três cenários climáticos. Faixa em vermelho mostra semana em destaque



(a) (b)

Figura 3 - Temperaturas horárias 24/02 a 02/03 - SP(a) e Salvador(b)



(a) (b)

Dados do PNAD mostraram tendências como envelhecimento da população, diminuição do número de habitantes por habitação, diversas configurações das famílias e posses de equipamentos principais: televisão, computador e máquina de lavar roupas.

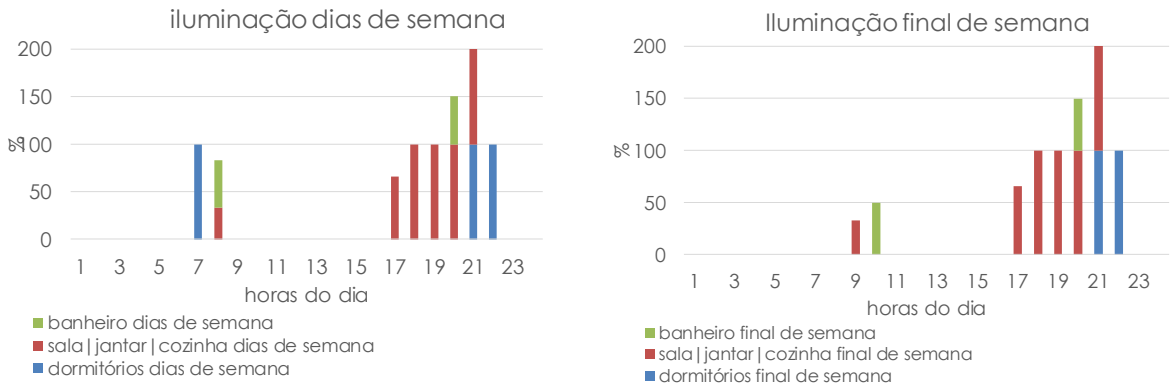
No SINPHA, os resultados mostraram diferenças significativas nas duas regiões nos usos finais de ventilador e circulador, iluminação e água quente, assim como na quantidade média de pessoas por habitação. Contudo, acredita-se que a futuro as diferenças tendam a desaparecer na busca por habitações mais confortáveis e aumento da renda familiar. Assim, foi assumido a mesma posse, uso de equipamentos e iluminação para ambas regiões. A Tabela 3 mostra o consumo elétrico estimado para o projeto representativo sendo 136,65 kWh/mês, sem considerar uso do condicionamento de ar. Este consumo está em acordo com pesquisas nacionais como Fedrigo et al. (2009) e Tavares (2006).

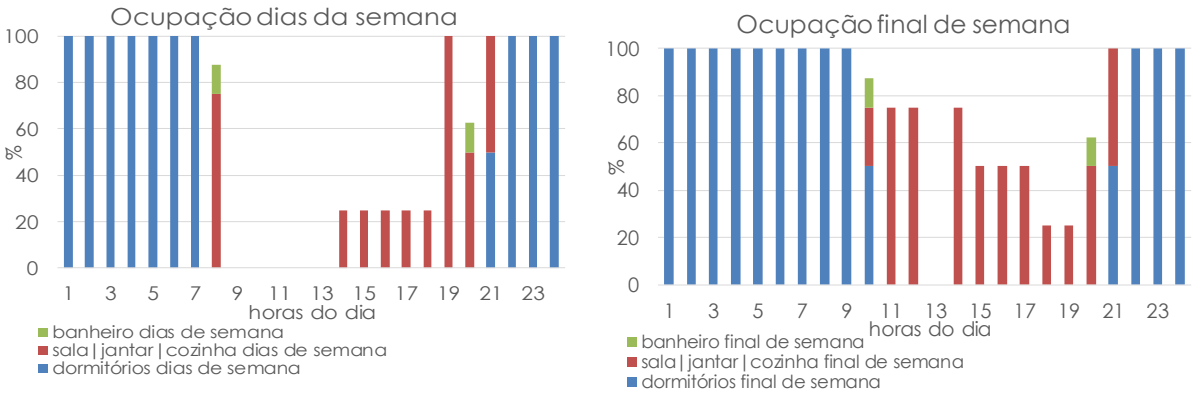
Tabela 3 - Consumo estimado energia elétrica mensal

Usos finais	**Consumo (kWh/mês)**	**Potência (kW)**	**Uso (horas/dia)**	**Dias no mês**	**Uso (horas/mês)**
Iluminação	9,42				
Geladeira	24,0	0,0333	24	30	
Chuveiro elétrico	64,00	4,025	0,53	30	
Televisão	12,75	0,085	5	30	
Aparelho som	4,8	0,08	3	20	
Computador	8,91	0,135	3	22	
Ferro	10	1			10
Máquina lavar roupas	2,8	0,28			10
Consumo total	136,65				

Padrões de ocupação foram tomados da Etiqueta Nacional de Energia, e PNAD. Para o Nordeste as referências indicaram tendência de quatro pessoas por habitação enquanto no Sudeste três. Entretanto, foram considerados quatro usuários para comparações mais diretas nas duas cidades sendo 4 no estar, dois nos quartos e 1 no banheiro. Padrões de iluminação e ocupação para ambas regiões são mostrados na Figura 4.

Figura 4 - Padrões iluminação e ocupação para ambas regiões

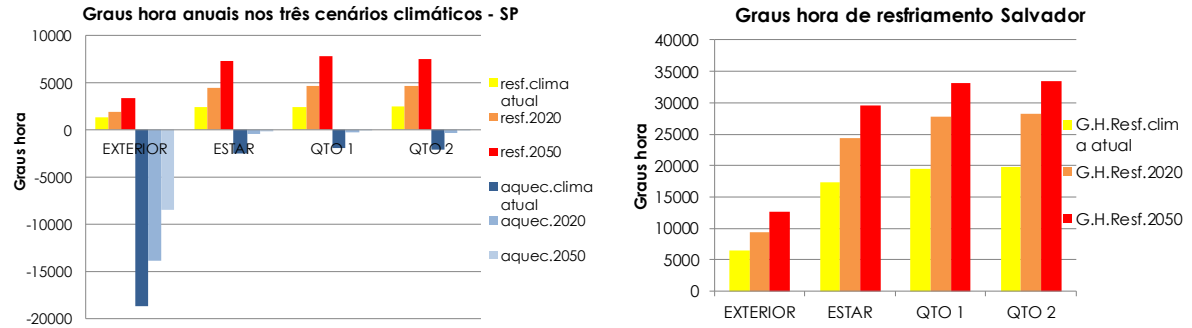




Para orientação da habitação adotou-se a que apresentou pior desempenho (Figura 1). Como o projeto está servindo de base para investigações, melhorias observadas nessa orientação tenderão a incrementar-se em outras orientações. Na operação com uso exclusivo de ventilação natural em SP, o quarto 2 apresentou mais graus hora de resfriamento no cenário climático atual, enquanto para 2020 e 2050 esta posição é ocupada pelo quarto 1, porém com pouco diferença. Já para Salvador o quarto 2 apresentou o desempenho mais baixo entre os ambientes nos cenários climáticos (Figura 5).

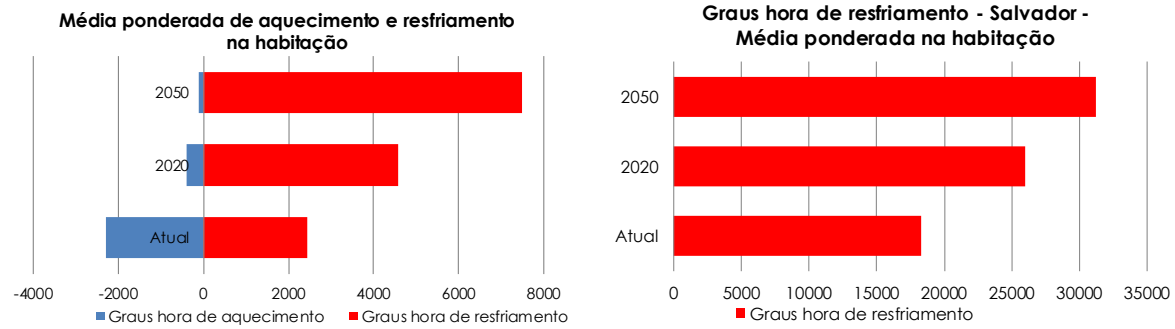
Considerando a média ponderada dos ambientes de maior permanência e cenário climático atual, observa-se que em SP os graus hora de resfriamento aumentam ao redor de 300% para 2050 passando de 2.447 a 7.491. Em contrapartida graus hora de aquecimento têm redução de 95% no mesmo período. Em Salvador o aumento na média ponderada de graus hora entre o clima atual e 2050 foi aproximadamente 70% (Figura 6)

Figura 5 - Graus hora resfriamento e aquecimento SP(a) e Salvador(b) por ambiente



a) b)

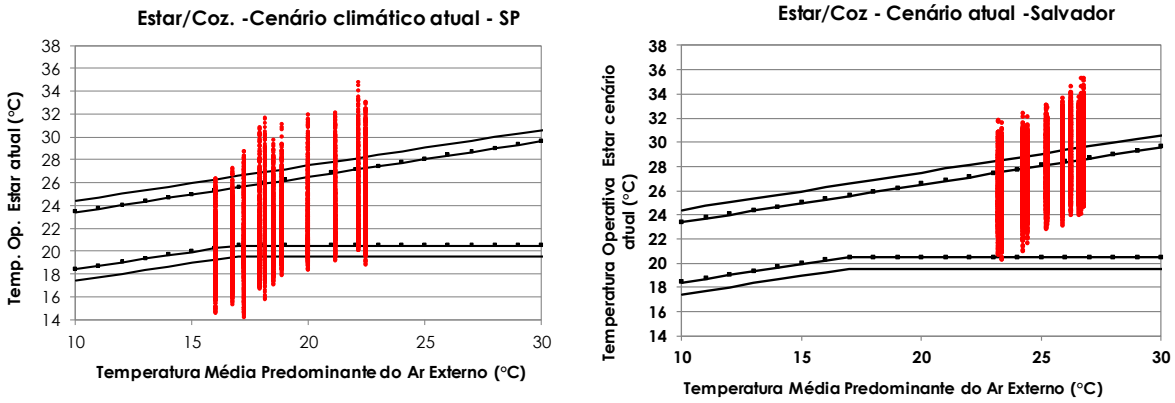
Figura 6 - Média ponderada graus hora para resfriamento e aquecimento SP(a) e Salvador(b)



a) b)

A Figura 7 mostra a temperatura operativa anual do estar em função da (Tpma$_{(out)}$) nas duas cidades. A linha superior representa o limite superior para horas de desconforto por calor com 80% de aceitabilidade, enquanto a linha inferior representa o limite de desconforto por frio em 19,5°C. Mesmo com aumento da Tpma$_{(out)}$ nos diferentes cenários, a porcentagem de horas ocupadas com desconforto por calor aumenta, passando em SP para a habitação de 9,4% no cenário atual a 21,6% em 2050. Já horas de desconforto por frio mostram redução passando 16,5% no cenário atual para 1,5% em 2050. Para Salvador, considerando os mesmos parâmetros de avaliação, a porcentagem de desconforto por calor inicial é maior, sendo estimada ao redor de 32% das horas. Já, para 2050 passa ser 51% ou seja, aumento de 59% (Figura 8).

Figura 7. Temperatura operativa do estar anual com relação à Tpma$_{(out)}$ para SP cenário atual(a), 2020(c) 2050(e) e Salvador cenário atual(b), 2020(d) e 2050(f)



a) b)

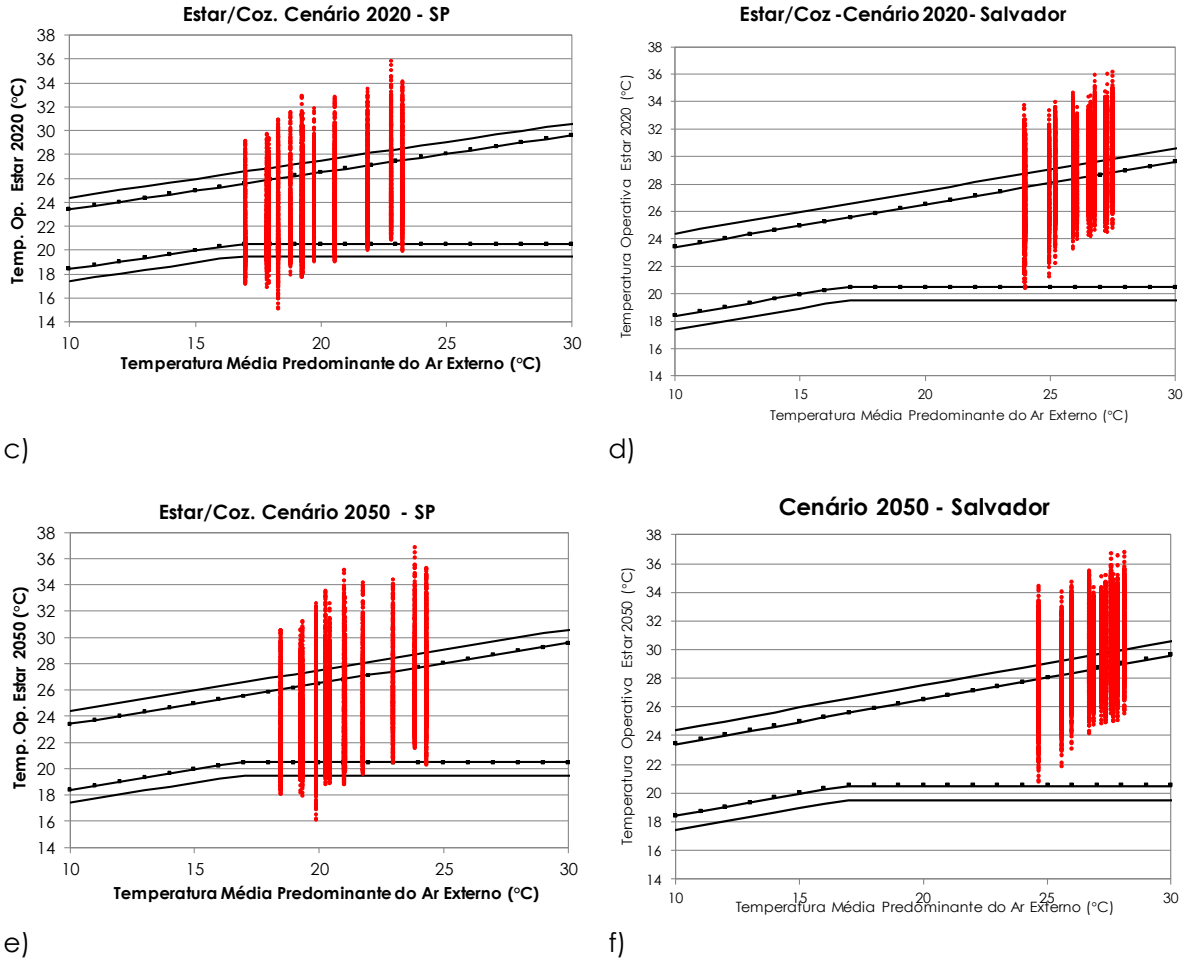
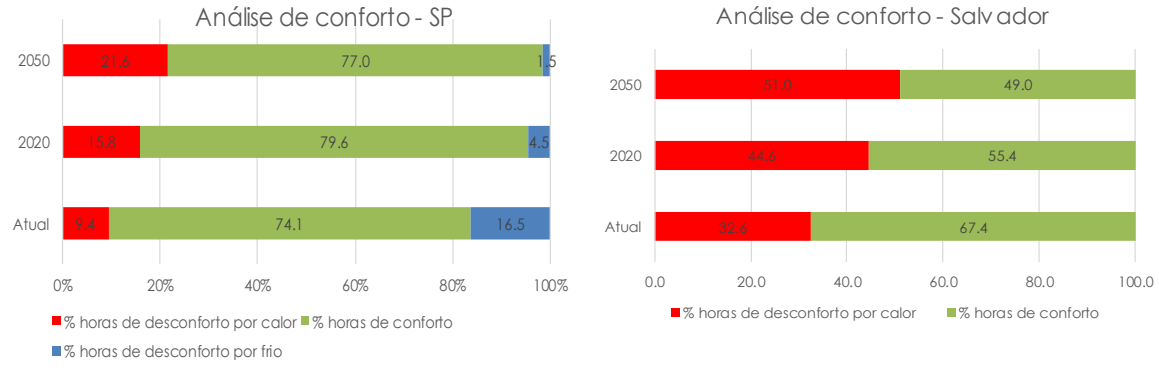


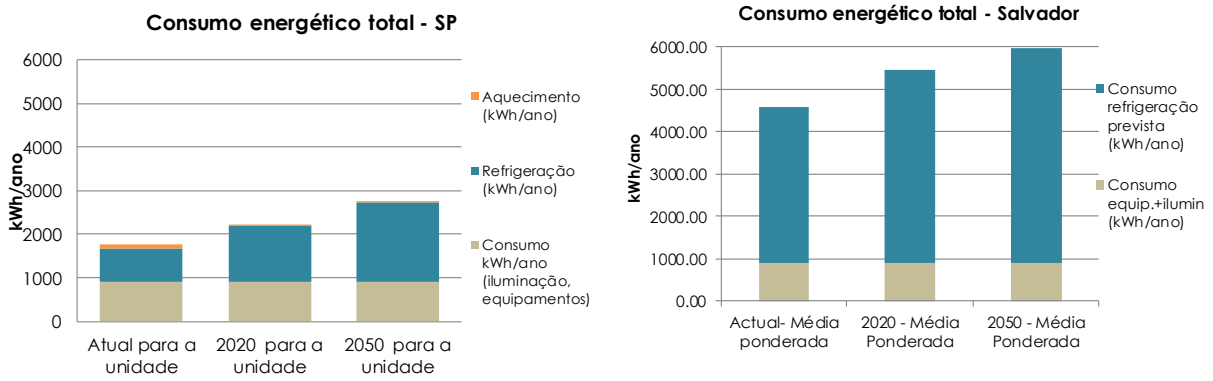
Figura 8 - Porcentagens horas de desconforto e conforto anuais considerando horas ocupadas e média ponderada por ambientes para a unidade em SP(a) e Salvador(b)



Em SP, o consumo energético da edificação mostrou predominância para refrigeração em todos os cenários, com tendência de aumento na previsão futura, passando de 760kWh/ano no clima atual para 1.825kWh/ano em 2050. Em contrapartida o consumo para aquecimento foi reduzido de forma drástica, passando de 87kWh/ano para 4kWh/ano. O consumo total da habitação (equipamentos, iluminação e AVAC) passaria de 1.763kWh/ano

no cenário atual para 2.205kWh/ano em 2020 e 2.745kWh/ano em 2050, ou uma média mensal estimada de 147kWh/mês, 184kWh/mês e 229kWh/mês respectivamente desconsiderando-se aquecimento de água. Em Salvador observa-se uma tendência diferente, onde o consumo da refrigeração prevista representa no cenário atual em torno de cinco vezes o consumo de iluminação e equipamentos. Entretanto a diferencia no aumento entre os cenários é menor do que a observada em SP. O consumo previsto com refrigeração é 3.675kWh/ano para o cenário atual e 5.043kWh/ano para 2050, aumento de aproximadamente 37%. No consumo total incluindo equipamentos e iluminação os resultados são 4.591kWh/ano no cenário atual e 5.959kWh/ano para 2050 ou seja, uma média mensal de 382kWh/mês no cenário atual para 496kWh/mês em 2050 (Figura 9).

Figura 9 - Consumo energético previsto total anual SP(a) e Salvador(b)

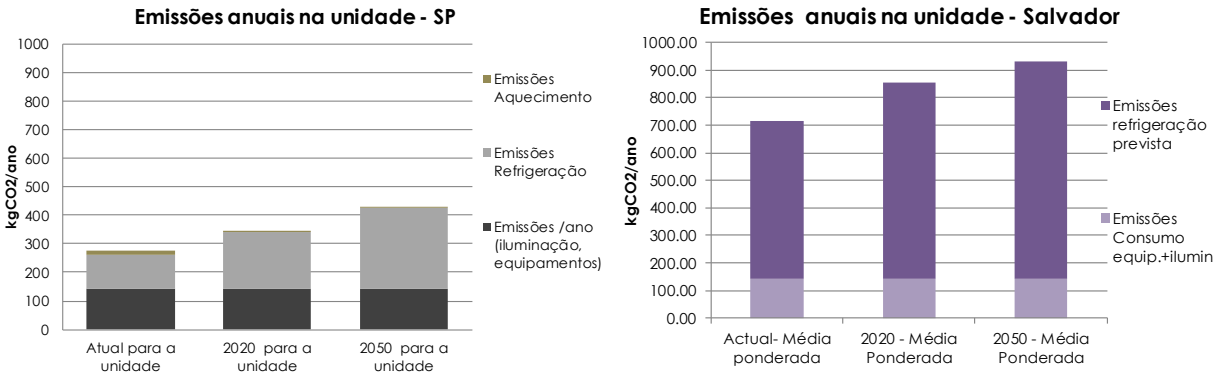


a) b)

Como esperado, as emissões de CO_2 na operação acompanham a tendência no consumo para condicionamento ambiental nas duas cidades, sendo maiores nos cenários futuros pela refrigeração, enquanto praticamente desaparecem para 2050 pelo aquecimento em SP. Para essa cidade, emissões para refrigeração na habitação passariam de 118kgCO_2/ano no cenário atual para 284kgCO_2/ano em 2050. Em Salvador as emissões atingem valores de 573kgCO_2/ano no cenário atual até 786kgCO_2/ano em 2050 (Figura 10).

Finalmente, as emissões para iluminação e equipamentos no cenário atual nas duas cidades são de 142,91kgCO_2/ano ou 3,17kgCO_2/m^2/ano. O estudo de Caldas et al. (2015) com habitação de interesse social em Brasília mostrou valores de emissão para equipamentos e eletricidade incluindo chuveiro elétrico de 148kgCO_2/m^2 para 50 anos, ou seja 2,97kgCO_2/m^2 anuais, entretanto o fator de emissão adotado por eles é menor com base no Balanço Energético Nacional de 2014, portanto o valor obtido no cenário atual considera-se próximo do estimado pelo autores.

Figura 10. Emissões totais anuais previstas na unidade em SP(a) e Salvador(b)



a) b)

4 CONCLUSÕES

Considerando cenários de mudanças climáticas observa-se tendência de aquecimento nos climas de SP e Salvador, mostrando-se também aumento acentuado nos indicadores com relação ao resfriamento/refrigeração. Proporcionalmente o aumento observado foi maior para SP, sendo em valores absolutos maior em Salvador. Contudo, em SP observa-se um aumento nas horas totais de conforto nos climas futuros com relação à situação atual por conta do desconforto por frio. Porém, é ainda muito discutível o limite dos 19,5°C para aquecimento em especial em residências, pois de forma geral observa-se maior facilidade de adaptação ao frio no Brasil. Este é um tema que precisa maior pesquisa no país. Observa-se que para casas com ventilação natural, forma de operação predominante no Brasil, o problema futuro será maior adaptação ao aumento da temperatura. Se comparados os resultados com limites da etiqueta de energia, o projeto representativo já apresenta baixo desempenho, o qual tende a piorar nas previsões futuras, levantando-se a importância de considerar nos projetos estratégias de eficiência energética e baixa emissão de carbono que proporcionem maior conforto ao usuário na vida útil da edificação, o que será abordado em pesquisa futura. Finalmente e devido à incerteza associada aos cenários climáticos, acredita-se que os resultados devem ser usados como tendência e não como valores absolutos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico–Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 -2**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. RJ, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1. RJ,2013.

ASHRAE. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2013.

BRASIL; EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2015**. RJ,2015.

_____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**. 2013.

BRASIL; ELETROBRÁS; PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005. 2007

CALDAS, L.;SPOSTO, R. M.; PAULSEN, J.; SANTOS FILHO, V. Emissões de CO_2 no ciclo de vida de habitações de interesse social : Estudo de caso para O DF-Brasil. In SIBRAGEC ELAGEC. **Anais...**São Carlos, 2015. p. 477–484.

CASAGRANDE, B. G. Cenários climáticos futuros : diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético. **Dissertação.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

DE VECCHI, R.; SORGATO, M. J.; PACHECO, M.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. Application of the adaptive model proposed by ASHRAE 55 in the Brazilian climate context : Raising some issues. In 8th Windsor Conference, Vol. 15251. **Anais...**Windsor, 2014.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F.; GHISI, E. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**, 2009.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO.**Déficit habitacional no Brasil 2013**: Resultados preliminares nota técnica. Belo Horizonte, 2015.

IBGE. Síntese Indicadores Sociais 2013. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. 2013.

IPCC. **Climate Change 2014**:Synthesis ReportClimate Change 2014. Geneva, 2014.

IPCC. Data Distribution Centre**. Site Institucional**, 2016.

JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B.; BOURIKAS, L.; BAHAJ, A. S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. **Renewable Energy**, 55, 2013.p.514–524.

LABEEE. **Site institucional**. 2015.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDoe-3.1**.LabEEE, UFSC. Florianópolis, 2003.

REN, Z.; CHEN, Z.; WANG, X. Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings**. Building and Environment**, 46(11), 2011. p.2398–2412.

SORGATO, M. J. A Influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais. **Tese**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina UFSC. 2015.

TAVARES, S. F. Metodologia de análise de ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. **Tese**. Florianópolis, UFSC, 2006.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, 87. December 2014, 2015.p.524–541.

UNEP; WMO; IPCC. **IPCC Special Report**:Emissions Scenarios. 2000.

WILLIAMS, D.; ELGHALI, L.; WHEELER, R., FRANCE, C. Climate change influence on building lifecycle greenhouse gas emissions:Case study of a UK mixed-use development. **Energy and Buildings**, 48, 2012.p.112–126.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO DE ABRIGOS ALTERNATIVOS PARA TERMO-HIGRÔMETROS[1]

VALIN JR, Marcos de Oliveira (1); RIBEIRO, Karyn Ferreira Antunes (2); DE PAULA, Diana Carolina Jesus (3); SANTOS, Flávia Maria de Moura (4); OLIVEIRA, Angela Santana de (5); NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque (6); NOGUEIRA, José de Souza (7).

(1) UFMT / IFMT, e-mail: marcos.valin@cba.ifmt.edu.br; (2) UFMT / IFMT, e-mail: karyn.ribeiro@cba.ifmt.edu.br; (3) UFMT / UNIVAG, e-mail: arqdiana.paula@gmail.com; (4) UFMT, e-mail: flavia_mms@hotmail.com; (5) IFMT, e-mail: angela.oliveira@cba.ifmt.edu.br; (6) UFMT, e-mail: mcjanp@gmail.com; (7) UFMT, e-mail: nogueira@ufmt.br

RESUMO

Para a qualidade dos estudos microclimáticos é substancial a uniformização dos instrumentos utilizados. Em virtude de necessidades especificas muitos sistemas alternativos aos padrões são desenvolvidos. Este trabalho apresenta o resultado final de uma dissertação, que teve por objetivo testar abrigos alternativos para termo-higrômetros. Foram abrangidos os períodos quente-úmido e quente-seco de 2015, na região metropolitana de Cuiabá - MT. Com os dados coletados procedeu-se a análise de variância multivariada, testes dos efeitos entre grupos, comparações múltiplas e analises das médias horárias. Com base no desempenho dos abrigos alternativos, tem-se que os abrigos fabricados com tubo de PVC na vertical e com pote de sorvete não se demonstram eficientes, principalmente se utilizados durante o dia. Verificou-se que quanto maior a intensidade de radiação solar global e menor a velocidade externa do ar, maiores são as diferenças da temperatura do ar. Quanto aos demais tipos testados se mostraram alternativas viáveis quanto ao desempenho, cabendo analisar outras variáveis como tamanho, peso e disponibilidade.

Palavras-chave: A*brigos alternativos, abrigos para termo-higrométricos, clima urbano.*

ABSTRACT

For the quality of microclimate studies is substantial uniformity of the instruments used. Due to specific needs many alternative systems to standards are developed. This paper presents the outcome of a dissertation, which aimed to test alternative shelter for thermo-hygrometers. the hot-humid and hot-dry periods of 2015 were covered in the metropolitan region of Cuiaba - MT. With the collected data proceeded to multivariate analysis of variance, tests of effects between groups, multiple comparisons and analysis of the hourly averages. Based on the performance of the alternative shelters, it follows that the shelters made of PVC pipe vertically and with ice cream pot does not show efficient, especially when used during the day. It was found that the higher and lower total solar radiation intensity of the external air velocity, the greater are the differences of air temperature. As for the other types tested proved viable alternatives for performance, fitting to analyze other variables such as size, weight and availability.

[1] VALIN JR, M. O., RIBEIRO, K. F. A.. DE PAULA, D. C., SANTOS, F. M. M., OLIVEIRA, A. S., NOGUEIRA, M. C., NOGUEIRA, J. S.. Desempenho de abrigos alternativos para termo-higrômetros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Alternative shelters, shelters for termohigrômetros, urban climate.*

1 INTRODUÇÃO

Nos estudos da climatologia urbana, é quase que indispensável a realização de trabalhos em campo, visando à obtenção de dados para serem analisados, envolvendo muito mais do que somente observação e análise, normalmente visam à obtenção de dados.

Um dos desafios atuais na área de pesquisa de clima urbano refere-se à padronização dos procedimentos de coleta e análise de dados (OKE, 2005). A padronização dos instrumentos de coleta é fundamental para a qualidade desses estudos microclimáticos, visto que esses dados geralmente são a base desses estudos, bem como garantir que sejam de fácil acesso e baixo custo.

Pesquisas microclimáticas são realizados constantemente com o objetivo de subsidiar estudos de ilhas de calor, projetos de edificações, conforto ambiental e o planejamento urbano.

No Brasil as pesquisas de sistemas urbanos são desenvolvidas majoritariamente por universidades e centros de ensino, onde os recursos são limitados e dependentes de editais ou mesmo de recursos próprios de pesquisadores. Para contornar essas dificuldades muitos sensores, abrigos e sistemas alternativos aos padrões são desenvolvidos, baseados na experiência e criatividade dos pesquisadores.

Os abrigos têm a função de permitir uma boa ventilação natural, bloquear a entrada de chuva e de radiação solar direta, permitir a entrada de radiação solar difusa. Diferentes autores desenvolveram abrigos alternativos para realização de pesquisas, porém observa-se diferenças em seus formatos e posições de instalação.

Conhecer os tipos de abrigos possíveis e avaliá-los quanto a sua utilização em situações diversas é de grande importância para validação e precisão de estudos microclimáticos.

Conforme Costa et al. (2007), a padronização envolve nomenclaturas, métodos de trabalho e análise, de forma que a transmissão da tecnologia desenvolvida possa ser melhor compreendida e aplicada para as diversas realidades. Essa é uma preocupação também brasileira que detém diversos grupos de estudo na área de clima urbano se consolidando, só que trabalhando muitas vezes de forma isolada.

Como forma de fornecer subsídio aos estudos de clima urbano o objetivo geral deste trabalho é verificar as influências de diferentes tipos de abrigos para termo-higrômetros em pontos fixos.

2 ABRIGOS ALTERNATIVOS UTILIZADOS EM PESQUISAS

2.1 Abrigo horizontal

Barros (2012) utilizou um tubo de PVC (Policloreto de vinila) branco no sentido

horizontal para passagem de ar, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Abrigo horizontal para medições móveis



Fonte: Barros (2012)

Oliveira (2007) em medições fixas, utilizou um conjunto constituído por 4 tubos de PVC, todos dispostos horizontalmente em suporte à altura de 2 m do solo, paralelos uns aos outros com 45 cm entre eles, sendo o suporte posicionado na direção perpendicular a direção do percurso do sol. Entre os 4 tubos, variou-se no primeiro a ventilação natural e sem isolamento, no segundo com ventilação forçada, o terceiro com ventilação forçada e isolamento e no último com ventilação natural e isolamento térmico, conforme Figura 2.

Figura 2 - Abrigo horizontal para medições fixas



Fonte: Oliveira (2007)

2.2 Abrigo Vertical

Santos (2012) e Franco (2013) utilizaram um tubo de PVC branco no sentido vertical perfurado e para permitir a passagem de ar na parte superior do tubo foi colocado um funil branco para proteger o sensor da radiação solar direta e precipitações para medições moveis, Figura 3.

Figura 3 - Abrigo vertical para medições

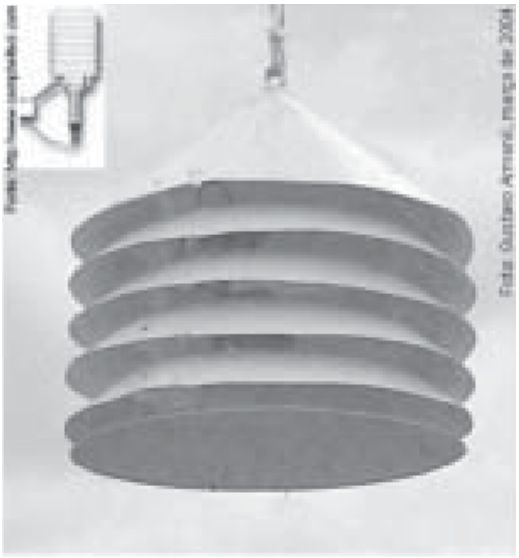


Fonte: Franco (2013)

2.3 Abrigo de pratos

Armani e Galvani (2006) inspirados no modelo 41003 10 (Campbell Inc.) construíram um abrigo com chapa de ferro galvanizado, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Abrigo de chapas de ferro



Fonte: Armani e Galvani (2006)

Costa et al (2007), também inspirado no modelo da Campbell, realizaram ajustes no modelo, substituindo as chapas metálicas por pratos plásticos em seu abrigo para medições fixas, Figura 5.

Figura 5 - Abrigo de pratos plásticos



Fonte: Costa, et al (2007)

2.4 Abrigo de pote de sorvete

Ribeiro et al (2015) instalou dataloggers sob as copas das árvores das espécies (oiti e mangueira) em pesquisa sobre a avaliação do sombreamento, sendo que os abrigos utilizados foram de portes de sorvete com furos para garantir a circulação de ar, com o intuito de proteger os equipamentos da incidência de radiação e do intemperismo, Figura 6.

Figura 6 - Abrigo de pote de sorvete



Fonte: Ribeiro, et al (2015)

2.5 Abrigo de madeira

Nince (2013) utilizou registradores automáticos dispostos no interior de abrigo meteorológico de madeira, com furos para ventilação a 1,5m de altura em relação ao nível do solo, Figura 7.

Figura 7 - Abrigo de madeira



Fonte: Nince (2013)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

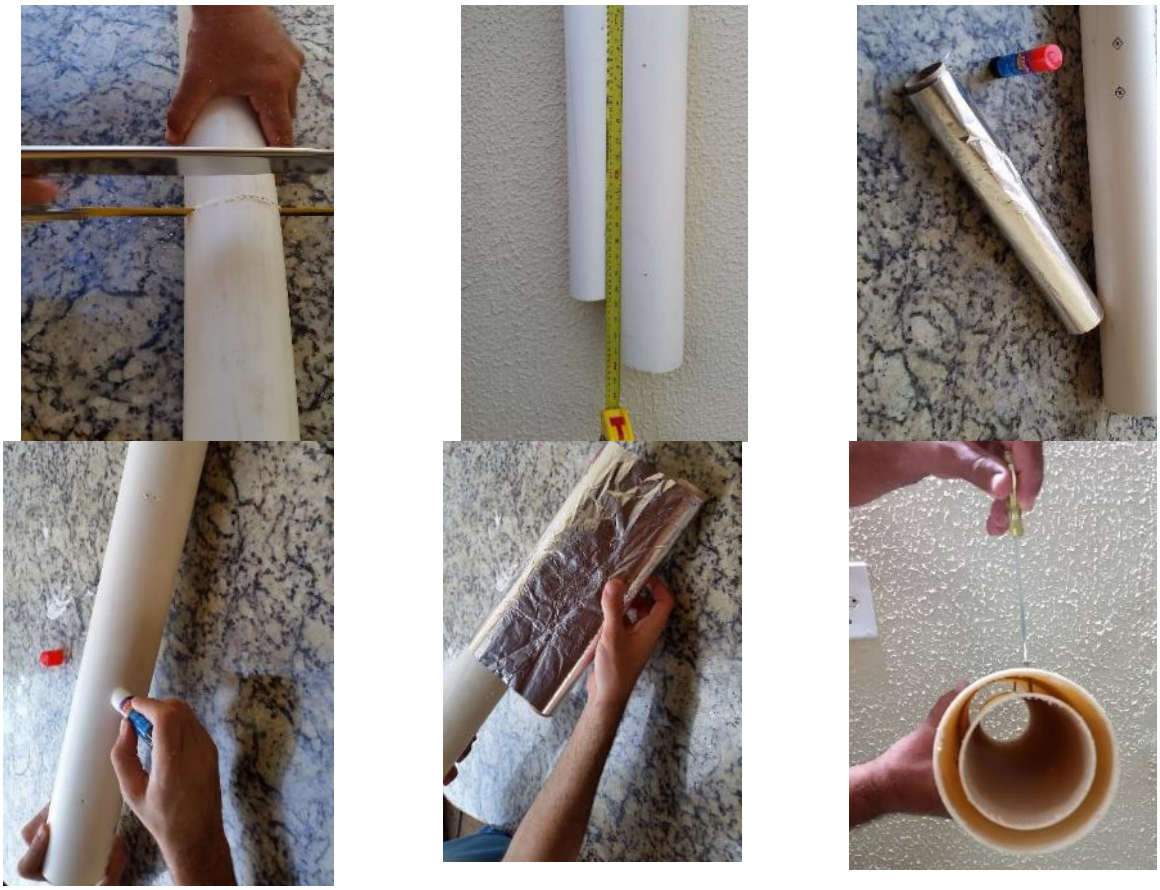
3.1 Confecção dos abrigos

Os objetivos dos abrigos consistem na proteção contra a incidência de radiação e também proteção contra intempéries, sendo escolhidos com base no referencial de literatura os seguintes tipos de abrigo: com tubo de PVC horizontal; com tubo de PVC vertical; com prato plásticos brancos; com pote de sorvete branco; e de madeira.

3.1.1 Abrigo com tubo de pvc horizontal

Foi produzido com tubos de PVC rígidos, na cor branca, sendo necessário 60 cm de comprimento no diâmetro de 100 mm e 50 cm de comprimento no diâmetro de 75 mm, Figura 8 itens "a" e "b". O tubo menor foi revestido na sua face externa por papel aluminizado, para proteger de possíveis efeitos de radiação térmica, Figura 8 itens "c", "d" e "e". Para centralizar o tubo menor no interior do tubo maior, utilizou-se de parafusos, Figura 8 item "f", permitindo dessa maneira que o datalogger e sensor ficassem centralizados, com ventilação e protegido de intempéries.

Figura 8 - Confecção do abrigo horizontal: (a) cortando os tubos; (b) tubos nas medidas; (c) material para preparação do tubo de 75mm; (d) preparação do tubo com cola; (e) colando o papel aluminizado; (f) fixação e posicionamento com o auxílio de parafusos



3.1.2 Abrigo com tubo de pvc vertical

Para sua produção utilizou-se um tubo de PVC rígido, cor branca, de 75 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento, Figura 9 – item "a". O tubo foi perfurado, com broca de 4mm, para permitir a passagem de ar, Figura 9 – item "b". Na parte superior do tubo foi colocado um CAP (tampa para tubo de esgoto) para proteger o sensor da radiação solar direta e precipitações. Um suporte também foi confeccionado com peças de PVC. Na parte inferior foi colocado uma esponja para servir de suporte ao sensor, Figura 9 – itens "c" e "d".

Figura 9 - Confecção do abrigo vertical (a) marcando os pontos; (b) furando; (c) peça semi-pronta; (d) inserindo fundo no tudo





(b)



(c)



(d)

Fonte: Os autores

3.1.3 Abrigo com pratos plásticos

Foi construído utilizando seis pratos redondos de plástico na cor branca, Figura 10 – item "a". As dimensões dos pratos são as seguintes: fundo do prato (aba menor) de12 cm; aba maior do prato de 21,5 cm; profundidade do prato de 3 cm.

Nos pratos intermediários foram realizadas aberturas, para o posterior posicionamento do sensor. A distância entre os pratos foi de 2,5 cm, assegurados através de mangueira transparente contados, sustentados por duas barras galvanizadas roscadas de 0,4 cm diâmetro, de modo a fixar os pratos sobrepostos, Figura 10 – itens "b", "c" e "d". Os pratos foram travados com o auxílio de porcas e arruelas junto com os espaçadores.

Figura 10 - Confecção do abrigo de pratos (a) cortando o centro dos pratos; (b) espaçadores; (c) etapa de montagem; (d) etapa de montagem









(a)

Fonte: Os autores

3.1.4 Abrigo com pote de sorvete

Foi construído utilizando um pote de sorvete branco, com furos realizados com o auxílio de uma furadeira com broca de 4mm, Figura 11.

Figura 11 - Confecção do abrigo de pote de sorvete



Fonte: Os autores

3.1.5 Abrigo de madeira com furos

Constitui-se de uma caixa nas dimensões de 54 cm de comprimento, 35 cm de largura e 65 cm de altura, com furos 20 furos de 2 cm de diâmetro em cada uma das 2 portas e outros 20 furos de 3,5 cm nas laterais, Figura 12. Após a montagem do abrigo foi confeccionado um suporte para deixa-lo na altura de 1,5m. O abrigo foi pintado, com tinta esmalte branca.

Figura 12 - Confecção do abrigo de madeira





(b)

Fonte: Os autores

3.2 Estação de referência

Como referência de comparação dos dados, optou-se por uma estação automatizada, sendo o modelo Vantage Pro 2™ da marca Davis (Figura 15 – item "a"). A umidade relativa e a temperatura do ar foram medidas por um termo-higrômetro operando em intervalo de temperatura do ar -40°C a +65°C, e com acurácia de ±0,4°C. O sensor de umidade relativa do ar opera em um intervalo de 1% a 100% com acurácia de ±3%.

Anteriormente a instalação da estação, foi realizada limpeza e manutenção preventiva dos sensores e posterior calibração dos mesmos.

3.3 Sensores utilizados nos abrigos

Os sensores utilizados neste estudo são do tipo Data Logger, modelo U12-012, de fabricação da Onset Compter Corporation (Figura 13), capaz de registrar medidas de temperatura, umidade relativa do ar, intensidade de luz.

Figura 13 - U12-012 Data Logger.



Fonte: Os autores

A Tabela 1 apresenta os dados de precisão do datalogger. Os sensores utilizados foram devidamente calibrados antes da utilização.

Tabela 1 - Dados de precisão do sensor.

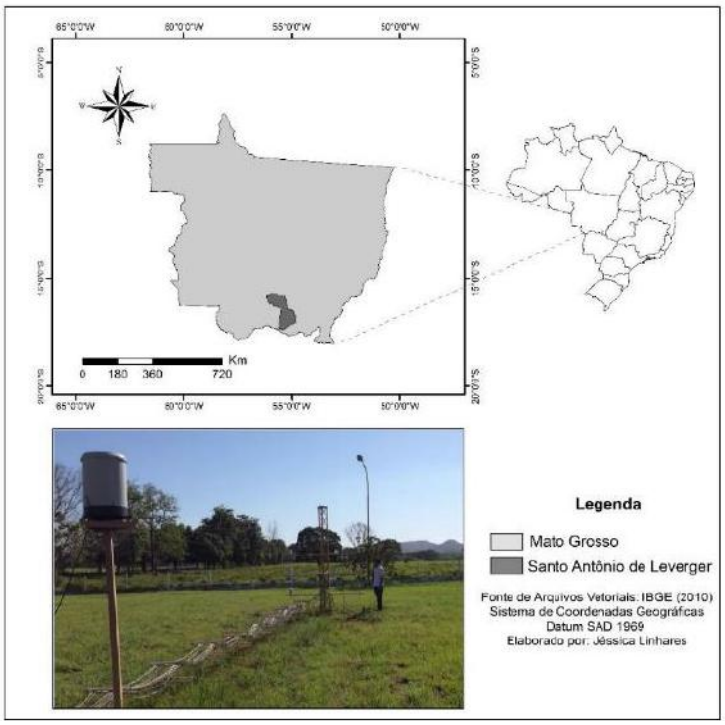
Sensor:	**Data Logger Hobo U12-012**
Faixa de medição:	Temperatura do ar: -20° a 70°C Umidade relativa do ar: 5% a 95%
Acurácia:	Temperatura do ar: ± 0,35°C Umidade relativa do ar: ± 2,5%
Resolução:	Temperatura do ar: 0,03°C Umidade relativa do ar: 0,03%

Fonte: Os autores

3.4 Instalação dos abrigos

O estudo foi desenvolvido nas dependências da Fazenda Experimental da UFMT, no município de Santo Antônio de Leverger, Figura 14.

Figura 14 - Localização

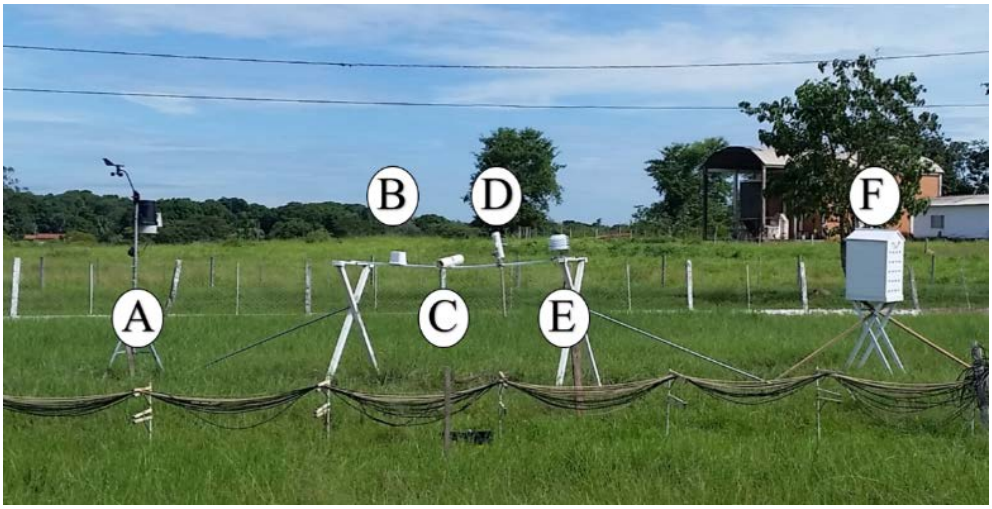


Fonte: Os autores

A região possui duas estações do ano bem definidas: uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão) (MAITELLI, 1994). O índice pluviométrico anual varia de 1250 a 1500 mm (CAMPELO JUNIOR, et al., 1991). Apresenta ainda baixa frequência e velocidade média do ar e seu clima está classificado como Aw, segundo a Classificação de Köppen.

Os abrigos construídos foram instalados de forma a manter a estrutura do solo e vegetação para a não ocorrência de alteração nas variáveis de medidas. Um cavalete foi construído para fixação dos abrigos com altura de 1,5m, conforme normas da OMM, sendo o abrigo de madeira e a estação de referências posicionadas nas extremidades do cavalete, Figura 15.

Figura 15 - Equipamentos instalados.







B



C



D



E



Fonte: Os autores

A instalação ocorreu de maneira a ficar no sentido predominante da direção do vento, no caso Norte-Noroeste (45°).

Os abrigos foram instalados no mês de abril do ano de 2015. Para a análise dos dados foram utilizados 40 dias para cada período, com valores registrados a cada 10 minutos, sendo o úmido (abril e maio de 2015) e o seco (agosto e setembro de 2015).

3.5 Análise dos dados

Os dados foram organizados em planilhas no Microsoft Excel, e gerados gráficos com as médias horárias para a temperatura e umidade relativa do ar, e também com as diferenças de temperatura e umidade registradas no padrão com os abrigos alternativos.

A análise estatística procedeu-se com a análise de variância multivariada (MANOVA) para verificação da significância dos dados, e também testes dos efeitos entre grupos em cada variável (ANOVA). Para verificar se entre os abrigos as diferenças na temperatura e umidade relativa são significativas, realizaram-se os testes de comparações múltiplas Tukey HSD. Ambos os testes foram realizados utilizando-se o software SPSS Statistics versão 22.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para testar a existência de diferenças significativas entre os abrigos quanto à temperatura do ar e umidade relativa do ar foi utilizada a análise de variância multivariada. A temperatura e a umidade relativa foram consideradas como variáveis dependentes, e o fator "Tipos de abrigos" como variável independente. Foram detectadas diferenças significativas, conforme apresentado na Tabela 2, indicando que ao menos um tipo abrigo difere para um nível de significância menor que 0,1% (altamente significativo) para as variáveis temperatura e na umidade relativa.

Tabela 2 - Teste multivariado

Efeito do abrigo	**Valor**	**Z**	**Significância (*p*)**
Lambda de Wilks (quente-úmido)	0,804	617,902	< 0,001
Lambda de Wilks (quente-seco)	0,967	113,467	< 0,001

Fonte: Os autores

Espera-se obter o Lamdda Wilks menor que 1 para que seja significativo, e é tanto mais significativo quanto menor for seu valor, portanto 0,804 na estação quente-úmido e 0,967 na estação quente-seca, foram significativos.

A avaliação dos efeitos entre grupos em cada variável foi detalhada por Análises de Variância Univariadas – ANOVA (F), detectando, em consonância, que os abrigos têm um efeito estatisticamente significativo tanto para temperatura, como para umidade relativa (Tabela 3).

Tabela 3 – Teste ANOVA para avaliação dos efeitos entre grupos

	Temperatura	**Umidade**
Quente-úmido	$F = 957{,}238$; $p < 0.001$	$F = 1143{,}931$; $p < 0{,}001$
Quente-seco	$F = 136{,}243$; $p < 0.001$	$F = 56{,}849$; $p < 0{,}001$

Fonte: Os autores

Quanto à temperatura na estação quente-úmida (Tabela 4), apenas não existem diferenças estatisticamente significativas (p > 0.05) entre os abrigos de "madeira" e "horizontal". As diferenças são estatisticamente significativas (p < 0.05) nas comparações múltiplas entre todos os outros pares de abrigos.

Tabela 4 - Caraterização da temperatura (ºC) e comparações múltiplas entre os abrigos – quente úmido

ABRIGO	**M (DP)**	**COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS (1)**					
		Padrão	**Horizontal**	**Sorvete**	**Vertical**	**Prato**	**Madeira**
Padrão	26,26 (3,43)	-	-,1291*	-1,1290*	-,9634*	-,2399*	-,1730*
Horizontal	26,39 (4,08)	,1291*	-	-1,0000*	-,8343*	-,1108*	-,0440
Sorvete	27,39 (5,89)	1,1290*	1,0000*	-	,1656*	,8892*	,9560*
Vertical	27,22 (5,33)	,9634*	,8343*	-,1656*	-	,7235*	,7904*
Prato	26,50 (4,10)	,2399*	,1108*	-,8892*	-,7235*	-	,0668*
Madeira	26,43 (4,12)	,1730*	,0440	-,9560*	-,7904*	-,0668*	-

(1) Testes de comparações múltiplas Tukey HSD: *$p < 0{,}05$

Fonte: Os autores

Referente à temperatura na estação quente-seca (Tabela 5) não existem diferenças estatisticamente significativas (p > 0,05) entre o abrigo "padrão" e "horizontal"; "padrão" e "madeira"; "horizontal" e "madeira"; "vertical" e "sorvete". As diferenças são estatisticamente significativas (p < 0,05) nas comparações múltiplas entre todos os outros pares de abrigos.

Tabela 5 - Caraterização da temperatura (ºC) e comparações múltiplas entre os abrigos – quente seco

ABRIGO	**M (DP)**	**COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS (1)**					
		Padrão	**Horizontal**	**Sorvete**	**Vertical**	**Prato**	**Madeira**
Padrão	26,89 (7,05)	-	,09275	-,82239*	-,74748*	-,14554*	,01848
Horizontal	26,80 (7,87)	-,09275	-	-,91514*	-,84023*	-,23829*	-,07427
Sorvete	27,72 (9,76)	,82239*	,91514*	-	,07491	,67685*	,84087*
Vertical	27,64 (9,00)	,74748*	,84023*	-,07491	-	,60194*	,76596*
Prato	27,04 (7,68)	,14554*	,23829*	-,67685*	-,60194*	-	,16401*
Madeira	26,88 (7,82)	-,01848	,07427	-,84087*	-,76596*	-,16401*	-

(1) Testes de comparações múltiplas Tukey HSD: *$p < 0{,}05$

Fonte: Os autores

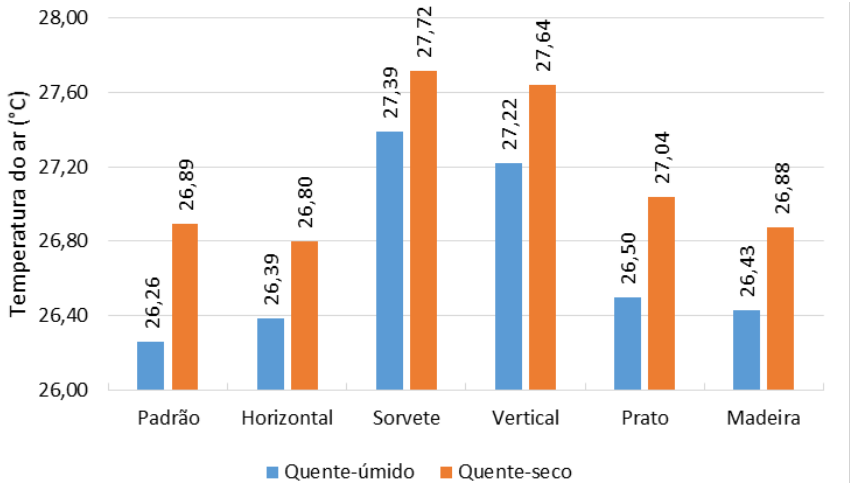
A Figura 16 apresenta as temperaturas médias dos dois períodos. Observa-se que a temperatura média na estação quente-úmida o abrigo com

temperatura média mais elevada foi o "sorvete" (M = 27,39; DP = 5,89), seguindo-se o "vertical", o "prato", o "madeira", o "horizontal" e o "padrão" (M = 26,26; DP = 3,43) com a temperatura média mais baixa

Já para a estação quente-seca a temperatura média mais baixa foi o "horizontal", diferente do quente-úmida onde foi o "padrão".

As temperaturas médias na quente-seca foram em ordem decrescente o "sorvete" (M = 27,72; DP = 9,76), seguindo-se o "vertical", o "prato, o "padrão", o "madeira" e o "horizontal" (M = 26,80; DP = 7,87).

Figura 16- Temperatura média (°C) por abrigo



Fonte: Os autores

Quanto à umidade relativa, na estação quente-úmida (Tabela 6), apenas não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre "madeira" e "prato". As diferenças foram estatísticamente significativas ($p < 0,05$) nas comparações múltiplas entre todos os outros pares de abrigos.

Tabela 6 - Caraterização da umidade relativa (%) por abrigo e comparações múltiplas entre os abrigos – quente úmido

ABRIGO	M (DP)	COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS (1)					
		Padrão	Horizontal	Sorvete	Vertical	Prato	Madeira
Padrão	82,72 (12,38)	-	,9343*	3,8105*	3,5489*	,6452*	,7100*
Horizontal	81,78 (15,48)	-,9343*	-	2,8762*	2,6146*	-,2891*	-,2244*
Sorvete	78,90 (20,03)	-3,8105*	-2,8762*	-	-,2617*	-3,1653*	-3,1006*
Vertical	79,17 (19,40)	-3,5489*	-2,6146*	,2617*	-	-2,9036*	-2,8389*
Prato	82,07 (16,42)	-,6452*	,2891*	3,1653*	2,9036*	-	,0647
Madeira	82,01 (15,84)	-,7100*	,2244*	3,1006*	2,8389*	-,0647	-

(1)Testes de comparações múltiplas Tukey HSD: *$p < 0.05$

Fonte: Os autores

Na estação quente-seca (Tabela 7), para os valores de umidade relativa do ar, não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre "horizontal" e "prato"; "horizontal" e "madeira"; "sorvete" e "prato";

"sorvete" e "madeira" e "prato" e "madeira". As diferenças foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$) nas comparações múltiplas entre todos os outros pares de abrigos.

Na análise das umidades relativas do ar médias (Figura 17) observa-se que o abrigo com umidade relativa média na estação quente-úmida mais elevada foi o "padrão" (M = 82,07; DP = 12,38), seguindo-se o "prato", o "madeira", o "horizontal", o "vertical", e o "sorvete" (M = 78,90; DP = 20,03) com a umidade relativa média mais baixa.

Na estação quente-seca a umidade mais elevada também foi a do "padrão" (M = 59,61; DP = 21,88), seguida pelo "horizontal", o "madeira", o "prato", o "sorvete" e a menor umidade no "vertical" (M = 56,85; DP = 26,47).

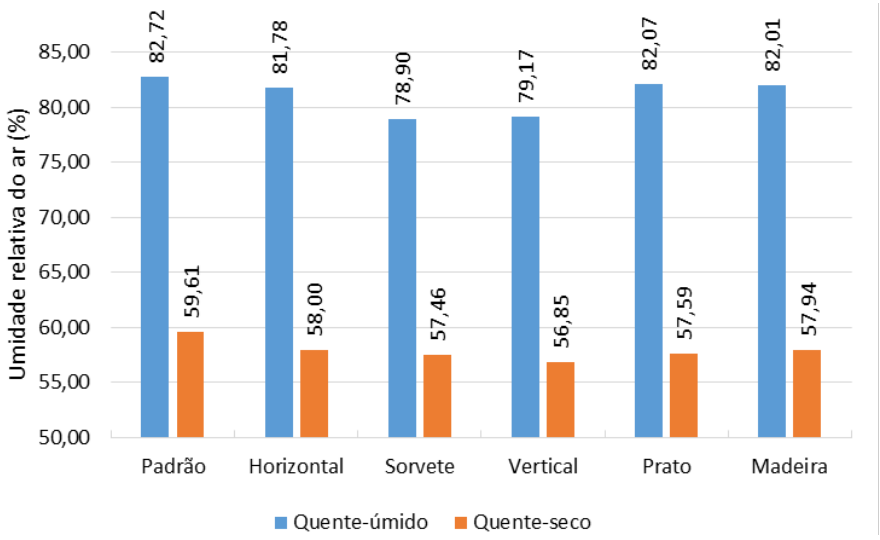
Tabela 7 - Caraterização da umidade relativa (%) por abrigo e comparações múltiplas entre os abrigos – quente seco

ABRIGO	M (DP)	COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS (1)					
		Padrão	Horizontal	Sorvete	Vertical	Prato	Madeira
Padrão	59,61 (21,88)	-	1,61451*	2,15165*	2,75622*	2,01908*	1,66895*
Horizontal	58,00 (24,26)	-1,61451*	-	,53714*	1,14171*	,40457	,05444
Sorvete	57,46 (27,14)	-2,15165*	-,53714*	-	,60457*	-,13257	-48270
Vertical	56,85 (26,47)	-2,75622*	-1,14171*	-,60457*	-	-,73714*	-1,08727*
Prato	57,59 (25,02)	-2,01908*	-,40457	,13257	,73714*	-	-,35013
Madeira	57,94 (24,62)	-1,66895*	-,05444	,48270	1,08727*	,35013	-

(1)Testes de comparações múltiplas Tukey HSD: *$p < 0,05$

Fonte: Os autores

Figura 17- Umidade relativa média (%) por abrigo



Fonte: Os autores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na comparação dos abrigos verificou-se que quanto maior a intensidade de

radiação solar global e quanto menor for a velocidade externa do ar, maiores são as diferenças da temperatura do ar registradas.

Com base no desempenho dos abrigos alternativos analisados, tem-se que os abrigos do tipo vertical e o com pote de sorvete não se demonstram eficientes para a coleta de dados em pontos fixos, principalmente se utilizados durante o período diurno.

É possível também concluir que não apenas o material utilizado está associado ao desempenho, mas também quanto à sua arquitetura, pois como observado nos abrigos "vertical" e "horizontal", ambos foram construídos com PVC e apresentaram resultados diferentes.

Quanto aos demais tipos (prato, horizontal e o de madeira) se mostraram alternativas viáveis, cabendo analisar o local onde será utilizado para definir qual deles melhor se adapta, pois o horizontal depende de já conhecer o sentido da direção do vento; o de madeira do espaço disponível devido ao seu tamanho e peso; e quanto ao de prato da disponibilidade de pratos plásticos na cor branca.

Os resultados obtidos no presente trabalho motivam estudos complementares, que possam contribuir para o avanço do conhecimento na padronização de abrigos e procedimentos de medições de dados climáticos, assim, recomenda-se: verificar o desempenho dos diferentes abrigos em transecto móvel, verificando se terão o mesmo comportamento de quando instalados fixos; avaliar a durabilidade dos abrigos, aumentando o período de coleta dos dados.

REFERÊNCIAS

ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, pp. 34-40, 2006.

BARROS, M. P. **Dimensão fractal e ilhas de calor urbanas: uma abordagem sistêmica sobre as implicações entre a fragmentação das áreas verdes e o ambiente térmico do espaço urbano**. 2012, Tese (Doutorado em Física Ambiental) Cuiabá, MT: UFMT.

CAMPELO JUNIOR, J. H.; PRIANTE FILHO, N.; CASEIRO, F. T. Caracterização macroclimática de Cuiabá. **Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente**. 1991.

COSTA, A.; LABAKI, L. C.; ARAÚJO, V. M. D. A methodology to study the urban distribution of air temperature in fixed points. **Procedings of 2nd PALENC Conference and 8th AIVC Conference**. 2007, pp. 227-230.

Davis Instruments. **Wireless Vantage Pro2™ with Standard Radiation Shield. DAVIS**. Disponível em: < http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=06152>. Acesso em: 01 de maio de 2015.

FRANCO, F. M. **Análise do comportamento termo-higrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá - MT**. 2013. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Cuiabá, MT: UFMT.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem Tridimensional do clima urbano em área Tropical Continental: o exemplo de Cuiabá/MT**. 1994. Tese (Doutorado em Climatologia): USP.

NINCE, P. C. C.. **Vegetação e revestimentos urbanos: : implicações na sensação térmica dos usuários do campus da UFMT em Cuiabá-MT**. 2013 Tese (Doutorado em Física Ambiental) Cuiabá, MT: UFMT.

OKE, T. R. **Towards better scientific communication in urban climate. Austria : Theorical and Applied Climatology**, 2005.

OLIVEIRA, M. J**. Avaliação experimental de interferências causadas pela radiação solar global e pela velocidade dos centos em medições climatológicas da temperatura do ar.** 2007. Monografia (Engenharia Ambiental) - São Carlos: USP, 2007.

Onset Computer Corporation. **HOBO U12 Temperature/Relative Humidity/Light/External Data Logger - U12-012.** Disponível em: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>. Acesso em: 11 de março de 2015.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN JR, M. O.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A; NOGUEIRA, J. S.; DE MUSIS, C. R.. Análise da temperatura interna e superficial em diferentes sombreamentos arbóreos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.10, n.2, p. 40-60, 2015.

SANTOS, F. M. M. **Influência da ocupação do solo na variação termo-higrométrica na cidade de Cuiabá-MT**. 2012. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Cuiabá, MT: UFMT.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA AUMENTAR O DESEMPENHO DE JANELAS E FACHADAS EM TERMOS DE VENTILAÇÃO NATURAL E AUXILIAR NO CONTROLE DA RADIAÇÃO SOLAR DIRETA[1]

VETTORAZZI, Egon (1); SACHT, Helenice M. (2); LANGNER, Marcelo (3); CAMACHO, Darwin J. (4)

(1) UNILA, e-mail: egon.arquiteto@gmail.com; (2) UNILA, e-mail: helenice.sacht@unila.edu.br; (3) UDC, marcelolangner@gmail.com; (4) UNILA, darwin.camacho@aluno.unila.edu.br

RESUMO

As edificações são um dos grandes responsáveis pelo consumo energético no Brasil, correspondendo a cerca de 47% do consumo total. Diante disso, o objetivo do trabalho consiste na proposta e no estudo de um dispositivo complementar a janelas e fachadas, que funcione para aumentar a eficiência energética da edificação, sem custos mensais de manutenção. Trata-se do Filtro Sol-Ar, que apresenta duas funções principais: proteção contra a radiação solar indesejada, diminuindo a radiação solar no interior da edificação; e incrementar as condições de ventilação natural, mesmo com a janela fechada como em períodos noturnos e de chuva. Foram obtidos dados de desempenho do dispositivo quanto a radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação foram realizadas análises por meio de simulações computacionais, comparando resultados de uma janela sem e com o dispositivo. Para tal, foram utilizados os programas computacionais Autodesk Revit 2016; Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 e Design Builder 4.2. Verificou-se que além de viável para diferentes latitudes brasileiras, a utilização do dispositivo pode aumentar o conforto térmico do usuário, reduzindo o ganho solar em torno de 36,06% e diminuindo o consumo de energia elétrica, além de melhorar as condições de iluminação natural dos ambientes e contribuir para a eficiência energética das construções.

Palavras-chave: Janela. Fachada. Filtro Sol-Ar. Ventilação natural. Iluminação natural. Proteção solar.

ABSTRACT

Buildings energy consumption in Brazil corresponds to about 47% of total consumption. Thus, the aim of this work is the study of a device for windows and facades, which operates to increase building energy efficiency, without adding monthly maintenance costs. The proposed Sun-Air device has two main functions: The first function is the protection against unwanted solar radiation by shadowing, decreasing the solar radiation inside the building. The second function improves the conditions of natural ventilation even with the windows closed, in night periods and rainny days. An analyze was performed by means of computer simulations for comparing the use of the device with a conventional window to obtain the performance data in terms of daylighting and natural ventilation; using the computer programs Autodesk Revit 2016; Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 and Design Builder 4.2. It

[1]VETTORAZZI, Egon; SACHT, Helenice M.; LANGNER, Marcelo; CAMACHO, Darwin J.. Proposta de um dispositivo para aumentar o desempenho de janelas e fachadas em termos de ventilação natural e auxiliar no controle da radiação solar direta. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

was observed that besides viable for different Brazilian latitudes, the use of the device can increase the thermal comfort conditions, reducing solar gain by exterior windows around 36.06% on average, and thus reducing the energy consumption. The device further improves daylighting conditions of the environment and contributes to energy efficiency of buildings with their use.

Keywords: *Windows. Facades. Sun-Air. Natural ventilation. Daylighting. Shading.*

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de energia mundial e a intensificação de problemas ambientais decorrente do aquecimento global e escassez de recursos naturais, como a água, há um fortalecimento da preocupação com a influência do ambiente construído sobre os recursos naturais. Neste contexto, a integração entre arquitetura e clima é um dos assuntos de maior relevância para a redução do consumo energético e a diminuição da necessidade de produção de energia. Edificações energicamente eficientes são objetos de constante investigação para o desenvolvimento de tecnologias construtivas que reduzam o consumo energético e a emissão de gases de efeito estufa. Silva e Kinsel (2006) afirmam que é importante que inovações na arquitetura sejam exploradas para prover melhores ambientes, principalmente nos países em desenvolvimento e com a redução ou supressão da necessidade de equipamentos mecânicos para o conforto.

Para melhorar o desempenho energético das edificações, as janelas e fachadas são elementos importantes nos quais o arquiteto pode intervir. Projetistas desenvolveram ao longo dos anos novas tecnologias, como a prateleira de luz e o peitoril ventilado, que são adicionadas a esses elementos construtivos, principalmente para controlar a incidência da radiação solar e auxiliar na ventilação natural no interior da edificação.

Estudos demonstram que a composição arquitetônica exerce grande influência no desempenho energético da edificação. Mascaró e Mascaró (1992) constatam que entre 25 a 45% da energia consumida em uma edificação é devido à má orientação e por desenho inadequado das fachadas. Já Santos (2002) afirma que uma mesma edificação disposta em cidades diferentes, por exemplo, Belém e Porto Alegre, pode provocar o aumento de até 80% do consumo de energia elétrica.

Sobre dispositivos de sombreamento, Bellia et al. (2014) apontam que os parâmetros a serem considerados para projetá-los são muitos, porém, até agora nenhum esforço significativo tem sido feito no sentido de classificar e caracterizar esses dispositivos; destacam essa complexidade e o fato de que, nos últimos anos, têm sido propostos diferentes tipos de dispositivos de controle solar, dependendo da orientação do edifício, localização, características de janelas, entre outros fatores e os mesmos podem contribuir para melhorar ou piorar o desempenho térmico, de iluminação e energético dos ambientes das edificações se não forem vistos com maior critério.

2 OBJETIVO

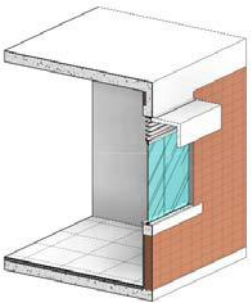
O objetivo geral é o desenvolvimento de um dispositivo complementar à janelas e fachadas, que funcione para aumentar a eficiência da edificação em termos energético, sem agregar custos mensais de manutenção e a verificação de sua eficiência como estratégia bioclimática de condicionamento de edificações.

3 METODOLOGIA

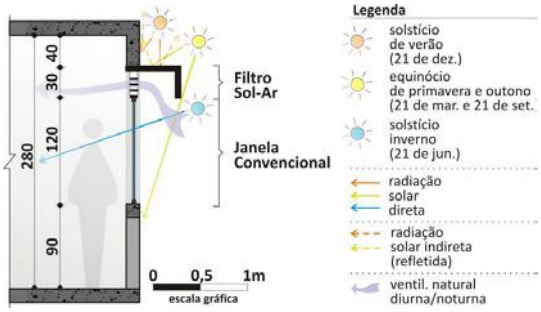
O dispositivo desenvolvido pelo estudo é o Filtro Sol-Ar e tem por finalidade auxiliar não só na ventilação natural em períodos noturnos e de chuva, mesmo com as janelas fechadas, mas também contribui com o sombreamento da janela e na diminuição da radiação solar no interior da edificação.

O Filtro Sol-Ar é basicamente um elemento complementar a janelas e fachadas, que fica posicionado acima das mesmas, possuindo como principal característica física o elemento de proteção solar em formato de "L", que se projeta à frente da fachada e uma entrada de ar regulável através de venezianas móveis. Ao contrário do peitoril ventilado, a disposição do elemento acima da janela não atrapalha a distribuição do mobiliário e a ventilação não interfere no desenvolvimento de tarefas a serem executadas no ambiente, já que o ar não circula diretamente no plano de trabalho. Por ocupar pouco espaço vertical acima da janela, pode ser utilizado quando há verga ou viga acima das janelas ou em ambientes com pé direito baixo (2,40m). A Figura 1 ilustra um corte isométrico e um corte esquemático mostrando o funcionamento do Filtro Sol-Ar e a Figura 2 apresenta detalhes do elemento proposto. Atualmente tal dispositivo não está disponível no mercado e a intenção é que possa ser produzido em concreto, materiais metálicos e/ou PVC.

Figura 1 - Filtro Sol-Ar.

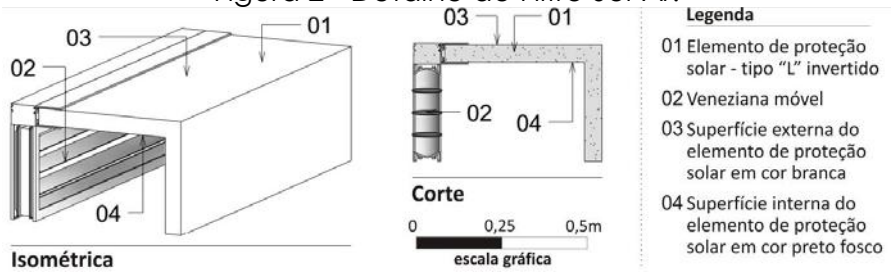


Corte isométrico



Corte esquemático

Figura 2 - Detalhe do Filtro Sol-Ar.

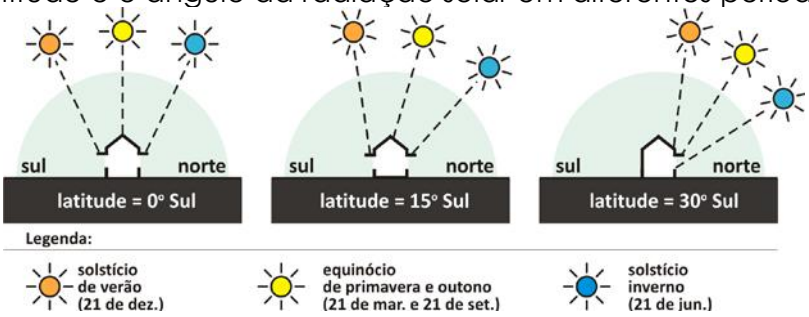


Para realizar o estudo de desempenho em termos de eficiência bioclimática do dispositivo proposto, foram realizadas análises, por meio de simulações computacionais em comparação com uma janela convencional, uma abertura sem uso de nenhum elemento de proteção solar. Foram analisados dados de desempenho em termos de radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação. Para tal, foram utilizados os programas computacionais Autodesk Revit 2016 e Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 e Design Builder 4.2.

Para os estudos de radiação solar/sombreamento foram adotados os períodos extremos anual da inclinação solar, o solstício de verão (21 de dezembro) e o solstício inverno (21 de junho). A fim de delimitar a pesquisa, foi adotado o hemisfério sul para a realização dos estudos e foi considerada a latitude 0, 15 e 30 graus, no horário solar de meio dia, que é o horário de maior altura solar diária. Serão expostos os resultados somente da latitude 30 graus sul, devido a maior inclinação da radiação solar, no solstício de verão e inverno, no horário do meio dia.

Os estudos dos ganhos solares pelas janelas com e sem o uso do Filtro Sol-Ar foram realizados nas latitudes 0, 15 e 30 graus sul com orientação das aberturas ao sul e norte, ao longo de todo o ano. Já para os estudos de iluminação natural foi realizado para as latitudes 0, 15 e 30 sul, na orientação norte, porém serão expostos nos resultados, somente a latitude de 30 graus sul, com orientação norte, devido à maior inclinação da radiação solar, no solstício de verão e inverno, no horário do meio dia. Segundo Frota (2004) toma-se o horário do meio dia como o ponto solar ideal para análise da radiação solar nos períodos de solstício de verão, solstício de inverno e equinócios de primavera e outono. A Figura 3 apresenta a influência da latitude no ângulo solar do solstício de verão, inverno e equinócios e sua relação com a arquitetura.

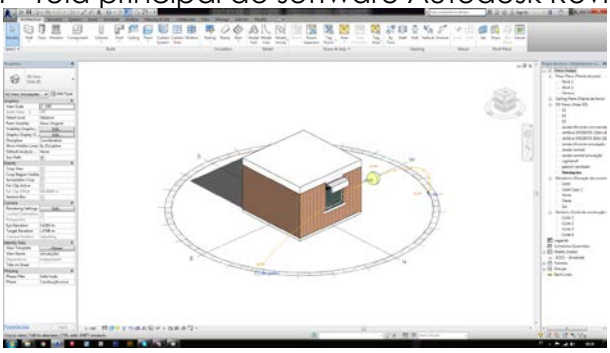
Figura 3 - Latitude e o ângulo da radiação solar em diferentes períodos do ano.



3.1 Verificação das Condições de Radiação Solar, Iluminação Natural e Ventilação Natural

Para verificação da incidência de radiação solar no interior de um ambiente com e sem o dispositivo desenvolvido, foram realizadas simulações computacionais com o Autodesk Revit 2016. O Revit oferece a visualização da radiação solar no interior do ambiente na época do ano e horário desejado (Figura 4).

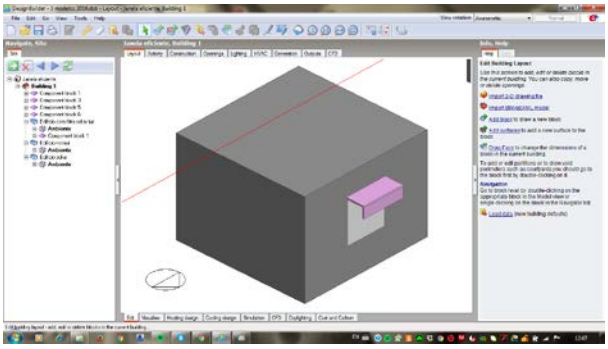
Figura 4 - Tela principal do software Autodesk Revit 2016.



Também foi utilizado o programa Design Builder 4.2.0 (Figura 5), quantificando comparativamente os ganhos solares obtidos para um caso base com uso de janelas convencionais e considerando a aplicação da solução com uso do Filtro Sol-Ar considerando o período de um ano e as latitudes de 0, 15 e 30 graus já citadas anteriormente. Para cada latitude, foram realizadas simulações de janelas convencionais e do uso do Filtro Sol-Ar ao norte e ao sul.

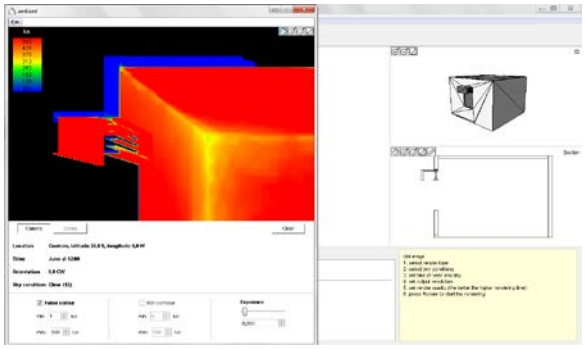
Foram realizadas um total de doze simulações, uma simulação com o Filtro Sol-Ar e outra sem o uso do elemento para cada latitude sul (0, 15 e 30 graus) para orientação solar norte e sul. Na latitude 0 foi adotado um elemento de proteção da radiação solar para todo o ano, com mesmo tamanho na orientação norte e ao sul, 37,5 cm. Para a latitude 15 foi adotado um elemento de proteção da radiação solar para todo o ano, ao norte com tamanho de 80 cm e ao sul com 30 cm. Já na latitude 30, optou-se por utilizar um elemento de proteção solar que proteja da radiação solar no verão e permita a entrada da radiação no inverno, sendo utilizado 54 cm na fachada de orientação norte. Nessa mesma latitude, não é necessário a utilização desse elemento ao sul para proteção da radiação solar, porém foi utilizado o Filtro Sol-Ar com o elemento de proteção solar com 30 cm para analise comparativa com as demais latitudes e para permitir a ventilação natural dessa fachada.

Figura 5 - Tela principal do software Design Builder 4.2.0.



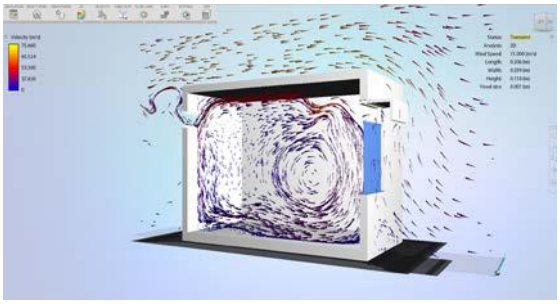
Para os estudos quanto à iluminação natural, foram executadas simulações computacionais com o programa Daylight Visualizer 2.8.4 (Figura 6), para os solstícios de verão e inverno na latitude de 30 graus sul, na orientação solar norte. As simulações demonstraram graficamente os valores de iluminância (lux) nas superfícies do ambiente. Foram realizadas, para o solstício de verão e inverno, uma simulação para a janela convencional e uma considerando o uso do Filtro Sol-Ar, totalizando quatro simulações.

Figura 6 - Tela principal do software Daylight Visualizer versão 2.8.4.



Já para verificar qualitativamente o desempenho quanto à ventilação natural foi considerada a janela fechada em períodos noturnos ou em dias de chuva e realizada a simulação computacional com o programa Autodesk Flow Design. A incidência do vento considerada foi normal à janela. Foram realizadas um total de duas simulações, uma com a janela fechada e outra somente com uso do Filtro Sol-Ar, com velocidade de 15m/s. Esse valor total de velocidade do vento de 15m/s foi considerado para fornecer a visualização do fluxo de ar, uma vez que o objetivo era obter resultados para uma análise visual qualitativa (Figura 7). Trata-se apenas de um estudo inicial para verificar se o dispositivo Filtro Sol-Ar pode influenciar na ventilação natural no interior da edificação.

Figura 7 - Autodesk Flow Design.



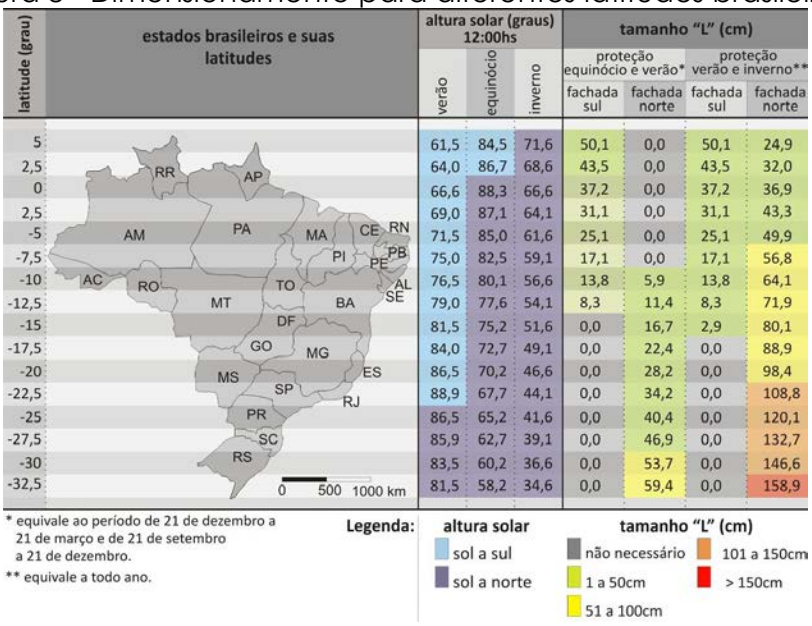
4 RESULTADOS

Serão apresentados a seguir, os resultados referentes ao dimensionamento do dispositivo; a análise da radiação solar e sombreamento no verão e inverno; a análise das condições de iluminação natural; a análise das condições de ventilação natural e por fim, uma síntese das vantagens de aplicação do dispositivo proposto Filtro Sol-Ar.

4.1 Dimensionamento do Dispositivo: Filtro Sol-Ar

O elemento de proteção solar proposto foi projetado para proteger a janela da chuva e, principalmente controlar a entrada da radiação solar direta na edificação, ao mesmo tempo em que permite a entrada da luz natural indireta. Para determinar o dimensionamento ideal que o dispositivo de proteção necessitaria de acordo com a latitude, foi desenvolvida a Figura 8 que indica o comprimento "L" do dispositivo para latitudes brasileiras de 5 graus norte até 32,5 graus sul, variando de 2,5 graus a 2,5 graus, de acordo com a altura solar de cada período do ano (verão, equinócios e inverno). Assim, na Figura 8 é relacionado o comprimento "L" adequado para a proteção da radiação solar direta do verão, equinócios e também para proteção da radiação solar durante todo o ano.

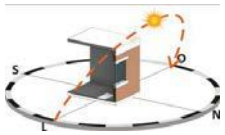
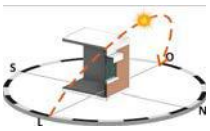
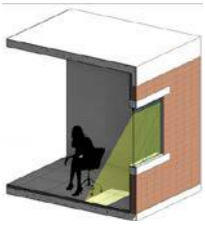
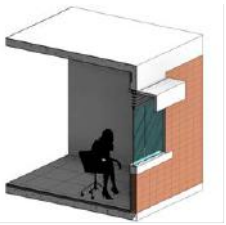
Figura 8 - Dimensionamento para diferentes latitudes brasileiras.



4.2 Análise da radiação solar e sombreamento no verão e inverno

Os estudos realizados para a janela convencional (Figura 9a) e para o Filtro Sol-Ar (Figura 9b) permitiram uma análise comparativa da quantidade de radiação solar que incide no interior do ambiente no solstício de verão para a latitude de 30 graus ao meio dia. No período de verão é desejável proteger a janela da radiação solar para minimizar os ganhos térmicos e o consumo de energia elétrica com o uso de condicionadores de ar.

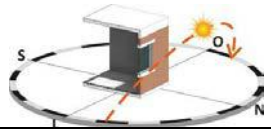
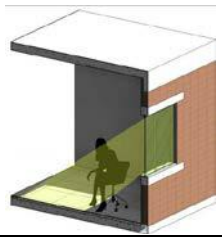
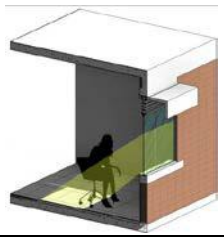
Figura 9a-b - Comparativo da radiação solar no interior da edificação no verão.

	(a) Janela convencional	(b) Filtro Sol-Ar
Trajetória solar		
Detalhe da radiação		

De acordo com a Figura 9a-b, a ausência de um elemento de proteção solar faz com que a radiação solar direta entre na totalidade do ambiente através de uma janela convencional, aumentando assim a temperatura interna. Já com o uso do elemento de proteção solar do Filtro Sol-Ar, a radiação solar direta no interior do ambiente é nula, diminuindo a temperatura interna e o ofuscamento. A radiação solar indireta (luz do céu e da reflexão do sol no entorno) continua iluminando normalmente o ambiente.

No período de inverno, para a latitude sul analisada de 30 graus, com orientação da fachada ao norte é desejável que a radiação solar direta entre na edificação para aquecer os ambientes, desde que o ofuscamento não interfira nas atividades desempenhadas. A Figura 10a-b demonstra que mesmo com o elemento de proteção solar Filtro Sol-Ar, a radiação solar entra em abundância, aumentando a temperatura interna do ambiente e diminuindo o uso de sistemas artificiais de aquecimento.

Figura 10a-b - Comparativo da radiação solar no interior da edificação no inverno.

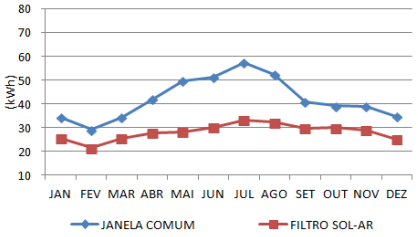
	(a) Janela convencional	(b) Filtro Sol-Ar
Trajetória solar		
Detalhe da radiação		

Ao contrário da janela convencional, que permite a entrada da radiação solar no período de verão (Figura 9a) e inverno (Figura 10a), o Filtro Sol-Ar pode ser dimensionado para permitir a entrada da radiação solar selecionada somente para os períodos de temperatura mais baixa. Caso a edificação esteja em um local onde as altas temperaturas predominam o ano todo, é possível dimensionar o Filtro Sol-Ar de forma a sombrear a janela durante todo o ano (respeitando dimensionamento apresentado na Figura 8).

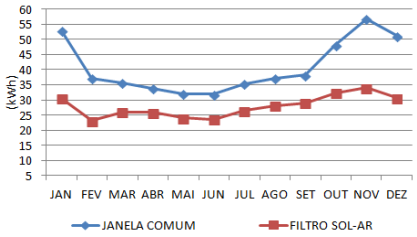
Os ganhos solares das janelas também foram obtidos, com e sem o uso do dispositivo. Esse valor consiste na radiação transmitida que passa através do vidro somada à radiação difusa refletida. Analisando os gráficos das figuras 11a e 11b, é possível verificar que na latitude de 0 graus sul, a redução dos ganhos solares é maior na fachada norte entre março e setembro e na fachada sul entre janeiro e fevereiro e outubro e dezembro. Na latitude 15 graus sul (Figura 11c e 11d), na fachada norte, há uma grande redução dos ganhos solares entre março e setembro, enquanto na fachada sul a redução dos ganhos é inferior e praticamente homogêneo em todos os meses. Já na latitude 30 graus sul (Figura 11e e 11f) na fachada norte, a redução dos ganhos solares é maior entre os períodos de fevereiro a maio e de agosto a novembro, já na fachada sul é praticamente homogênea em todos os meses, com maior redução no inicio e final do ano.

Foi possível observar para as latitudes analisadas, que o ganho solar com o uso do Filtro Sol-Ar é significativamente menor, apresentando uma diminuição média de 30,46 kWh (redução média de 36,06%) e, consequentemente, impactando diretamente na diminuição da necessidade de uso de energia elétrica para resfriar o ambiente. Conforme apresenta a Figura 11(a-f) a seguir.

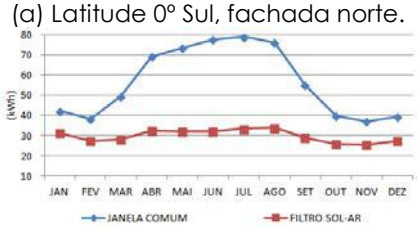
Figura 11a-f - Comparativo dos ganhos solares das janelas para fachadas norte e sul, com e sem o uso do dispositivo Sol-Ar.



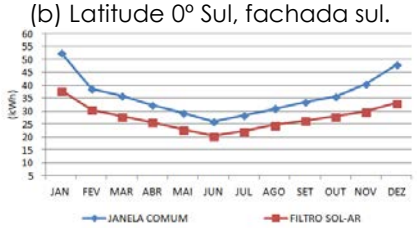
(a) Latitude 0° Sul, fachada norte.



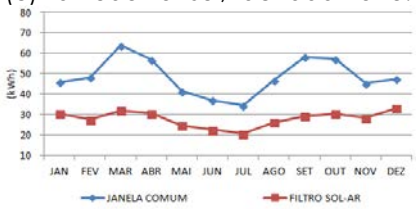
(b) Latitude 0° Sul, fachada sul.



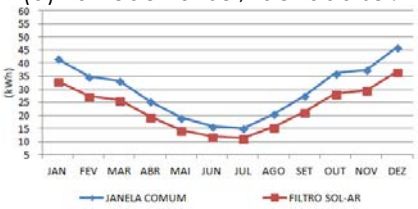
(c) Latitude 15° Sul, fachada norte.



(d) Latitude 15° Sul, fachada sul.



(e) Latitude 30° Sul, fachada norte.

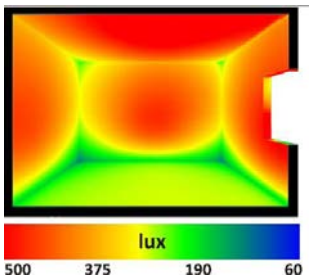


(f) Latitude 30° Sul, fachada sul.

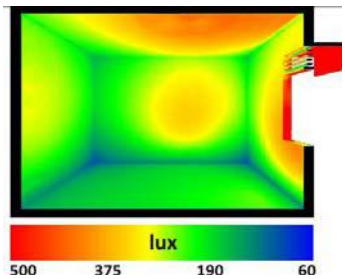
4.3 Análise das Condições de Iluminação Natural

No inverno, na latitude de 30 graus sul, na orientação norte, o ideal é tentar bloquear a iluminação natural em excesso. A análise comparativa da iluminação natural de uma janela convencional (Figura 12a) e com o Filtro Sol-Ar (Figura 12b) demonstra que há excesso e distribuição não homogênea de luz natural em uma janela convencional (entre 250 a 500 lux) e que, com o dispositivo proposto, a distribuição da luz natural melhora significativamente nas superfícies do piso e paredes (entre 250 e 400 lux).

Figura 12a-b - Ensaio de iluminação natural no período do inverno.



(a) Janela convencional

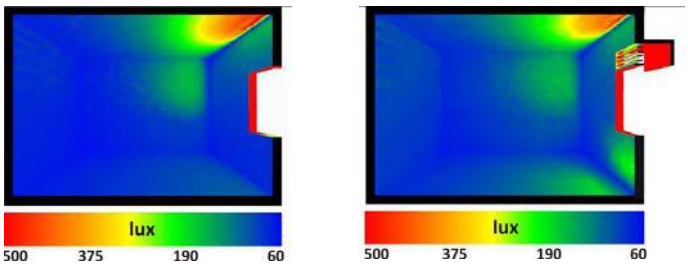


(b) Filtro Sol-Ar

No verão, na latitude de 30 graus sul, devido à altura solar, não há incidência elevada de iluminação natural no interior da edificação. A análise comparativa da iluminação natural de uma janela convencional (Figura 13a) com o uso do Filtro Sol-Ar (Figura 13b), demonstra que há pouca luz natural em uma janela convencional e que, com o uso do elemento de

proteção solar ocorre uma melhora, mesmo que em pequena escala, inclusive da distribuição da luz natural no ambiente interno.

Figura 13a-b - Ensaio de iluminação natural no período do verão.

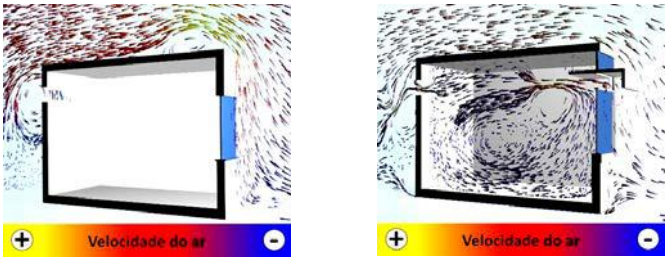


(a) Janela convencional (b) Filtro Sol-Ar

4.4 Análise das Condições de Ventilação Natural

Analisando comparativamente a ventilação natural proporcionada com a janela fechada, em um dia chuvoso ou à noite, por exemplo, com uma janela convencional (Figura 14a) e utilizando o Filtro Sol-Ar (Figura 14b), verifica-se que na janela convencional não há ventilação alguma (mesmo quando a janela possui venezianas, a ventilação é quase nula). Já no caso do uso do Filtro Sol-Ar há um aumento da ventilação no interior da edificação. Caso seja necessário diminuir a ventilação natural desses elementos é possível simplesmente fechá-lo. Para permitir a ventilação natural no ambiente foi necessário considerar uma abertura na parede oposta.

Figura 14a-b - Ensaio de ventilação natural em um dia de chuva ou à noite



(a) Janela convencional (b) Filtro Sol-Ar

4.5 Síntese das Vantagens de Aplicação do Filtro Sol-Ar

A Tabela 1 apresenta uma comparação qualitativa entre as características de uma janela convencional e elementos existentes com o dispositivo proposto. É possível perceber que o Filtro Sol-Ar é possui algumas vantagens sobre os demais sistemas.

Quadro 1 - Comparativo entre janela convencional e Filtro Sol-Ar.

Benefícios	**Janela convencional**	**Filtro Sol-Ar**
Não interfere no layout interno	✓	✓
Auxilia na ventilação natural	✓	✓
Auxilia na ventilação higiênica	-	✓
Ventilação noturna sem comprometer a luminosidade interna	-	✓
Controle da radiação solar direta	-	✓
Ventila, ao mesmo tempo em que protege da chuva	-	✓
Ventilação natural com segurança	-	✓
Pode ser adaptada a qualquer tipo de janela	-	✓

A Figura 15 e 16 demonstram de forma ilustrativa, a comparação qualitativa dos benefícios que uma janela com o elemento proposto Filtro Sol-Ar possui em relação a uma janela convencional. É possível analisar, esquematicamente, que uma edificação com janela convencional (Figura 15) está exposta a radiação solar direta durante o verão e o inverno, além de apresentar iluminação excessiva. Para amenizar as altas temperaturas, a única opção é manter as janelas fechadas para utilização do ar condicionado. Ao comparar as Figuras 15 e 16, percebe-se que o elemento proposto (Filtro Sol-Ar), possui como maior benefício a ventilação natural diurna e noturna melhorada pelo uso de venezianas junto ao elemento de proteção solar. Proporciona também, o controle da radiação solar direta nos períodos de maior temperatura (verão até os equinócios) e a possibilidade da entrada da radiação solar direta para aquecer os ambientes nos períodos mais frios (inverno) (Figura 16).

Figura 15 – Edificação residencial com janela convencional.

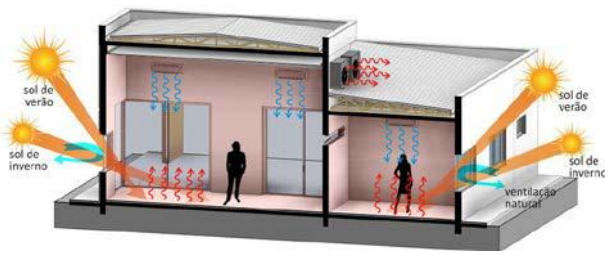


Figura 16 – Edificação residencial com Filtro Sol-Ar.



5 CONCLUSÕES

O estudo apresenta um elemento arquitetônico de tecnologia simples, complementar às janelas e fachadas e comprova que sua aplicação contribui para a melhoria do desempenho lumínico e térmico da janela, ao mesmo tempo em que permite a redução do uso de ar condicionado e de iluminação artificial. Além disso, o elemento proposto apresenta potencial para incrementar a ventilação natural, mesmo com a janela fechada, tornando possível seu uso em dias de chuva e/ou à noite.

O Filtro Sol-Ar pode ser utilizado tanto em edificações novas quanto em existentes de quaisquer tipologias, desde habitações de interesse social até edificações comerciais ou industriais. A sua implementação poderá ter viabilidade social e econômica pela possibilidade de reduzir significativamente o consumo de energia elétrica, sendo que não agrega custos mensais de manutenção, por tratar-se de um elemento com dispositivos simplificados.

Devido ao seu amplo território, o Brasil possui latitudes extremas e climas diferenciados em cada região geográfica, portanto, para cada latitude e clima, faz-se necessário utilizar um elemento Filtro Sol-Ar com dimensões diferentes, projetados para proteger da radiação solar excessiva. O estudo demonstra que o dispositivo desenvolvido se mostra útil, versátil e eficiente, com grande potencial de utilização na prática.

Portanto, o Filtro Sol-Ar barra a radiação solar de verão (indesejada), ao mesmo tempo em que permite a entrada da radiação solar de inverno, controla a iluminação natural e ainda auxilia na ventilação natural. É necessária a continuidade dos estudos para verificar a possibilidade de variação do tamanho do elemento de proteção horizontal para que não fique limitado a largura da janela e assim possa proteger da radiação solar a abertura em uma quantidade maior de horas por dia. O trabalho desenvolvido até o momento engloba o desenvolvimento do Filtro Sol-Ar e também a verificação de sua eficiência quanto ao desempenho em termos de radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação, porém, os ensaios de cada uma dessas especificidades necessitam ser aprofundados tendo em vista resultados mais precisos e detalhados.

REFERÊNCIAS

BELLIA, L.; MARINO, C.; MINICHIELLO; F.; PEDACE, A. An overview on solar shading systems for buildings. **Energy Procedia**, 62 , 309 – 317. 2014.

FROTA, A. **Geometria da insolação.** Studio Geros, São Paulo, 2004.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** Porto Alegre: Luzzatto, 1992.

SANTOS, J. C. P. D. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** São Carlos: [s.n.], 2002.

SILVA, H. C.; KINSEL, L. S. **Região Climática de Porto Alegre: revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada.** Porto Alegre: Arqtexto, 2006.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE MODELOS DE REFERÊNCIA DE ESCRITÓRIOS ELABORADOS COM BASE EM LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS NACIONAIS[1]

FONSECA, Raphaela W. (1); BRUCH, Julia (2); RUPP, Ricardo F. (3); BECK, Elisa O. (4); IMPROTA, Mirella L. (5); ELI, Letícia G. (6); SCALCO, Veridiana A. (7); LAMBERTS, Roberto (8)

(1) UFSC, e-mail: raphawf@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: juliatbruch@gmail.com; (3) UFSC, e-mail: ricardo.cb3e@gmail.com; (4) UFSC, e-mail: elisabeck@gmail.com; (5) UFSC, e-mail: mirellalenoirimprota@gmail.com; (6) UFSC, e-mail: leticia.eli@hotmail.com; (7) UFSC, e-mail: prof.veri@gmail.com; (8) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

A adoção de normas que regulamentam a aplicação de medidas de conservação em edificações é uma das medidas que mais proporcionam economia de energia nesse setor. No Brasil, as edificações residenciais dispõem da Norma ABNT NBR 15575 - Desempenho de Edificações Habitacionais, que regulamenta o seu desempenho mínimo. Entretanto, as edificações comerciais não possuem documento regulador semelhante. Apesar do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) atuar como um instrumento de avaliação de eficiência energética, atualmente não existe uma definição de qual seria o desempenho energético mínimo dessas edificações. Neste sentido, o presente trabalho visou levantar tipologias de edifícios de escritório e estimar o seu desempenho energético de acordo com o método da etiqueta PBE Edifica. O levantamento contemplou diferentes fontes de pesquisa e permitiu a elaboração de modelos de referência fundamentados nas características construtivas predominantes e nas que resultariam em edifícios menos e mais eficientes quanto ao desempenho termoenergético. Estes modelos foram avaliados pelo método prescritivo do RTQ-C. Dessa forma pôde-se estimar o desempenho de edificações comumente encontradas no parque edificado nacional. Estes resultados devem servir de subsídio para o desenvolvimento de índices mínimos de edificações comerciais no Brasil.

Palavras-chave: Índices mínimos. Eficiência energética. Edificações de escritórios.

ABSTRACT

The adoption of government rules for application of conservation measures in buildings is one of the measures that provide more energy savings in this sector. In Brazil, the residential buildings have the ABNT NBR 15575 - Performance of Buildings Housing, which regulates its minimum performance. However, commercial buildings have no similar regulatory document. Despite the Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) as an energy

[1] FONSECA, Raphaela W. *et al*. Avaliação do desempenho termoenergético de modelos de referência de escritórios elaborados com base em levantamento de características construtivas nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

efficiency assessment tool, currently there is no definition of what would be the minimum energy performance of these buildings. In this sense, the present study aimed to raise office buildings typologies and assess its energy performance according to the method of PBE Build label. The survey included different sources of research and allowed the development of reference models based on prevailing constructive characteristics and that would result in buildings less and more efficient as the thermoenergetic performance. These models were evaluated by the prescriptive method of RTQ-C. Thus one can estimate what is the performance of buildings commonly found in the built national park. These results should serve as basis for the development of minimum rates of commercial buildings in Brazil.

***Keywords**: Minimum rates. Energy efficiency. Office buildings.*

1 INTRODUÇÃO

A adoção de normas que regulamentam a aplicação de medidas de conservação em edificações novas ou existentes é uma das medidas que mais proporcionam economia de energia por parte do setor de edificações (SCALCO et al, 2012). Algumas abarcam temas de sustentabilidade, incluindo o da eficiência energética, e outras são focadas totalmente no uso racional da energia, tais como os certificados energéticos *Energy Performance Certificates* (EPCs), obrigatórios na Europa em função da Diretiva Europeia 2002/91/CE, recentemente reformulada pela Diretiva 2010/31/EU (LAMBERTS et al, 2015).

O Inmetro, através do PROCEL-Edifica, apresenta como ferramenta de avaliação energética para edificações comerciais o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C (BRASIL, 2010). Este regulamento especifica requisitos para a avaliação do nível de eficiência energética cuja categorização varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Entretanto, apesar do país possuir um instrumento de avaliação de eficiência energética, atualmente não existe uma definição de qual seria o desempenho energético mínimo que poderia ser exigido de uma edificação comercial, de serviço e pública.

Segundo Lamberts et al (2015), a determinação de requisitos mínimos de eficiência energética nas edificações estimula o mercado da construção civil no investimento em edificações mais eficientes energeticamente. No Brasil, o setor residencial dispõe da Norma ABNT NBR 15575 - Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT NBR 15575, 2013), que regulamenta o desempenho mínimo de uma edificação.

Para definir o desempenho mínimo admissível nas edificações comerciais faz-se necessário mapear as características do parque edificado nacional com o objetivo de saber qual é o consumo estimado resultante das tipologias mais frequentes.

Uma das formas seria o desenvolvimento de *benchmarks* que podem ser definidos como uma linha de base que representa determinado nível de desempenho, podendo representar um valor típico ou uma meta, dependendo do contexto (AECweb, 2016). Entretanto, esse é um estudo que está iniciando no país e demanda um grande levantamento de edifícios, o

acesso ao consumo de energia elétrica e, eventualmente, simulações computacionais.

De maneira preliminar é possível realizar levantamentos no sistema da envoltória para caracterizar o estoque construído. Neste sentido, o presente trabalho visou mapear as tipologias de edifícios de escritório edificadas em diversas bases do país para delinear as características do estoque construído.

O levantamento contemplou diferentes fontes de pesquisa e permitiu a elaboração de modelos de referência baseados no RTQ-C (BRASIL, 2010) fundamentados nas características construtivas predominantes e nas que resultariam em edifícios menos e mais eficientes quanto ao desempenho termoenergético. Edifícios de referência são edifícios caracterizados pela representatividade em função do seu uso e localização geográfica, incluindo as condições climáticas interiores e exteriores (COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2012). Eles pretendem representar o estoque típico e médio dos edifícios em termos de condições climáticas e uso (por exemplo, edifícios residenciais, escolas, etc.) (CORGNATI, 2013).

2 OBJETIVO

Avaliar o desempenho termoenergético de modelos de referência de escritórios através do método da etiqueta PBE Edifica elaborados com base em levantamento de características construtivas nacionais.

3 MÉTODO

O método consiste no levantamento de tipologias e características construtivas adotadas no cenário nacional utilizando diferentes bases e a proposição de modelos de referência, baseados neste levantamento, para a verificação da sua classe de desempenho energético segundo o RTQ-C (BRASIL, 2010).

Primeiramente, foi feita a escolha das cidades a serem abordadas, elegendo-se uma cidade representante de cada equação do RTQ-C (BRASIL, 2010). A seleção levou em consideração a disponibilidade de um banco de dados razoável e a variedade de tipologias de escritórios edificadas na cidade, visto que o foco deste trabalho foram edificações de escritório.

As cidades escolhidas foram: Curitiba (ZB 1), Florianópolis (ZB 2 e 3), São Paulo (ZB 2 e 3), Brasília (ZB 4 e 5), Salvador (ZB 6 e 8) e Cuiabá (ZB 7). Como uma mesma equação do RTQ-C pode corresponder a duas zonas bioclimáticas diferentes, quatro das cidades escolhidas representam mais de uma ZB. As cidades de São Paulo e Florianópolis pertencem à mesma zona, mas foram escolhidas pelas diferenças entre as tipologias dos edifícios. São Paulo apresenta edifícios maiores do que as outras cidades e com investimentos mais altos em tecnologia, visto que é a maior cidade do país. Já o perfil das edificações de Florianópolis condiz com inúmeras cidades de médio porte

no país.

Depois de selecionadas as cidades, foi iniciado o levantamento através de: buscas em sítios de construtoras e imobiliárias, consulta às bases de dados existentes e levantamento visual através do *Google Maps*.

Devido à dificuldade de obtenção de dados, em um segundo momento buscaram-se novas bases, independentemente da zona bioclimática ou das cidades previamente selecionadas.

3.1 Levantamento por cidade

As principais informações levantadas foram: o número de pavimentos, área total construída e tipo de uso (residencial e/ou comercial). As informações foram coletadas de sítios da internet e, quando possível, obtidas junto às prefeituras municipais.

Com os dados obtidos, foram calculados o Fator Forma (FF), Fator Altura (FA) e quando disponível a foto da fachada da edificação, o Percentual de Abertura de Fachada (PAF).

Curitiba caracteriza-se por apresentar as temperaturas mais baixas entre as cidades estudadas. Para o levantamento, a Secretaria Municipal de Urbanismo - SMU da cidade cedeu uma base de dados com 107 edificações de escritórios, sendo essa a única fonte de pesquisa.

Florianópolis foi selecionada pela disponibilidade de dados. O levantamento foi realizado através da internet e de dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SMDU. A base de dados continha 1688 edificações de escritórios, porém as vezes com informações incompletas ou duplicadas.

A escolha de São Paulo, também pertencente à zona bioclimática 3, ocorreu por ser a maior cidade do país, bem como o maior polo industrial, sendo sede de muitas empresas de grande porte. Os dados foram obtidos através de bases de dados disponíveis em meio eletrônico e buscas na internet.

A cidade de Salvador foi escolhida por ser um dos principais polos empresariais do Nordeste. O levantamento se deu exclusivamente via internet nos sítios das construtoras e imobiliárias que atendem a cidade, sendo encontrados dados relevantes de somente 9 edificações de uso comercial. Devido à escassez de informações, utilizou-se o *Google Maps* para a visualização das tipologias quando estas não estavam disponíveis por imagem.

O levantamento de Cuiabá foi feito via internet, porém os dados disponíveis em sua maioria eram de edificações residenciais ou de uso misto, não sendo possível a obtenção de uma amostra significativa de edificações. A utilização de outras cidades da ZB7 foi cogitada, porém nenhuma delas possuía dados suficientes. Portanto, Cuiabá foi excluída do levantamento.

Brasília foi selecionada por ter um clima seco. Entretanto, devido à

dificuldade na obtenção de dados já observada nas demais cidades apresentadas, optou-se por redirecionar a pesquisa para buscas em bases de dados que disponibilizasse mais informações, independentemente da cidade. Logo, Brasília também foi excluída do levantamento.

3.1.1 Buscas em sítios de construtoras e imobiliárias

A consulta a sítios das principais construtoras e imobiliárias do Brasil baseou-se nas construtoras listadas no ranking ITC (ITC, 2014) com as 100 maiores do país considerando a área total construída anual. Adicionalmente, foram realizadas pesquisas utilizando-se a ferramenta de busca Google com as seguintes palavras-chave: "construtora", "edificações comerciais", "escritórios", "lançamentos", "corretor de imóveis". A cada edificação comercial de escritórios encontrada, uma planilha Excel era alimentada com os dados disponíveis. Em São Paulo 26 construtoras foram consultadas, resultando em 57edifícios analisados.

As informações coletadas foram: imagens, orientação, número de blocos e pavimentos, área construída, tipo de atividade, número de salas, largura, altura, porcentagem de abertura de cada fachada e do embasamento, informações de proteções solares, vidro utilizado e absortância (material utilizado).

3.1.2 Levantamento visual através do *Google Maps*

Para se obter a orientação das edificações e as imagens de suas fachadas, quando estas não estavam disponíveis nos sítios ou buscadores da internet, foi utilizado o *Google Maps* com o endereço disponível.

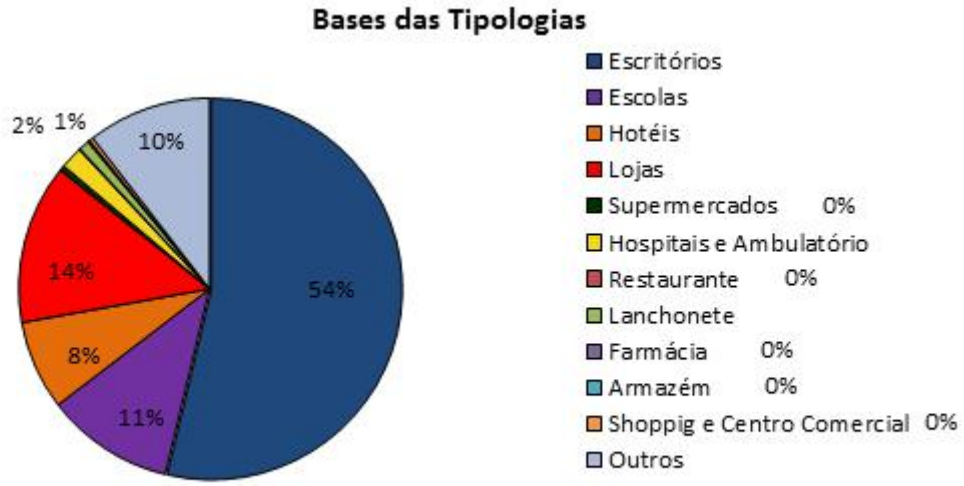
3.2 Consulta às bases de dados disponíveis

Diante da dificuldade para obtenção de dados das cidades previamente selecionadas, novas fontes foram pesquisadas e incluídas no levantamento das edificações de escritório. As bases de dados disponíveis para análise e usadas na pesquisa foram: 1) base das edificações etiquetadas, fornecida pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e com total de 61 edificações, sendo 24 delas localizadas em cinco zonas bioclimáticas brasileiras; 2) base Tamanini (TAMANINI JUNIOR, 2013), com 30 edificações localizadas em Florianópolis; 3) base CITE (CARLO; AMORIM, 2013), que possui 263 edificações distribuídas nas zonas bioclimáticas brasileiras 3 e 8; 4) base da Prefeitura de Curitiba, com dados de 107 edificações; 5) base da Prefeitura de Florianópolis, com dados de 1.668 edificações; 6) base da internet, com 1.421 dados, sendo 1.350 obtidos do Centro de Estudos da Metrópole (CEM, 2014) e 71 do levantamento da primeira etapa da pesquisa como descrito nos itens 3.1, somando 3.513 edificações.

A Figura 1 destaca como o estoque construído de edificações comerciais, de serviços e públicas obtido nas bases de dados está distribuído, na qual a

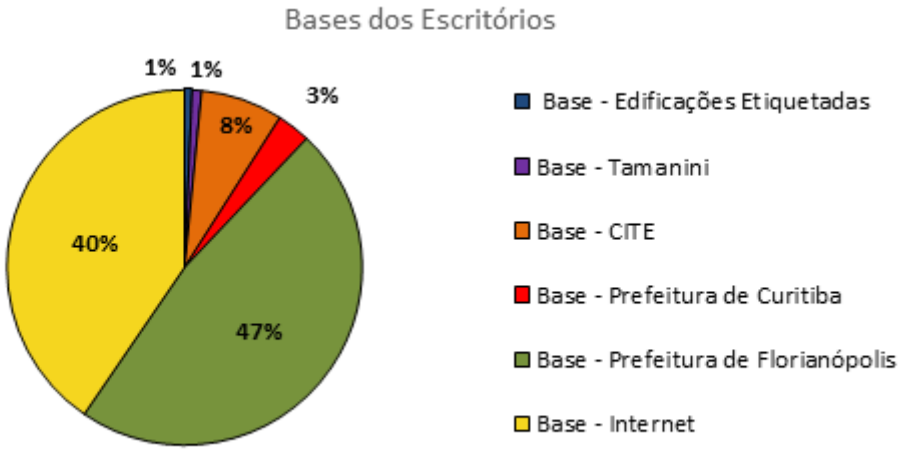
tipologia de escritórios é mais representativa, com 3.513 edificações de um total de 6.538.

Figura 1 - Distribuição do estoque construído de edificações comerciais, de serviços e públicas



Para as edificações de escritório, a representatividade de cada base de dados é indicada na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição da base de dados para edificações de escritório



3.3 Processamento dos dados e proposição dos modelos de referência

Para a caracterização das tipologias de edificações de escritório e a definição de modelos de referência foram analisadas as características de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Características analisadas

Categoria	**Detalhamento**
Tipologias arquitetônicas	Ângulos horizontais de sombreamento (AHS), ângulos verticais de sombreamento (AVS), pé-direito, percentual de abertura da fachada (PAF), percentual de abertura zenital (PAZ), azimute (°), forma, número de pavimentos, área por pavimento (m²) e cor dos vidros
Propriedades térmicas dos materiais	Ucob - Transmitância da cobertura (W/m²K), Upar - transmitância das paredes (W/m²K), acob - absortância da cobertura, apar - absortância das paredes, FS - fator solar e capacidade térmica (J/m²K)

Nem todas as bases de dados possuíam informações sobre todas as variáveis apresentadas na Tabela 1, assim, cada variável apresentou um percentual diferente de dados provenientes de cada base. Para a análise da distribuição da forma das edificações, por exemplo, puderam ser utilizados 308 edifícios de escritório de toda a amostra levantada, representados por 7% da base das edificações etiquetadas, 10 % da base Tamanini e 83% da base CITE. As outras bases não possuíam informações quanto à forma do edifício. A análise das absortâncias, capacidades e transmitâncias térmicas das paredes e coberturas foi representada por apenas 24 edifícios de escritório, todos da base do Inmetro, enquanto as outras bases não possuíam tais informações.

Para a proposição dos modelos de referência cada variável do edifício, apresentada no detalhamento da Tabela 1, foi classificada entre três categorias. As categorias destacam os valores de cada variável que levariam a uma edificação mais eficiente (A), menos eficiente (D) e os valores mais frequentes na amostra (MF). Os termos mais eficiente e menos eficiente correspondem a características construtivas que levam a um menor ou maior consumo, assumindo-se que os edifícios são totalmente condicionados e considerando apenas aspectos relacionados ao desempenho térmico. Adicionalmente, estes três modelos bases de referência foram avaliados considerando-se três escalas de edificações de escritórios: pequenos, médios e grandes, as quais terão suas dimensões definidas no presente artigo.

3.4 Avaliação de eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-C

O WebPrescritivo é um serviço web para a avaliação de eficiência energética que simula a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) pelo método prescritivo para edifícios comerciais, de serviços e públicos disponibilizado no site do LabEEE em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>.

Os três modelos de referência propostos conforme descrito no item 3.3, considerando-se as três escalas de edifícios de escritório, foram avaliados pelo método prescritivo do RTQ-C (BRASIL, 2010). Assim, totalizaram-se 9 simulações no programa Webprescritivo objetivando verificar a classe de eficiência energética, conforme as características estabelecidas para cada categoria (A, D e MF).

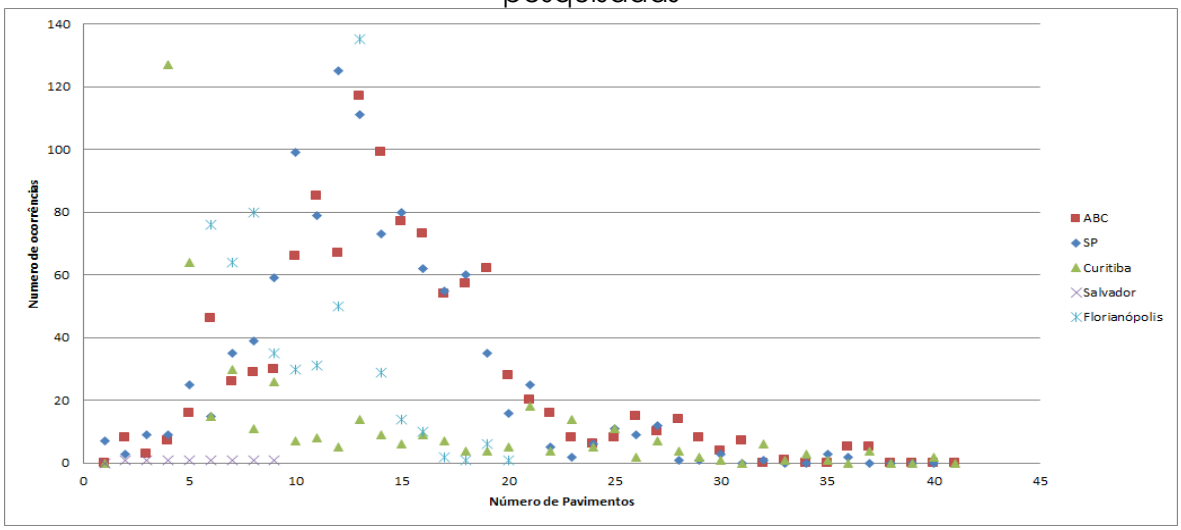
4 RESULTADOS

4.1 Levantamento por Cidade

Os problemas enfrentados nesta etapa foram: a falta de dados para algumas cidades, construtoras e imobiliárias menores não tinham sítio para consulta, e as edificações encontradas na sua maioria eram residenciais e de empreendimentos recém lançados, não sendo representativas do parque construído da cidade.

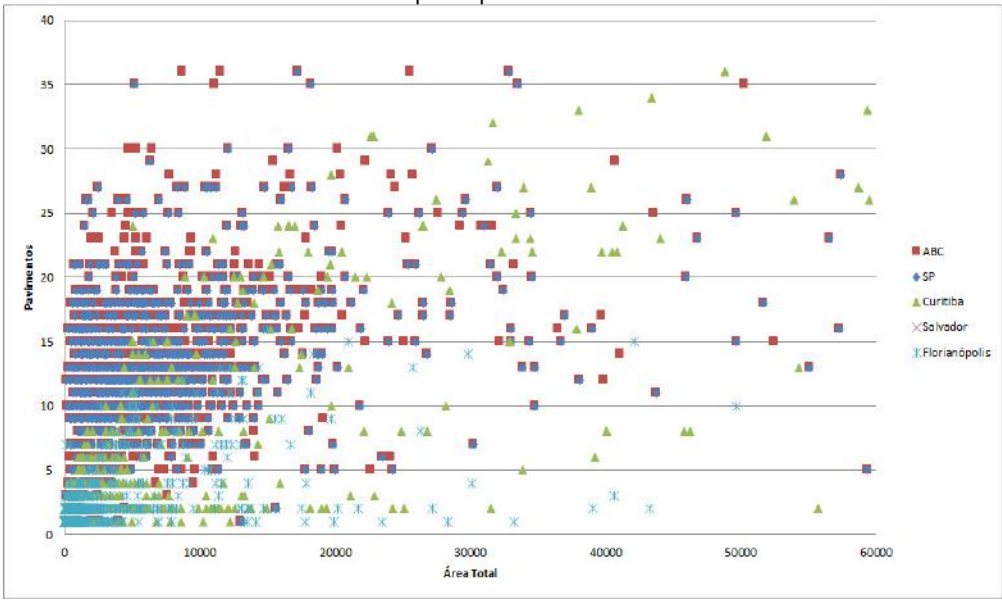
O gráfico apresentado na Figura 3 mostra que edificações entre 5 e 20 pavimentos são predominantes principalmente em cidades como Florianópolis, São Paulo e cidades do ABC.

Figura 3 - Número de pavimentos das edificações de escritório nas cidades pesquisadas



Já no gráfico da Figura 4 que representa a relação entre área total e número de pavimentos, observa-se que a maior parte das edificações tem até 10.000m² distribuídos em até 20 pavimentos. Estes edifícios são, predominantemente, mais baixos em cidades como Florianópolis e Curitiba do que no ABC Paulista, incluindo a cidade de São Paulo. Nota-se também que os dados da cidade de Curitiba apresentam-se mais espalhados que os demais, caracterizando maior variação de proporção nas edificações.

Figura 4 - Numero de pavimentos das edificações de escritório nas cidades pesquisadas



4.2 Processamento dos dados e proposição dos modelos de referência

A Tabela 2 apresenta a compilação das características obtidas para cada modelo de referência proposta na análise da base de dados.

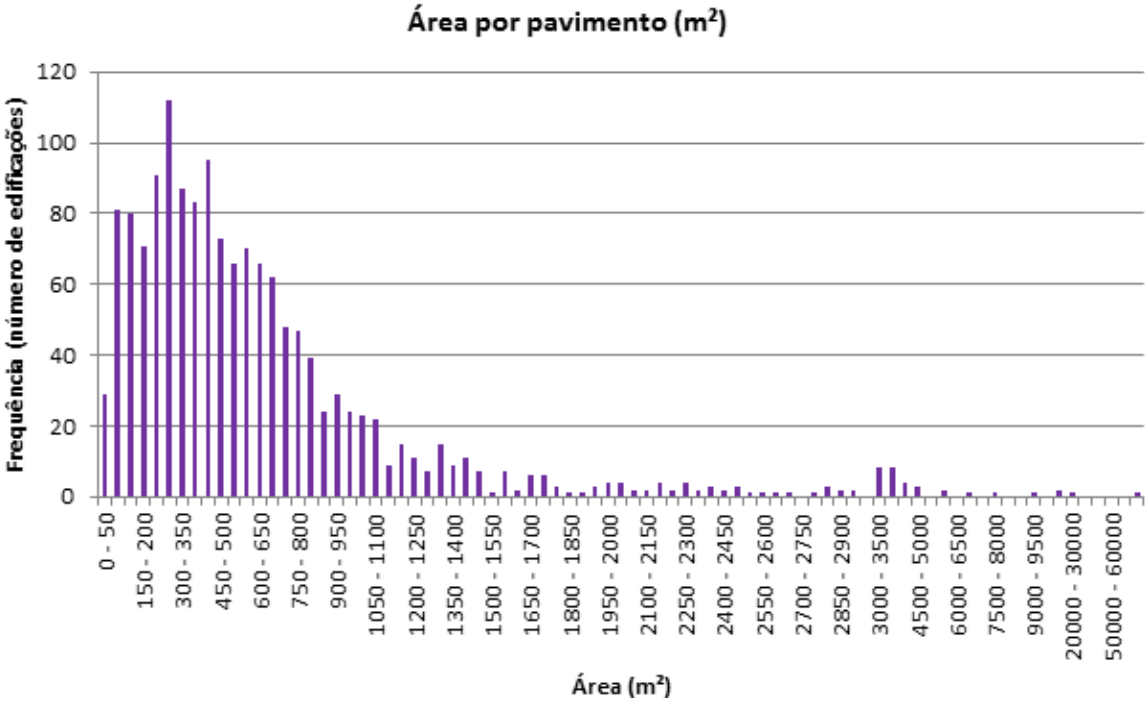
Tabela 2 - Características obtidas para cada modelo de referência

Componente	Escritórios Pequenos			Escritórios Médios			Escritórios Grandes		
	Mais Eficiente (A)	Mais Frequente (MF)	Menos Eficiente (D)	Mais Eficiente (A)	Mais Frequente (MF)	Menos Eficiente (D)	Mais Eficiente (A)	Mais Frequente (MF)	Menos Eficiente (D)
ENVOLTÓRIA									
Pré-Requisitos									
Transmitância térmica da cobertura - Ucob ($W/m^2.K$)	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00
Transmitância térmica da parede - Upar ($W/m^2.K$)	0,50	3,00	3,75	0,50	3,00	3,75	0,50	3,00	3,75
Percentual de Abertura Zenital -PAZ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Absortância térmica da cobertura - acob	0,29	0,39	0,59	0,29	0,39	0,59	0,29	0,39	0,59
Absortância térmica da parede - apar	0,29	0,59	0,59	0,29	0,59	0,59	0,29	0,59	0,59
Dados Dimensionais da Edificação (áreas e volume)									
Área total construída - Atot (m^2)	300	300	300	5000	5000	5000	37500	37500	37500
Área de projeção da cobertura - Apcob (m^2)	300	300	300	500	500	500	1500	1500	1500
Área de projeção do edifício - Ape (m^2)	300	300	300	500	500	500	1500	1500	1500
Volume Total da Edificação - Vtot (m^3)	900	900	900	15000	15000	15000	112500	112500	112500
Área da envoltória - Aenv (m^2)	209	209	209	2700	2700	2700	11691	11691	11691
Características das Aberturas									
Fator Solar - FS	0,29	0,49	0,89	0,29	0,49	0,89	0,29	0,49	0,89
Percentual de Área de Abertura na Fachada total - PAFt (%)	29	49	89	29	49	89	29	49	89
Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste - PAFo (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ângulo Vertical de Sombreamento - AVS (°)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ângulo Horizontal de Sombreamento - AHS(°)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Os modelos de referência foram definidos após análise da ASHRAE 90.1 (2013), observação dos resultados da proporção geométrica das edificações, do número de pavimentos e da área por pavimento, este último exemplificado pela Figura 5. Assim, propuseram-se três modelos de referência: 1) Escritório pequeno, com 1 pavimento com 300m² com a proporção geométrica de 19,36m x 15,50m; 2) Escritório médio, com 10 pavimentos de 500m² cada, seguindo a proporção geométrica de 20m x 25m; e 3) Escritório grande, com 25 pavimentos de 1500m² cada com uma

proporção geométrica de 43,30m x 34,64m. A maior frequência de ocorrência em termos de área por pavimento é em torno de 250m² sofrendo uma grande queda a partir desse valor.

Figura 5 - Distribuição da frequência de ocorrência da área por pavimento



4.3 Avaliação de eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-C

A partir da definição das características de cada modelo, estabelecidas no item 4.2, foram obtidos os resultados pelo método prescritivo do RTQ-C (BRASIL, 2010).

As etiquetas parciais obtidas para a envoltória de cada um dos três modelos (escritório pequeno, médio e grande) variando as equações do RTQ-C e respectivas zonas bioclimáticas estão ilustradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação da envoltória

		EFICIÊNCIA ENVOLTÓRIA				
		Equação A	Equação B	Equação C	Equação D	Equação E
		ZB1	ZB2 e ZB3	ZB4 e ZB5	ZB6 e ZB 8	ZB7
Escritório Pequeno	Mais Eficiente (A)	A	A	A	A	A
	Mais Frequente (MF)	C	C	B	C	E
	Menos Eficiente (D)	E	E	E	E	E
Escritório Médio	Mais Eficiente (A)	A	A	A	A	A
	Mais Frequente (MF)	C	C	B	C	E
	Menos Eficiente (D)	E	E	E	E	E
Escritório Grande	Mais Eficiente (A)	B	B	B	B	B
	Mais Frequente (MF)	D	D	C	D	E
	Menos Eficiente (D)	E	E	E	E	E

Observando os resultados para as tipologias mais eficiente e mais frequente, nota-se que os escritórios grandes apresentam classes inferiores em todas as zonas bioclimáticas se comparado aos escritórios pequenos e médios. Isto se deve ao fato de que o efeito das características da envoltória nas edificações pequenas e médias é mais significativo no balanço térmico da edificação devido à proporção entre a sua área total em relação a sua área perimetral.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho visou levantar as tipologias de edifícios de escritório edificadas no país para delinear as características do estoque construído. Para uma avaliação do desempenho energético de edificações de escritórios por meio da identificação de padrões de consumo encontrados no estoque construído, comparando-se os indicadores de desempenho, é importante se dispor de bancos de dados elaborados com base em grandes amostras. Apesar da inexistência de um banco de dados completo, necessário para estabelecer modelos representativos do estoque construído, os dados levantados resultaram em padrões de consumo de acordo com as características construtivas e ocorrência por zona bioclimática.

É importante destacar que informações mais detalhadas sobre indicadores das tipologias, como PAFs, AHS, AVS, ou propriedades térmicas dos materiais, como transmitâncias e absortâncias, fator solar e capacidade térmica não eram fornecidos para a grande maioria das referências. Com isso, valores obtidos por meio de levantamento visual pela internet e também pela base de dados de edificações etiquetadas podem conter vícios por imprecisão, ou por se tratar de edificações que já possuíam preocupação com indicadores que afetam significativamente sua classificação final no processo de etiquetagem.

Outro aspecto que merece destaque refere-se às características das tipologias encontradas na amostragem avaliada. As edificações comerciais observadas não apresentaram diferenças significativas de projeto, tanto formais quanto em tecnologia construtiva ou materiais que indicasse uma adequação ao seu contexto climático. Entretanto, sabe-se que uma edificação adequada ao seu contexto pode reduzir de maneira determinante o consumo energético em uso. Como ilustrado no Quadro 1, a mesma edificação comercial, quando construída em diferentes zonas bioclimáticas, apresenta desempenho significativamente diferente. Nesse sentido, há um potencial de economia de energia que não está sendo aproveitado quando se trata de conceber tipologias de edifícios de escritórios em diferentes regiões do Brasil, que exigem diferentes estratégias bioclimáticas da arquitetura para garantir um melhor desempenho energético.

Os resultados deste trabalho salientam a importância de pesquisas de *benchmarking* e levantamento de dados em geral para que se possa caracterizar o estoque construído e com isto determinar índices mínimos

para a construção civil de edificações comerciais, bem como para avaliar o seu potencial energético. Este trabalho discutiu as dificuldades para o levantamento de dados e indicou que a envoltória dos edifícios de escritório levantados apresenta classificação de eficiência energética entre B e D, conforme a classificação do RTQ-C. Apesar da dificuldade para obtenção de dados, mediante a observação de pouca variação entre edificações de diversas regiões, pode-se inferir que esta classificação pode retratar a maior parte das edificações de escritórios do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eletrobrás pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASHRAE. ASHRAE Standard 90.1: Energy standard for building except low-rise residential buildings. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning engineers. Atlanta, GA, EUA: ASHRAE, 2013.

AECweb. CBCS busca aumentar eficiência energética de edificações em atividade. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cbcs-busca-aumentar-eficiencia-energetica-de-edificacoes-em-atividade_12792_0_1>. Acessado em abril, 2016.

CARLO, J.; AMORIM, A.C. **Caracterização de Tipologias de Edifícios Comerciais.** Universidade Federal de Viçosa. [S.l], 2013.

CEM, Centro de Estudos da Metrópole. **LANÇAMENTOS IMOBILIÁRIOS COMERCIAIS.** Disponível em: <http://www.fflch.usp.br/centrodametropole//upload/arquivos/Empreendimentos_Comerciais_1985_2013_CEM.rar>. Acessado em: 03 jul. 2014.

CORGNATI, S. P.; FABRIZIO, E.; FILIPPI, M.; MONETTI, V. (2013). IReference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. **Applied energy.** 2013, 102, 983–993.

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2012). **Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.** Disponível em: **<**http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%205441%202012%20INIT>. Acessado em abril, 2016.c e ago. 2014.

ITC – Inteligência Empresarial da Construção. Ranking das 100 maiores construtoras em 2014. Disponível em: http://rankingitc.com.br/. Acessado em: entre mar. e jul. 2014.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificaçõea. WebPrescritivo. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>. Acesso em: entre abr. e jul. 2015.

LAMBERTS, R.; SCALCO, V. A.; FOSSATI, M.; TRIANA, M.A.; VERSAGE, R. De S.. Brasil, Plano Nacional de Eficiência Energética, Etiquetagem e Selo Azul da Caixa. In: GONÇALVES, Joana Carla Soares, BODE, Klaus (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, v. 1, p. 545-571.

SCALCO, V. A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R. S; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. (2012). Innovations in the Brazilian Regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architecture Science Review.** 2012, 55, 71–81.

TAMANINI JUNIOR, T. **Modelo predominante de edifícios de escritórios para análise energética em Florianópolis**. 2013. 99 f. Relatório de iniciação científica PIBIC/CNPq. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO DO SOLO NO MICROCLIMA DE QUATRO REGIÕES DISTINTAS DE CUIABÁ-MT [1]

ZANATTA, Deborah (1); Paula, Diana (2); MENACHO, Eduardo (3); SANTOS, Flávia (4); BENTO, Gabriely (5); NOGUEIRA, José (6); HONDO, Mariana (7); NOGUEIRA, Marta (8); SOUZA, Natallia (9); SANTOS, Victor (10)

(1) UFMT, e-mail: deborahzanatta2@gmail.com; (2) UFMT, e-mail: arqdiana.paula@gmail.com; (3) UFMT, e-mail: eduardomenachocampos@live.com; (4) UFMT, e-mail: flavia_mms@hotmail.com; (5) UFMT, e-mail: gabrielyalbuez@gmail.com; (6) UFMT, e-mail: parananogueira@gmail.com; (7) UFMT, mari_hondo@hotmail.com; (8) UFMT, e-mail: mcjanp@gmail.com; (9) UFMT, natalliass@hotmaill.com; (10) UFMT, victor.abotelho@gmail.com

RESUMO

O desenvolvimento urbano de Cuiabá-MT ocasionou mudanças no adensamento e ocupação do solo na cidade, sendo que áreas antes cobertas por vegetação tornaram-se construídas e impermeabilizadas. As mudanças ocorridas influenciaram não só o modo de vida da população, como também fatores climáticos, como a temperatura e umidade do ar. Tendo em vista este fato, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de análise da correlação dos dados de temperatura e umidade do ar com a ocupação do solo em quatro regiões distintas da cidade de Cuiabá-MT, por meio de estações micrometeorológicas, no período de Maio a Outubro do ano de 2015, durante as 24 horas do dia. Os pontos de coleta sofreram variações climáticas devido às distintas características de ocupação do solo de cada uma das regiões da cidade. Constatou-se que quanto maior as áreas revestidas de solo nu, maiores as amplitudes térmicas apresentadas. As áreas pavimentadas e construídas influenciaram no aumento da temperatura do ar, enquanto a vegetação, de forma geral, contribuiu para o aumento de sua umidade. Verificou-se que a arborização urbana e remanescente, por possuírem maior porte, resultam em taxas de umidade maiores e temperaturas menores, sendo essenciais para o controle do microclima urbano.

Palavras-chave: Microclima. Ocupação do solo. Vegetação.

ABSTRACT

The urban development of Cuiabá-MT city has occasioned changes in land use and density in the city and areas previously covered by vegetation became built and paved areas. The occurred changes have influenced not only on people's way of life, but climatic factors such as air temperature and humidity. In view of this fact, this research was developed in order to analyse the correlation between air temperature and air humidity data with the land use of four regions of Cuiabá-MT, through micrometeorological stations, between May and October of 2015, during the 24 hours of the day. The points of data collection have suffered from climatic variations of their respective regions, whereas each region had small variations due to land use characteristics. It was found that the higher the bare soil area, the higher the

[1] ZANATTA, Deborah *et al*. Análise da influência da ocupação do solo no microclima de quatro regiões distintas de Cuiabá-MT. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

temperature range. The paved and the built areas have leaded to the increase of air temperature while the vegetation, in general, has contributed to increase in air humidity. It was found that urban trees and remaining vegetation, by having greater height, result in higher levels of moisture and lower temperatures, which is essential for the control of urban microclimate.

Keywords: *Microclimate. Land Use. Vegetation.*

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a vegetação é eficiente na redução da radiação solar direta sobre o solo e nos edifícios próximos e contribui para proporcionar um microclima que atenda as condições de conforto térmico ao ser humano. O uso de vegetação é uma excelente estratégia para diminuição do consumo de energia para refrigeração, já que atenua os efeitos causados pela radiação solar. A utilização inadequada de alguns materiais impróprios para o clima da região e sofrem maior interferência da incidência direta da radiação solar, e associado a ausência de vegetação, acabam criando grandes estufas que transformam o microclima dos agrupamentos urbanos, elevando a temperatura dos mesmos. A vegetação atua como mecanismo de regulação termo-higrometrico, fazendo com que grande parte da radiação solar que é absorvida seja transformada pela evapotranspiração em calor latente por meio da água proveniente das folhas. Dessa maneira podemos observar que a vegetação traz grandes benefícios para seu derredor (PAULA, 2004).

As constantes alterações na dinâmica de ocupação do solo urbano, bem como a expansão urbana, estão diretamente relacionadas com o desenvolvimento econômico e o crescimento populacional. Essas alterações implicam na modificação dos revestimentos de superfície do solo, resultando no aumento de áreas construídas em detrimento das áreas com vegetação. Maciel et al. (2011), apontam que o crescimento e a concentração das populações nos centros urbanos têm acelerado o processo de mudança da cobertura das superfícies do solo. Este crescimento tem contribuído para o fenômeno das ilhas de calor que exigem dos pesquisadores mais dedicação ao estudo da interação de variáveis microclimáticas com os materiais e formas que compõe o ambiente urbano.

A rugosidade superficial do tecido urbano é influenciada pela cobertura do solo, podendo ser alterada devido à interferência antrópica que resulta na substituição dessa cobertura, transformando-a de natural para artificial, e assim modificando suas propriedades radiativas, como o albedo e a emissividade. As propriedades térmicas e hidráulicas do solo também são alteradas, podendo comprometer então sua condutividade, admitância e capacidade térmica, bem como a permeabilidade da superfície e sua condutividade e capacidade hidráulica. Dessa maneira, devido à interferência direta nos processos de troca de momento, massa e energia, o balanço de energia das superfícies urbanizadas podem sofrer profundas alterações (CALLEJAS, 2012).

A substituição do revestimento superficial natural por materiais que podem

apresentar baixa refletância pode ocasionar algumas interferências no microclima urbano. Romero et al. (2013) distinguiram em seus estudos que a vegetação atua nesse microclima estabilizando os efeitos sobre seus arredores imediatos, reduzindo os extremos ambientais.

Em estudo realizado por Labaki (2011) é apontado a importância da vegetação para proporcionar maiores condições de conforto térmico. Esse processo se dá pela atenuação da incidência de radiação solar nas superfícies, reduzindo-se o aquecimento e consequentemente a emissão de calor pelas superfícies. Labaki observa ainda a evapotranspiração como o processo responsável pela conversão da energia solar absorvida em calor latente, resultando no resfriamento do ar e da própria planta pela renovação do ar e pela umidificação produzida pelo vapor d'água liberado no processo.

O aumento da área construída e ocupada do solo urbano também acarreta a diminuição do índice de permeabilidade do solo, índice este que está relacionado com a temperatura e umidade locais. Em áreas mais adensadas e consequentemente mais impermeabilizadas a temperatura é mais elevada, assim como a umidade é menor. Segundo Costa (2007), a impermeabilização do solo em meios urbanos e a diminuição das áreas verdes contribui para o aumento da troca de calor sensível em detrimento da troca de calor latente da radiação solar absorvida pelas superfícies e pelo ar.

Em Cuiabá, Santos et al. (2013) encontraram que áreas localizadas próximas a massas de vegetação apresentam microclima próprio, diferente de outras áreas da cidade, proporcionando altos índices de umidade relativa do ar e contribuindo para a redução da temperatura. Os autores destacam ainda a importância de parques urbanos em cidades com o clima semelhante ao de Cuiabá, sendo um instrumento essencial de regulação de variáveis termo-higrométricas da região e amenização dos efeitos das ilhas de calor.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência dos diferentes padrões de ocupação do solo no microclima local por meio da análise de dados de temperatura e umidade do ar fornecidos pelas estações micrometeorológicas selecionadas e por mapeamento das superfícies de recobrimento do solo. Desta forma, procura-se entender a importância da vegetação e de elementos naturais como elemento essencial para a redução e mitigação dos efeitos das ilhas de calor no meio urbano.

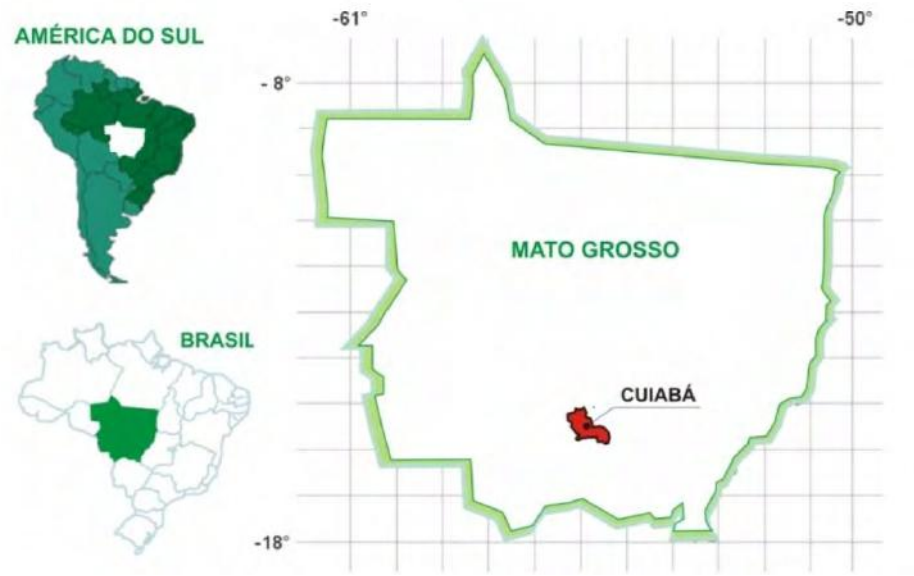
2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Cuiabá, capital do estado do Mato Grosso, situada na latitude15°10', 15°50' Sul e longitude50°50', 50°10'Oeste. Localizada na região centro-oeste do Brasil (Figura 1). A cidade possui uma área de 3.538,17 Km². Compõe o município de Cuiabá, além do distrito sede, os distritos Coxipó da Ponte, Coxipó do Ouro e Guia (CUIABÁ, 2009).

A cidade de Cuiabá é caracterizada por sua grande concentração de

radiação solar resultando em altas temperaturas na maior parte do ano e por apresentar duas estações bem distintas: o verão, quente-úmido, e o inverno, quente-seco (ALMEIDA Jr, 2005).

Figura 1 – Localização do município de Cuiabá



Fonte: Oliveira (2011)

Foram escolhidos quatro pontos distintos de Cuiabá para análise (Figura 2) localizadas nas regiões leste e oeste do município.

Figura 2 – Localização das estações micrometeorológicas

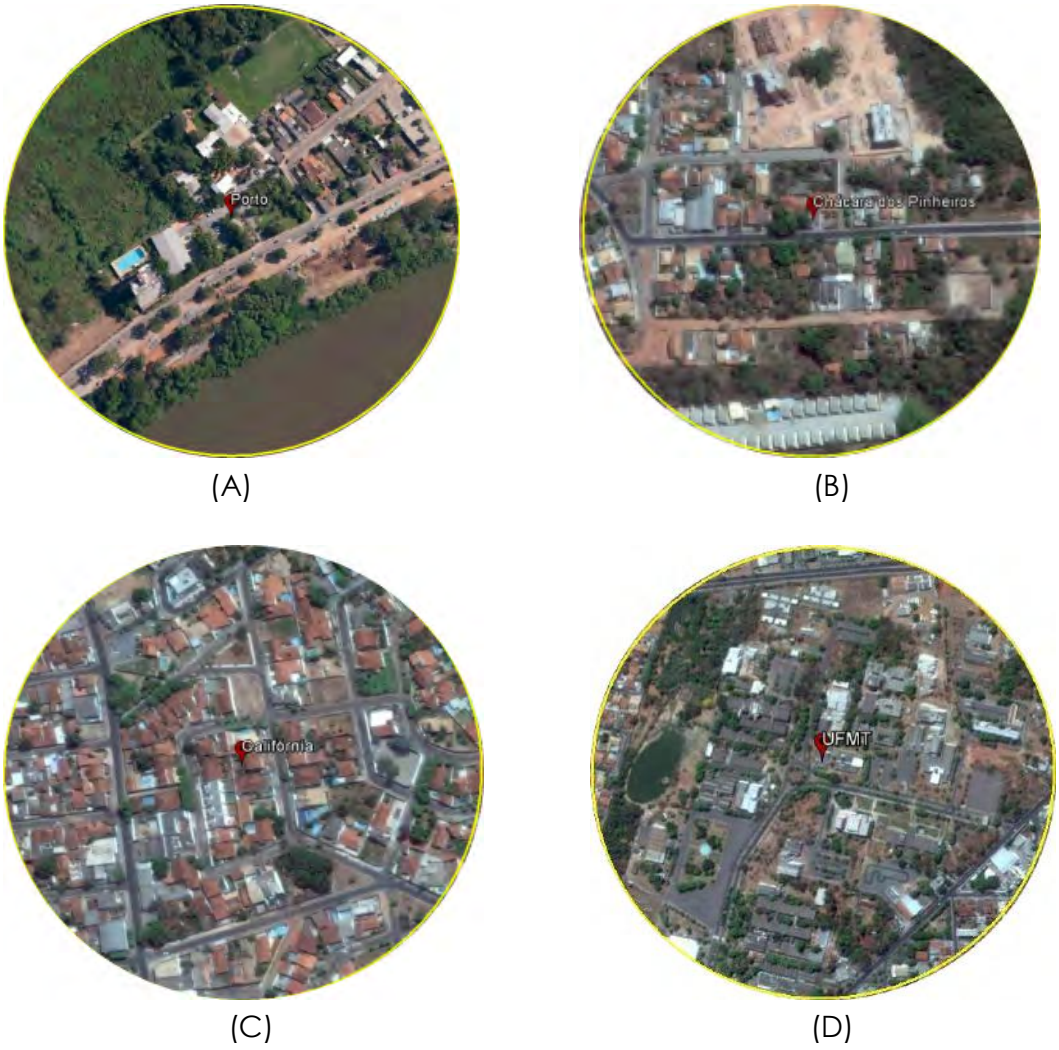


Fonte: Google Maps

3 METODOLOGIA

Os dados utilizados no estudo foram obtidos por meio de quatro estações micrometeorológicas, locadas em pontos de coleta escolhidos em regiões diferentes de Cuiabá-MT, são eles: Porto, Chácara dos Pinheiros, Jardim Califórnia e Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) (Figura 3).

Figura 3 – Estações micrometeorológicas: (A) Porto, (B) Chácara dos Pinheiros, (C) Califórnia, (D) UFMT



(A) (B)

(C) (D)

Fonte: Google Maps

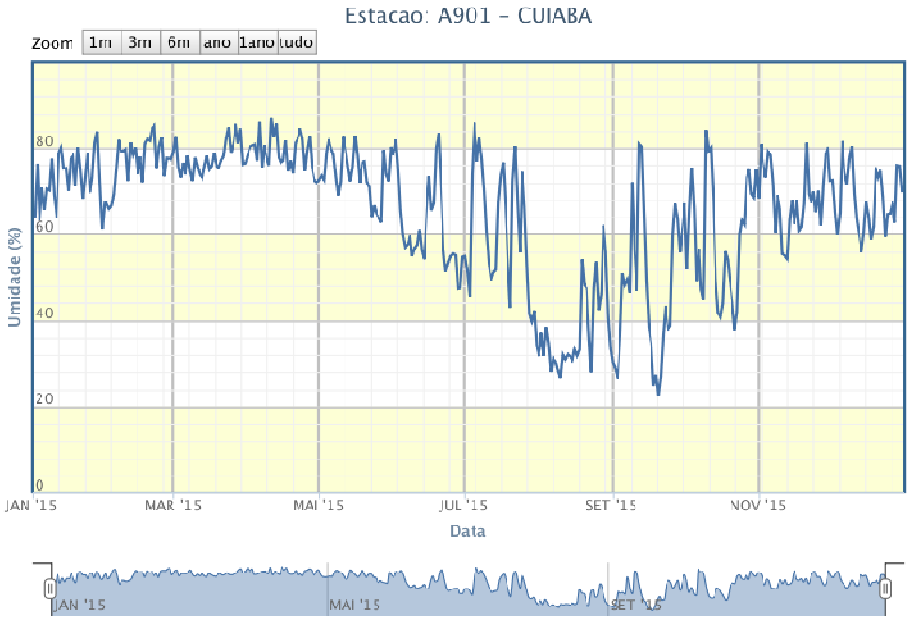
As estações foram instaladas em regiões escolhidas de forma estratégica, por possuírem diferentes características. A estação Porto fica próxima ao Rio Cuiabá e a região comporta uma área com bastante vegetação, assim podendo ser comparada com outros locais não próximos ao rio, como a estação Chácara dos Pinheiros, locada em uma área que também possui bastante vegetação, mas sem a presença do corpo d'água. A estação Califórnia está em uma região com pouca vegetação e distante do rio, e a estação UFMT está situada em uma área com uma quantidade intermediária de vegetação em relação a Califórnia e chácara dos pinheiros. Desta maneira, os pontos usados para a coleta dos dados possuem características distintas que proporcionam uma análise comparativa.

A estação micrometeorológica utilizada no ponto UFMT é composta pelo Conjunto de Sensores Integrados (ISS) modelo Vantage Pro 2 Plus, da marca Davis Instruments, enquanto as estações locadas nos pontos restantes é da marca ONSET composto por sensores do tipo datalogger com unidade de

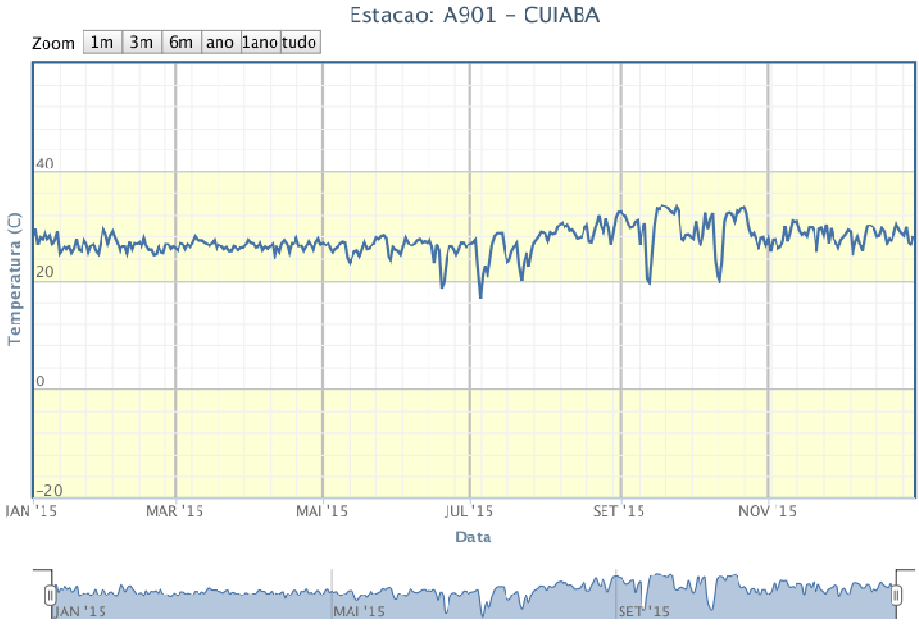
armazenamento e transmissão de dados remoto (Modelo U30), de temperatura do ar e umidade relativa do ar (Modelo S0THB-M002) e de radiação solar global - piranômetro (Modelo S-Lib-M003).

Como critério na escolha dos períodos analisados, foram considerados dados de umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) da Estação micrometeorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ao longo do ano de 2015 (Figura 4).

Figura 4 – Dados micrometeorológicos: (A) temperatura do ar, (B) umidade relativa do ar



(A)



(B)

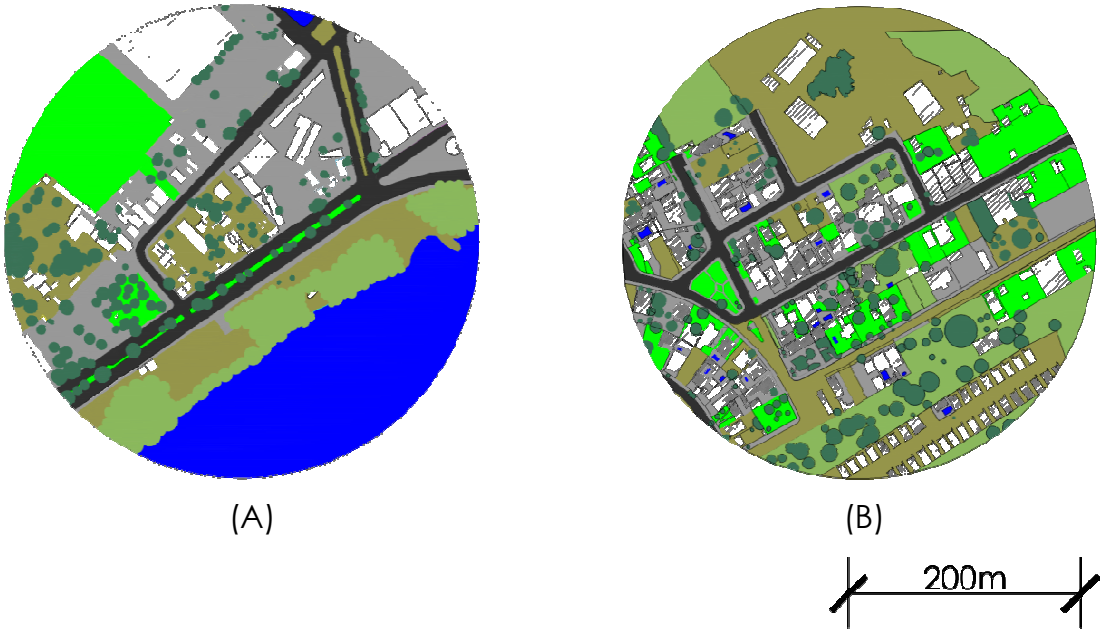
Fonte: INMET

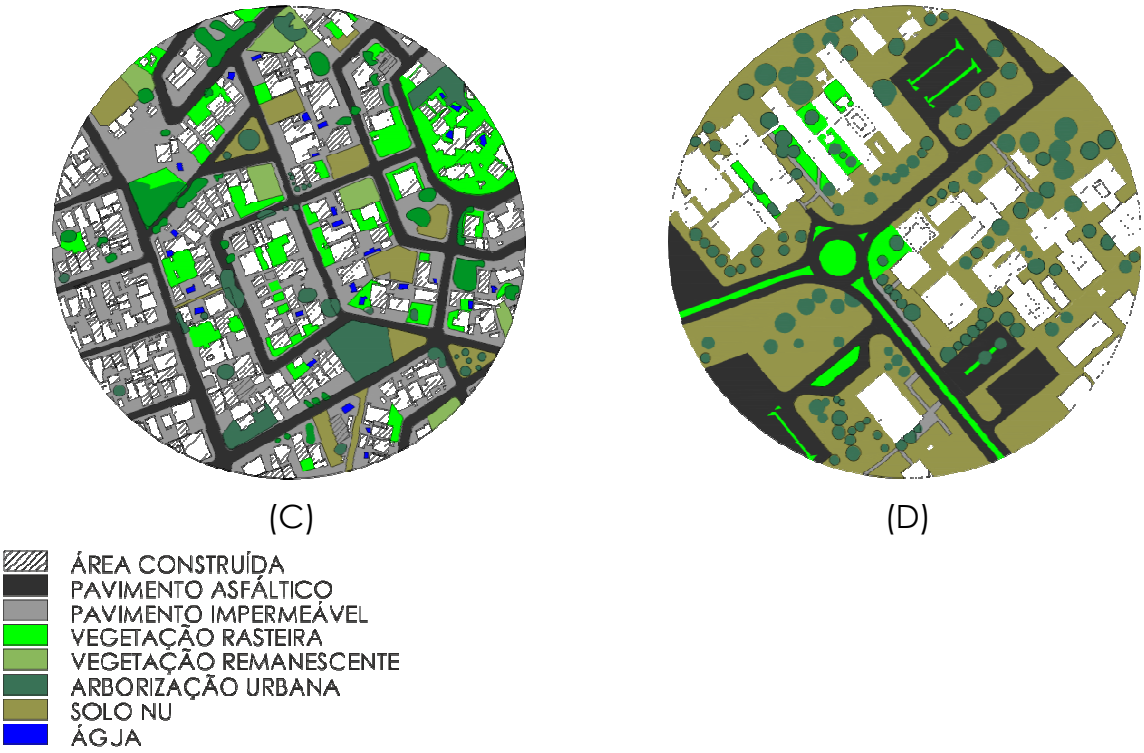
Desta forma, o período de análise foi de Maio a Outubro de 2015, pois o mês de maio representa a transição do período quente-úmido para o quente-seco, enquanto outubro, a transição do quente-seco para quente-úmido. Os dados coletados então referenciam-se a todo o período quente-seco do ano de 2015 e seus meses de transição, para análise da variação de temperatura e umidade nos mesmos influenciada pelo tipo de cobertura do solo e da vegetação próxima de cada ponto de coleta.

As medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram realizadas durante as 24 horas do dia. Os dados obtidos foram processados através do software Excel, que permitiu a elaboração de tabelas de porcentagens e gráficos analíticos.

Para se levantar as superfícies e revestimentos das áreas de estudo foram realizados mapeamentos de uso e ocupação do solo através de imagens de satélites das áreas selecionadas, obtidas pelo aplicativo Google Earth. Os tipos de cobertura para a elaboração dos mapas de uso e ocupação foram definidos como área construída, pavimento asfáltico, pavimento impermeável, vegetação rasteira, vegetação remanescente, arborização urbana, solo nu e água (Figura 5).

Figura 5 – Levantamento do revestimento do solo no raio de abrangência das seguintes estações micrometeorológicas: (A) Porto, (B) Chácara dos Pinheiros, (C) Califórnia, (D) UFMT





Fonte: Os autores

De posse dos mapas elaborados, foi realizado o levantamento das porcentagens de materiais de cobertura do solo por meio do software AutoCad 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cobertura do solo

Segundo análise das superfícies de cobertura do solo (Tabela 1), as áreas de estudo possuem a maior parte de sua superfície coberta por materiais impermeáveis, com exceção da estação UFMT, que apresenta apenas 0,86% de pavimentação impermeável. A pavimentação asfáltica também compõe parte considerável da superfície, sendo este um dos vetores para o desenvolvimento do fenômeno das ilhas de calor no meio urbano devido ao seu baixo albedo.

Tabela 1 – Porcentagem de área por atributo

ATRIBUTOS	PORCENTAGEM (%)			
	Porto	Chácara dos Pinheiros	Califórnia	UFMT
Vegetação rasteira	9,02	9,86	8,65	4,48
Água	21,51	0,37	0,48	0,00
Vegetação remanescente	8,76	9,15	2,49	0,00
Solo nu	11,30	27,20	4,56	39,95
Pavimentação impermeável	18,86	14,26	28,31	0,86
Pavimentação	9,35	5,95	16,94	19,78

asfáltica				
Área construída	11,82	21,60	30,73	23,49
Arborização urbana	9,38	11,61	7,84	11,44

Fonte: Os autores

A área construída compõe uma das maiores áreas de ocupação do solo, tendo sua porcentagem mais baixa na região Porto (11,82%), e a mais alta na região Califórnia (30,73%).

A estação Porto apresenta grande área de superfície de água (21,51%), sendo um fator importante para considerações quanto à sua influência em dados de temperatura e umidade do ar, enquanto as outras estações apresentam porcentagens baixas ou nulas.

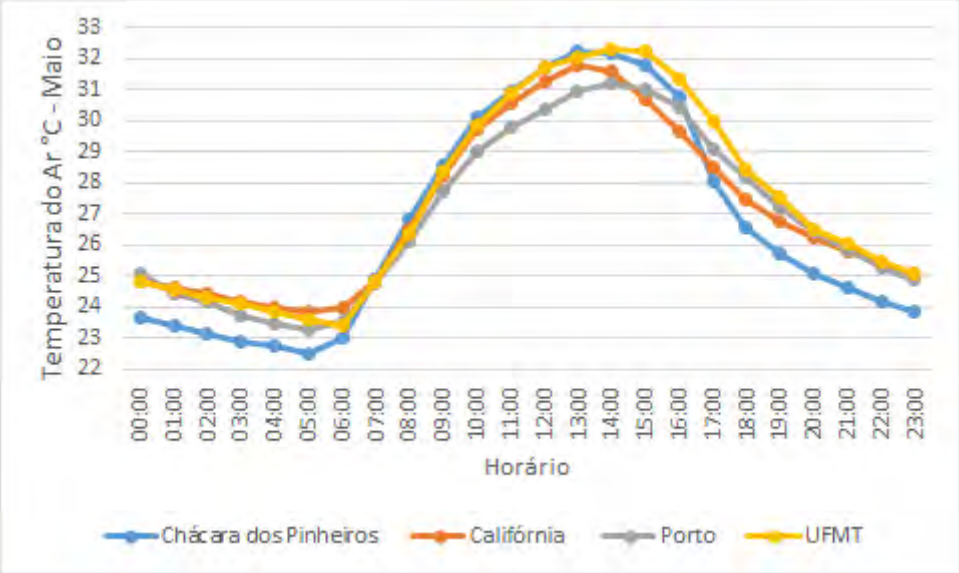
Quanto à vegetação, entre as três categorias discriminadas para o estudo, a arborização urbana é a que apresenta maior área, exceto no Jardim Califórnia, onde a presença de vegetação rasteira é mais significante (8,65%).

A porcentagem de solo nu apresenta valor significante nas regiões UFMT (39,95%) e Chácara dos Pinheiros (27,20%), tendo a maior porcentagem de cobertura de solo nas respectivas estações.

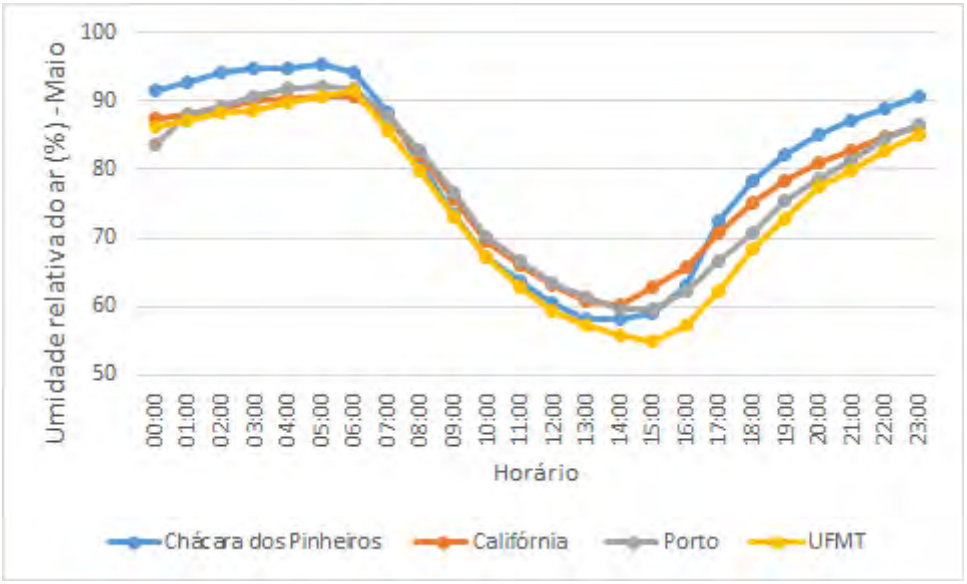
4.2 Temperatura e umidade do ar

O mês de Maio é considerado o mês de transição do período quente úmido para o período quente seco, sendo que ainda há ocorrência de precipitações, porém com menor intensidade e frequência. Observa-se que é o mês com menor variação nas médias de temperatura e umidade por hora em relação aos outros meses de estudo. Pelos dados coletados verifica-se que no mês de Maio ocorreu uma variação de temperatura entre 22°C a 31°C e de umidade entre 55% a 90% (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Temperatura (A) e umidade do ar (B) do mês de Maio



(A)

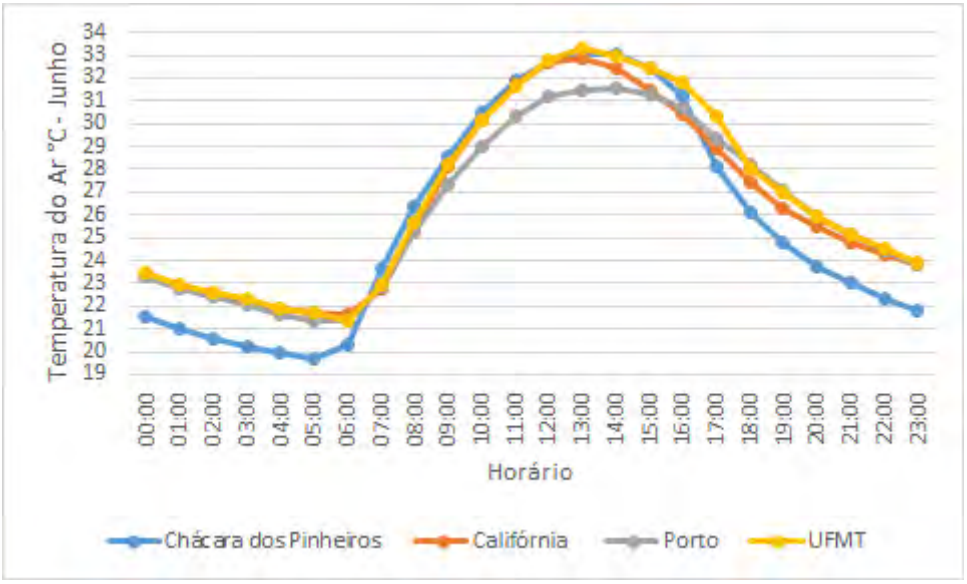


(B)

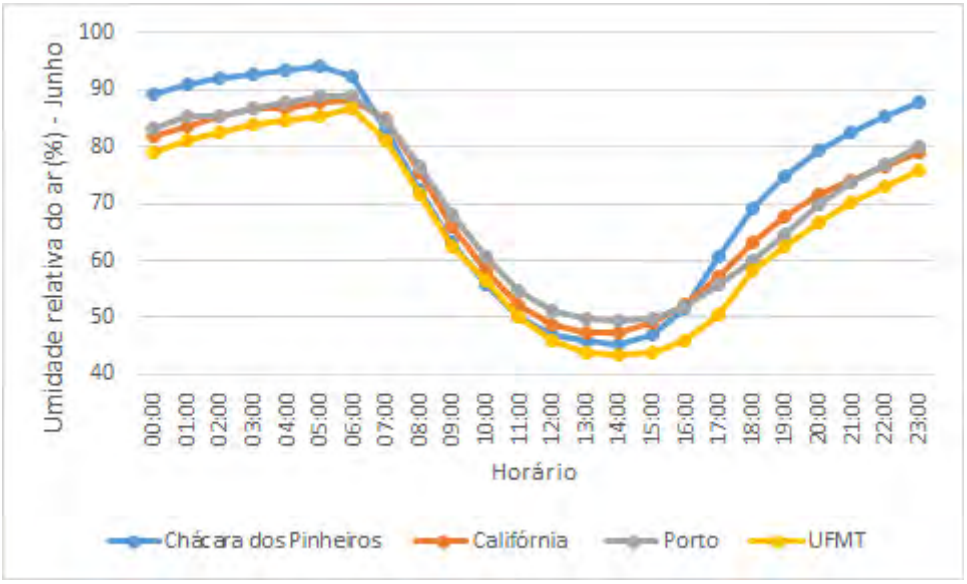
Fonte: Os autores

No mês de junho é característico da região o início do período quente seco mais rigoroso. Observa-se curvas mais acentuadas, com temperaturas elevadas, registrando às 13h, temperatura de 33,31°C na UFMT. Quanto à umidade do ar, por ser um mês caracterizado pelo fim do período quente-úmido, ocorre o aumento da amplitude, em relação ao mês anterior, registrando o menor valor às 14h com 43,60%, também na UFMT (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Temperatura (A) e umidade do ar (B) do mês de Junho



(A)

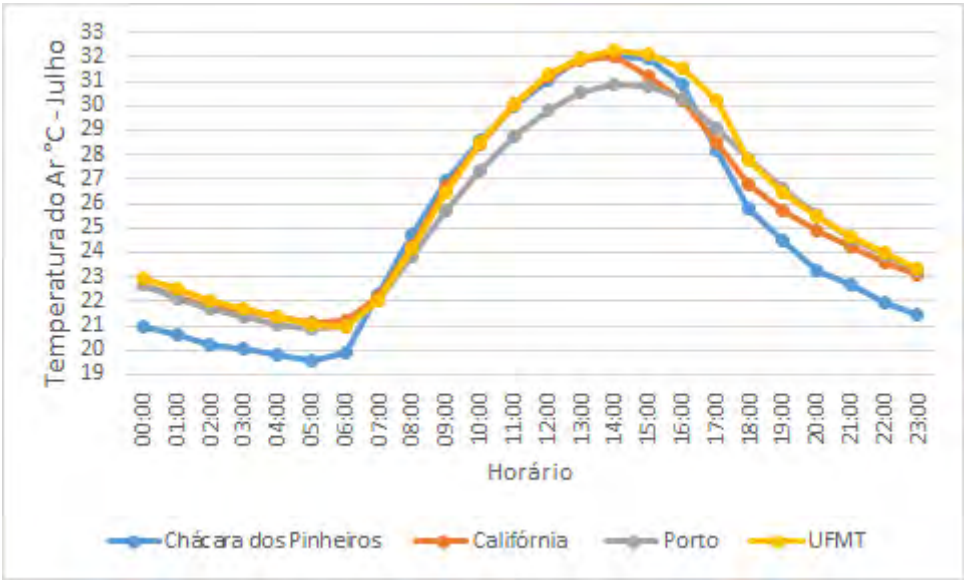


(B)

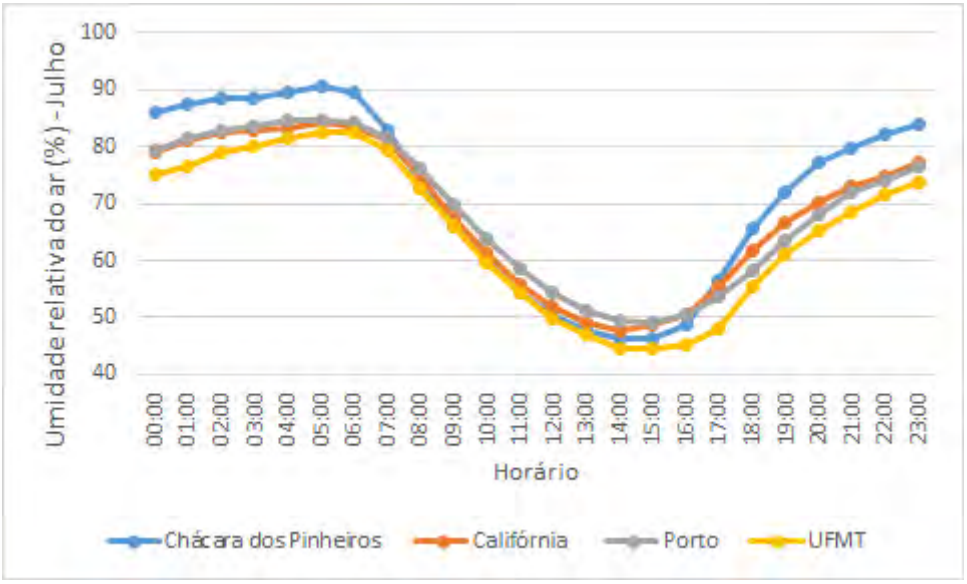
Fonte: Os autores

O mês de Julho apresenta os menores valores de temperatura do ar, sendo que a Chácara dos Pinheiros atingiu temperaturas mais baixas dentre as Estações, no período noturno, nos horários entre as 17h e 06h (Gráfico 3). Considera-se que a porcentagem de solo nu nesta área proporciona uma elevada amplitude térmica, visto que o solo exposto apresenta menor capacidade térmica, necessitando de menor quantidade de energia para alterar a temperatura.

Gráfico 3 – Temperatura (A) e umidade do ar (B) do mês de Julho



(A)

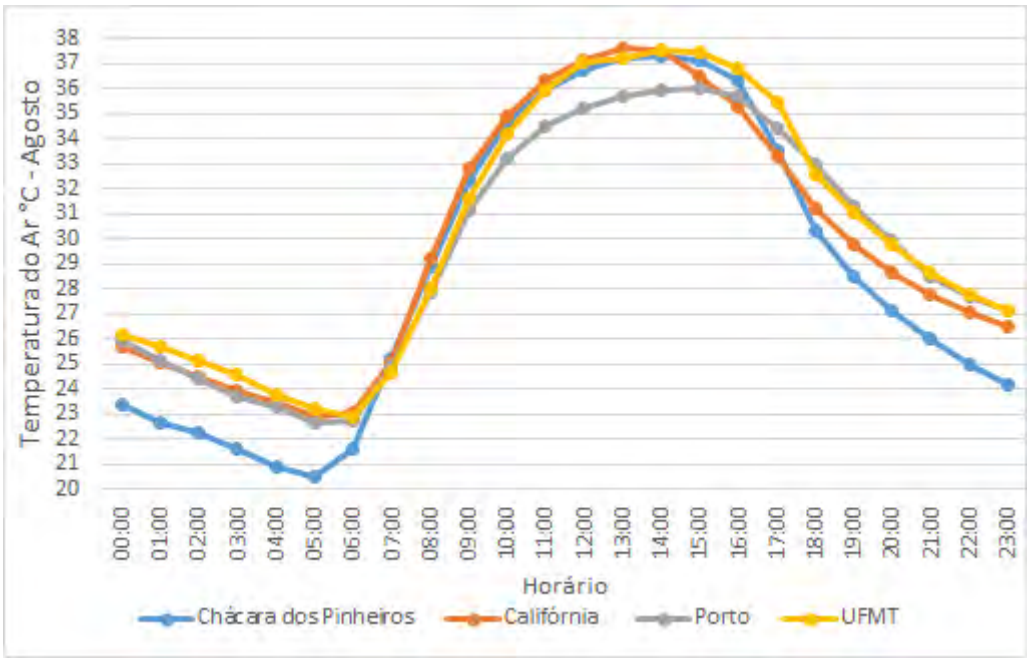


(B)

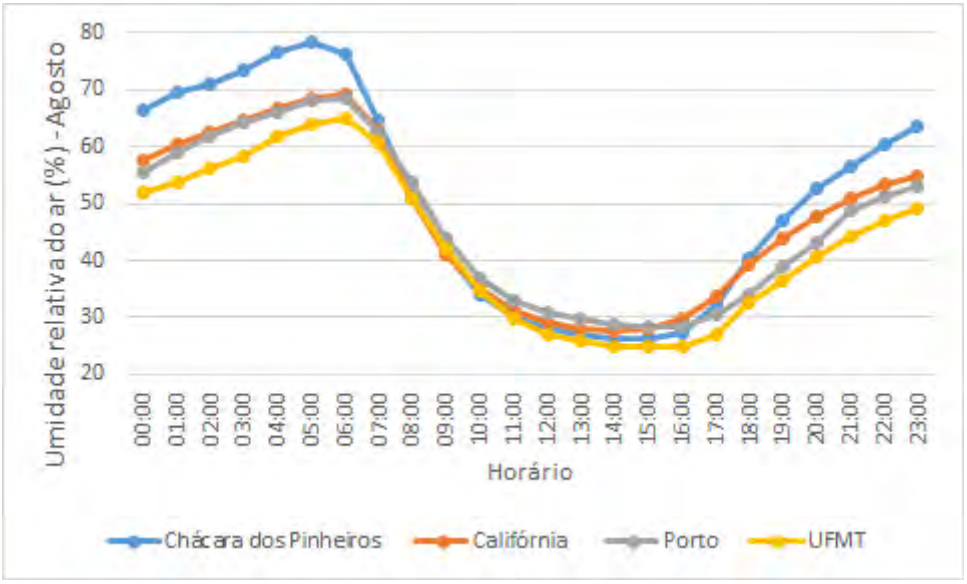
Fonte: Os autores

Agosto é o mês que apresenta os maiores valores de temperatura do ar, com média de 37,59°C às 13h e menores valores de umidade do ar, com média de 24,81% ás 15h (Gráfico 4). A estação Califórnia registrou os menores valores de umidade do ar, atingindo aproximadamente 20% nos horários mais críticos. A vegetação presente no raio da estação auxilia na manutenção da umidade devido ao processo de evapotranspiração.

Gráfico 4 – Temperatura (A) e umidade do ar (B) do mês de Agosto



(A)

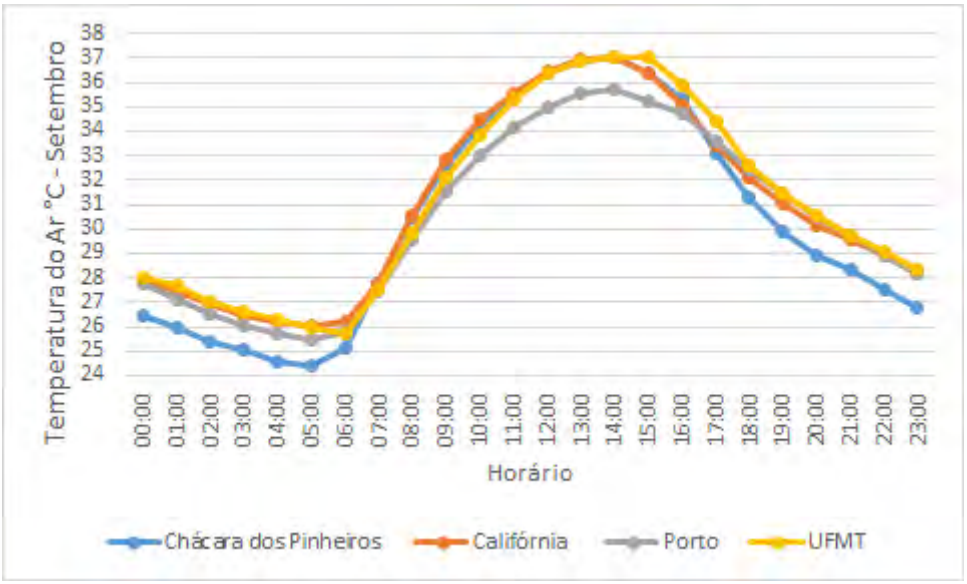


(B)

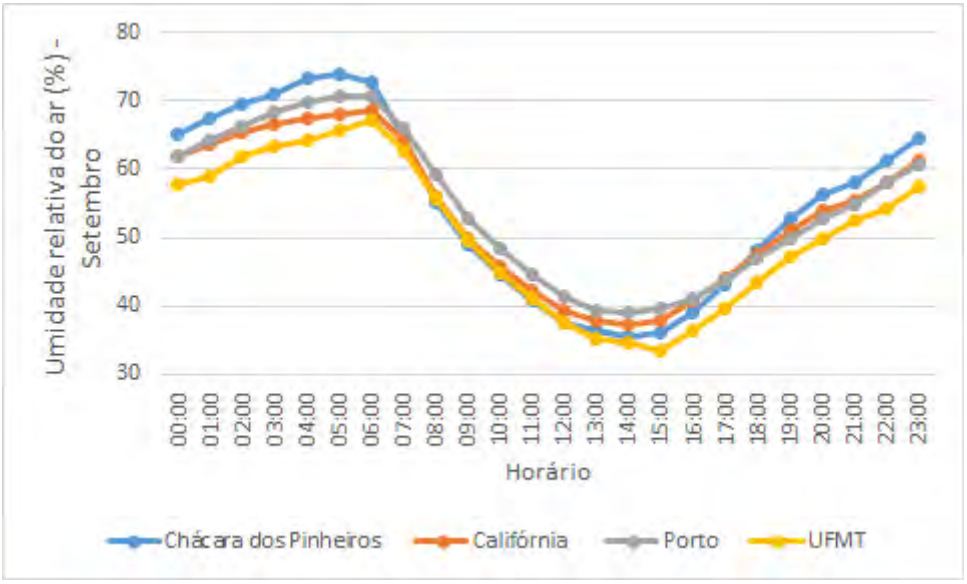
Fonte: Os autores

A temperatura mínima encontrada no mês de Setembro é consideravelmente mais alta em relação aos outros meses (Gráfico 5). A menor temperatura atingida no mês ocorreu na estação Chácara dos Pinheiros, as 05h, com média de 24,35°C.

Gráfico 5 – Temperatura (A) e umidade do ar (B) do mês de Setembro



(A)

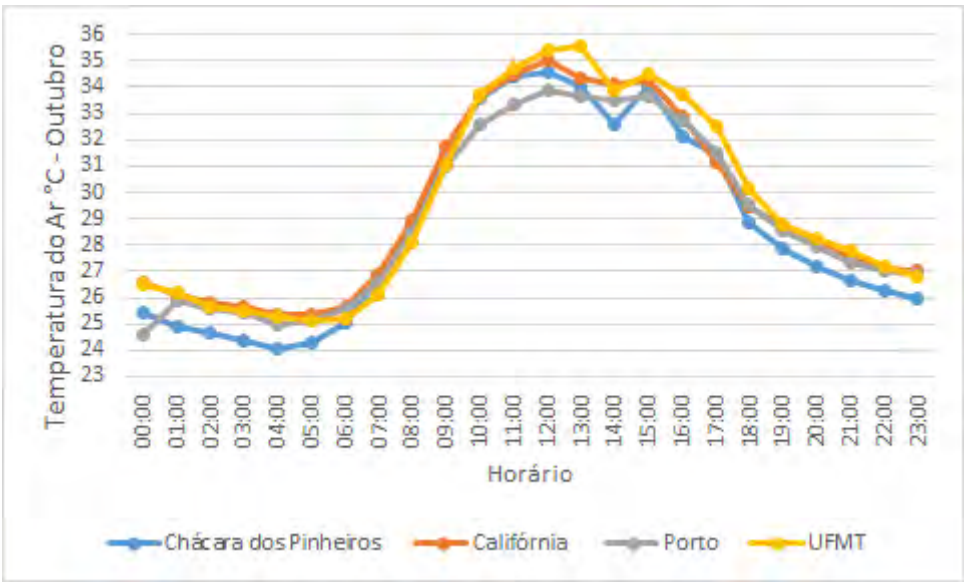


(B)

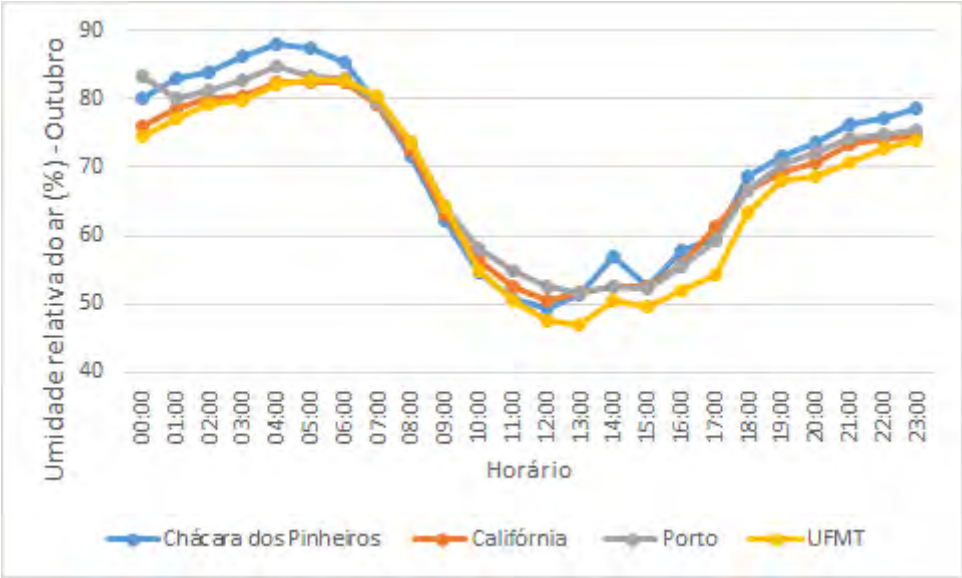
Fonte: Os autores

O mês de Outubro que é considerado mês de transição do período quente seco para o quente úmido apresenta os primeiros registros de precipitações, todavia com uma frequência e intensidade baixa. A temperatura sofre variação de mais 10ºC de um período do dia para o outro e a variação da umidade relativa do ar fica entre 50% no meio do dia a 80% durante a madrugada (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Temperatura (A) e umidade do ar (B) do mês de Outubro



(A)



(B)

Fonte: Os autores

A área da chácara dos Pinheiros possui uma maior porcentagem de solo nu, e por tratar-se de um terreno arenoso a quantidade de calor absorvido é alto, observando-se nos gráficos de temperatura do ar que, nos horários de maior incidência de radiação solar, a área possui as maiores médias de temperatura. Já no período entre 00h e 05h, apresenta as menores médias de temperatura, pois, devido suas propriedades de solo arenoso, perde calor com a mesma facilidade com que ganha.

A região Porto possui a menor amplitude térmica entre as áreas de estudo e maior umidade em relação às médias mensais. Pode-se dizer que essas médias observadas nas análises da estação Porto são resultados da sua proximidade ao rio Cuiabá, que está dentro do raio de abrangência da estação. A presença de corpos d'água afeta diretamente o microclima da região.

A UFMT, que apresentou elevadas temperaturas, contempla um fluxo intenso de automóveis e nenhuma presença de água, ocasionando elevadas temperaturas e baixa umidade do ar.

Observando-se o raio de cada estação, é possível perceber algumas particularidades em relação ao terreno, o que influencia nos dados obtidos. No cenário geral analisado, todos os pontos sofreram mudanças com o clima local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos meses analisados pode-se observar que a temperatura e umidade do ar, no geral, variaram de maneira característica do microclima de Cuiabá-MT. Dessa forma, a primeira permaneceu alta durante todo o período analisado, sendo as menores temperaturas encontradas no mês de julho, e a segunda alternou de maneira significativa, sendo agosto e setembro os meses mais críticos da baixa umidade, marcando a

sazonalidade das chuvas e definindo o período quente-seco e quente-úmido da região.

No entanto, devido às diferentes ocupações do solo oriundas do desenvolvimento urbano da cidade e de seu adensamento populacional, essas variáveis diferiram-se de acordo com as regiões analisadas, uma vez que estas possuem coberturas do solo distintas.

De acordo com estudo realizado por Luz (2013) em duas regiões distintas de Cuiabá, sendo uma das regiões localizadas na mesma região abordada nesse estudo (Estação UFMT) e a outra no bairro Pedra 90, a influência exercida pelos materiais de cobertura do solo no microclima das regiões estudadas não pôde ser determinada estatisticamente devido a presença de diferentes composições dos materiais que compõe o solo. Contudo, entende-se que as áreas com cobertura em asfalto tendem a aumentar a temperatura do ar e que a presença de massas vegetais tende a amenizar o microclima urbano. Cabe então a métodos dedutivos a compreensão dos dados levantados nesta pesquisa.

Na dissertação de Cox(2008), é realizado um estudo na cidade de Varzea Grande-MT que busca analisar a temperatura e umidade relativa do ar através de coleta de dados usando uma estação micrometeorológica e levando em consideração a cobertura do solo e o uso e ocupação do solo. Em suas considerações finais a autora conclui que para traçar um perfil completo da cidade seria necessário uma distribuição maior de pontos para medição.

Pode-se observar que regiões próximas ao rio Cuiabá, como a do Porto, possuem maior percentual de umidade do ar que as demais regiões, além de uma menor amplitude térmica durante o dia devido às propriedades físicas da água. Na Chácara dos Pinheiros, onde encontra-se bastante solo nu foram registradas maiores amplitudes térmicas devido às propriedades desta cobertura. Na estação Jardim Califórnia, onde encontra-se maior porcentagem de pavimentação impermeável, também foram detectadas temperaturas do ar mais elevadas e umidade do mesmo reduzidas. O mesmo aconteceu na área da UFMT, que contempla intenso fluxo de automóveis e nenhuma presença de água.

Portanto, conclui-se que essas transformações provenientes da urbanização podem afetar negativamente o conforto térmico nas áreas urbanas, pois, substituindo a cobertura natural e vegetação por diferentes tipos de pavimentos, torna-se mais propícia à formação de ilhas de calor e diferentes impactos no microclima da região.

REFERÊNCIAS

COSTA, Angelina Dias Leão. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido**. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2007.

COX, Elisa Pagliarini. **INTERAÇÃO ENTRE CLIMA E SUPERFÍCIE URBANIZADA: O CASO DA CIDADE DE VÁRZEA GRANDE/MT.** 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Ciências Exatas e da Terra Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - Mt, 2008.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. **Perfil socioeconômico de Cuiabá. Vol.II** - Cuiabá: IPDU/ Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. 2009.

LABAKI, Lucila Chebel; SANTOS, Rozely Ferreira dos; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo; ABREU, Loyde Vieira de. VEGETAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS. **Fórum Património: Mudanças climáticas e o impacto das cidades,** Belo Horizonte, v. 1, n. 4, p.23-42, 2011.

LUZ, Vanessa de Souza. **Estudo da interação das variáveis microclimáticas com a cobertura do solo urbano.** Dissertação (mestrado) - Programa de Pós -Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá-MT, 53f, 2013.

MACIEL, Carolina de Rezende; NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque; Nogueira, José de Souza. Cobertura do solo e sua influência na temperatura de microclimas urbanos na cidade de Cuiabá-MT. **Caminhos de Geografia,** Uberlândia, v. 12, n. 38, p.40-57, set. 2011.

PAULA, Roberta Zakia Rigitano de. **A Influência da Vegetação no Conforto Térmico do Ambiente Construído.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 110 f, 2004.

ROMERO, Marta Adriana B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** Brasília: Edu - Unb, 128 p, 2013.

SANTOS, Flávia Maria de Moura; NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque; MUSIS, Carlo Ralph de; JUNIOR, Osvaldo Jorge Pinto; Nogueira, José de Souza. Influência da ocupação do solo no clima urbano de Cuiabá, estado do Mato Grosso,
Brasil. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research mediu m.** Ituiutaba, p. 100-121. Junho 2013.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MICROCLIMA NOS ESPAÇOS URBANOS ABERTOS: UM ESTUDO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES EM CAMPO ABERTO x REGISTROS DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA[1]

ZANLORENZI, Helena C.P. (1); SILVA FILHO, Demóstenes F. da (2)

(1) ESALQ - USP, e-mail: helepadovani@gmail.com; (2) ESALQ - USP, e-mail: dfilho@usp.br

RESUMO

Conhecer o microclima dos espaços urbanos abertos é ponto chave na escolha de intervenções para o conforto higrotérmico dos usuários. O objetivo deste trabalho foi comparar resultados de medições em campo aberto com registros da estação meteorológica local buscando validar resultados medidos; são dados parciais de dissertação em Clima Urbano sobre desempenho de espécies vegetais como barreira aos ventos para o conforto térmico. Mediu-se temperatura e umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, em três pontos de campo aberto, a 1,5 m do piso, das 9 às 21 horas, a cada 3 minutos (ventos) e 5 minutos (temperatura e umidade relativa do ar), durante três dias de tempo estável em agosto e setembro de 2014. Os resultados foram comparados aos registrados a cada 15 minutos na estação meteorológica. Constatou-se considerável correspondência nos valores de temperatura do ar, bem como na umidade relativa do ar e na velocidade dos ventos. Os resultados sugerem que os valores obtidos na estação meteorológica podem ser adotados em outros sítios abertos da cidade, ponderando-se as diferenças do entorno imediato. Este resultado é significativo por haver um vasto banco de dados do clima local e de espécies vegetais para estudos do clima urbano regional.

Palavras-chave: Clima urbano. Conforto térmico. Ventos.

ABSTRACT

Understanding the microclimate of urban open spaces is a key point to choose interventions for hygrothermal comfort of users. The objective of this research was to compare the open field measurements data with those recorded at the local weather station seeking to validate the measured results; they are partial data dissertation in Urban Climate about the performance of plant species as barrier to winds for thermal comfort. Air temperature, relative humidity and wind speed were measured at three points in open field, 1.5 m from the floor, from 9 to 21 o'clock, at 3-minute (winds) and 5-minute (temperature and relative humidity air) intervals, for three days by species, in August and September 2014. The measured results were compared to those recorded at 15-minute intervals at weather station. A considerable correspondence was obtained in air temperature, as well as the relative humidity and wind speed values. The results suggest that the data obtained at weather station can be adopted in other open sites in the city, by pondering the differences of immediate surroundings. This result is significant because there is a vast local climate and plant species database for regional urban climate studies.

[1] ZANLORENZI, Helena C.P.; SILVA FILHO, Demóstenes F. da. Microclima nos espaços urbanos abertos: um estudo comparativo de medições em campo aberto x registros de estação meteorológica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

***Keywords**: Urban climate. Thermal comfort. Winds.*

1 INTRODUÇÃO

A adequação dos espaços abertos ao conforto de seus usuários contribui significativamente para a qualidade de vida em áreas urbanas. Desta maneira, conhecer as relações entre as variáveis microclimáticas e as implicações de conforto térmico nos espaços abertos é de suma importância.

> O conhecimento dessas relações fornece instrumental para planejamento e projetos de grande escala, possibilitando melhor acomodação das pessoas nos espaços urbanos. Possibilita ainda o desenvolvimento de atividades econômico-culturais específicas, em áreas abertas ou semi-confinadas, como eventos esportivos, espetáculos artísticos, grandes exposições e atividades turísticas (MONTEIRO L., 2008, p. 29).

Um dos fatores que mais interferem nas condições de conforto dos pedestres em espaços abertos é o vento (NIKOLOPOULOU, 2004). Dependendo das condições climáticas, uma determinada intensidade de vento pode ser considerada desejável ou indesejável. O conhecimento do regime de ventos permite aproveitar suas vantagens e defender-se de seus efeitos desfavoráveis, segundo Rivero (1986).

O tipo de solo afeta o gradiente de velocidade do vento (KOENIGSBERGER, 1977). A velocidade do vento é sempre menor próximo ao solo do que em alturas maiores. Segundo Bonan (2002), perto da superfície os ventos encontram árvores, edifícios, colinas e outros objetos. O aumento do atrito resultante retarda a velocidade do vento e desvia a direção do seu movimento.

Os fenômenos que caracterizam a Atmosfera abrangem escalas de tempo e espaço muito amplas (OKE,1987). Embora trate-se de eventos contínuos, há um consenso razoável na divisão em escalas para estes estudos.

Ainda conforme Oke (1987), o tamanho do "efeito urbano" muitas vezes torna-se difícil de estimar. O ideal seria a obtenção de um conjunto amplo de dados do clima de uma região antes da urbanização para posterior comparação com os resultados no espaço urbanizado. Como isso raramente é possível, o mais comum é comparar os dados climáticos do centro de uma área urbana com aqueles medidos nas zonas rurais ou na área suburbana circundante. Na seleção dos dados para comparação é particularmente importante tentar eliminar os efeitos devidos a outros fatores como topografia, corpos d'água e os efeitos do vento pertinentes à própria área urbana.

Para estudar-se um espaço aberto com permanência de pessoas é recomendável efetuar medições in loco, com repetições, em diversos períodos do ano, porém isto nem sempre é possível; além disso, é fundamental tomar conhecimento das normais climatológicas dos dados obtidos em estações meteorológicas próximas, por serem mais estáveis, sem

relevar resultados de períodos eventualmente atípicos.

O objetivo deste trabalho foi comparar os resultados de medições em campo aberto com os registrados na estação meteorológica local buscando validar os resultados medidos; são dados parciais de dissertação em Clima Urbano sobre avaliação do desempenho de espécies vegetais como barreira aos ventos para o conforto térmico em espaços abertos. As maiores variações ocorreram na velocidade dos ventos, que sofrem mais interferências do entorno imediato. Esta correspondência mostra-se importante também para avaliar a utilização dos dados da estação meteorológica em casos de impossibilidade de medições in loco. Na cidade de Piracicaba há diversos espaços abertos em processo de urbanização próximos ao local de medição, além de outros com características morfológicas semelhantes, que podem vir a utilizar os dados medidos associados aos dados da estação meteorológica, uma vez feita validação dos dados medidos.

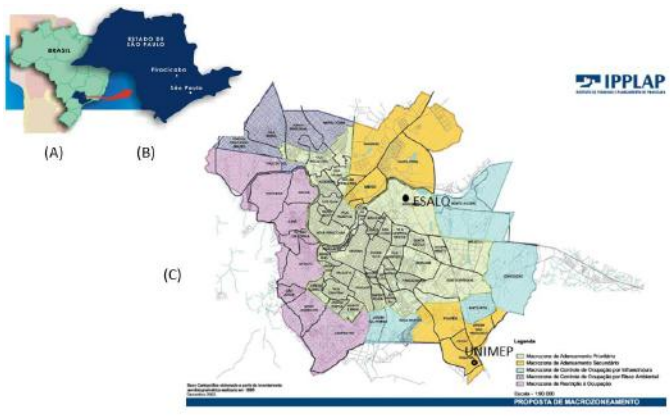
2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo utilizou como cenário para as medições de campo a área externa do Campus Taquaral da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), situado na cidade de Piracicaba/SP.

2.1 Caracterização geográfica e climática local

A cidade de Piracicaba está localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo (22°43'30"S; 47°38'56"W) conforme Figura 1; ocupa área de 1376,9 Km^2, com 364.571 habitantes, sendo 356.743 na área urbana e 7.828 na área rural (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). O clima local é do tipo Cwa (classificação de Köppen-Geiger), com temperaturas máximas e mínimas médias anuais de 28,2°C e 15,1°C respectivamente, e precipitação média anual de 1.274 mm (LEB – ESALQ – USP).

Figura 1 – Situação da área de estudo: (A) a localização do Estado de São Paulo no Brasil; (B) a cidade de Piracicaba no centro-leste do Estado de São Paulo; (C) o perímetro urbano com localização da área de estudo

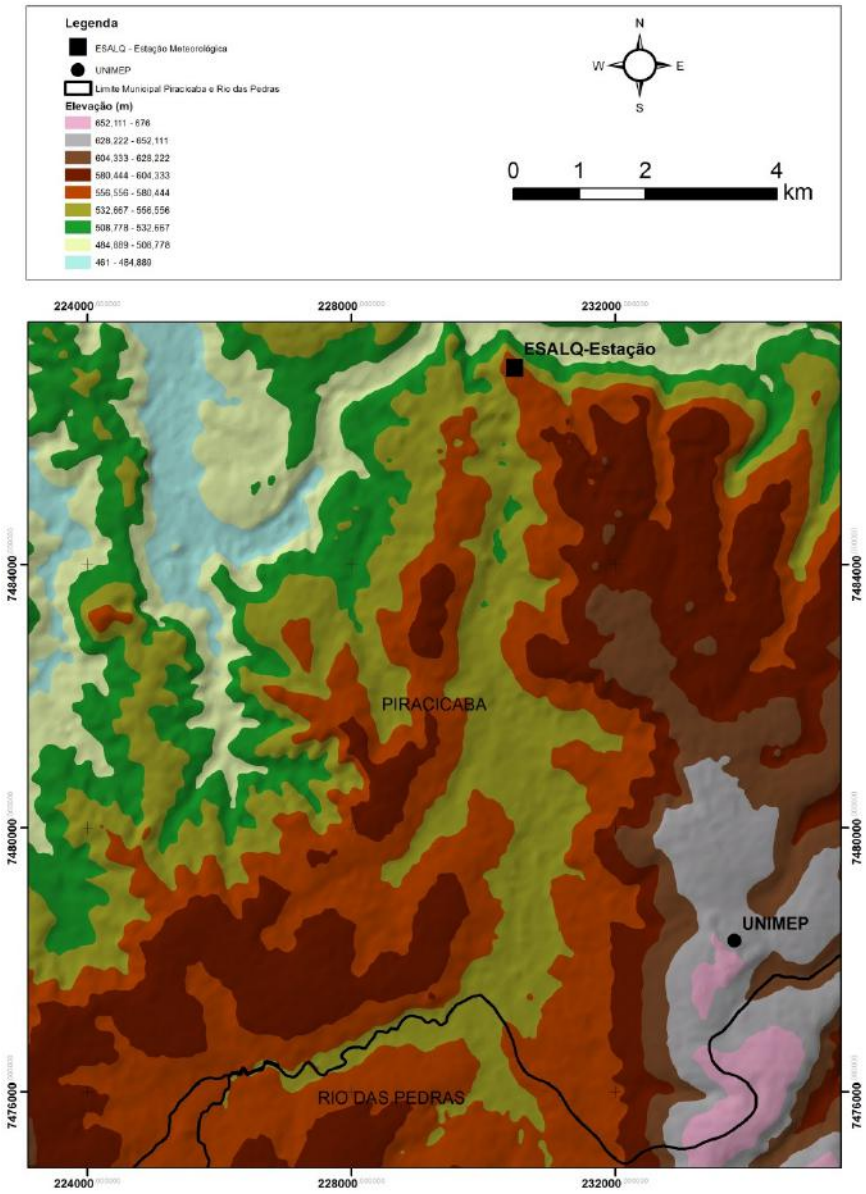


Fonte: Google imagens (2015)

Segundo Barretto (2006), o município de Piracicaba apresenta uma depressão na parte central de seu território que segue o sentido leste-oeste do curso do Rio Piracicaba. A declividade média foi calculada em 7,8%, com predominância de valores baixos: 42% da área apresenta declives menores do que 5%. A amplitude da altitude é de 360m: as regiões mais baixas estão a 420 m do nível do mar e as mais altas a 780 m, com altitude média de 528m.

No presente estudo, os pontos de interesse estão a uma altitude da ordem de 650m na Unimep (local de coleta dos dados em campo) e de 570 m na Esalq (local dos registros da estação meteorológica), conforme indicado na Figura 2.

Figura 2 – Caracterização topográfica da área de estudo



Fonte: TOPODATA – Variáveis geomorfométricas derivadas de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), INPE, 2008

Barretto et al. (2006) retrata que a área rural do município, considerada aquela em que ainda não houve a consolidação urbana, é de aproximadamente 138.500 ha. Neste espaço, 46% é ocupado pela cana-de-açúcar e 25% por pastagens, atividades que resistem a mudanças há décadas. O clima regional também é favorável ao plantio de culturas anuais como o milho, soja e algodão, entre outros. O passivo ambiental é de no mínimo 11.000 ha, considerando áreas com ausência de cobertura florestal em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), que são as áreas de reserva potencial fora de APP.

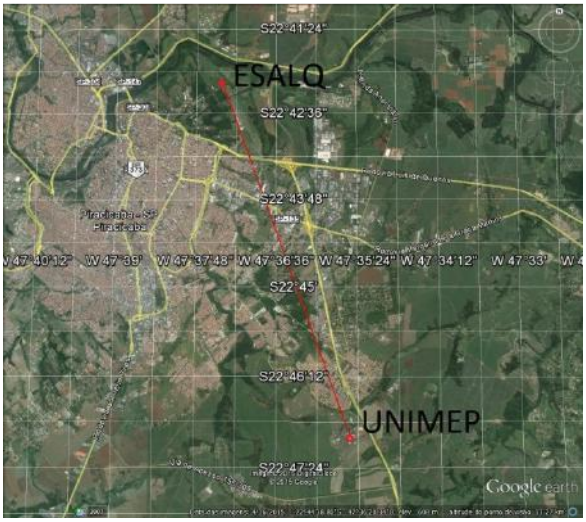
> A área urbana consolidada de Piracicaba vem se expandindo nas últimas duas décadas numa taxa média de 150 a 200 m por ano a partir de seu perímetro, principalmente nas direções sudeste e noroeste. Essa expansão se dá sobre áreas que já se apresentam alteradas em relação à região mais caracteristicamente agrícola e que foi denominada de Região do Entorno Imediato (REI). A fragmentação fundiária, o maior impacto sobre os recursos florestais e o adensamento da malha viária são indicadores desse processo de conversão (BARRETTO, 2006, p.7).

Ainda conforme Barretto (2006), Piracicaba é atualmente uma cidade-polo de uma região com quase 3 milhões de habitantes, que representa 8% da população do estado, distribuída em 50 municípios dentro de uma bacia que abrange uma área de 12.400 Km^2.

2.2 Relação entre os locais de medição

Na figura 3 é possível localizar o Campus Taquaral e a Estação Meteorológica de Piracicaba da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- LEB –ESALQ, distantes entre si em cerca de 9,4 Km. Ambos são campus universitários com ampla área verde, localizados em área periférica no perímetro urbano, com entorno de perfil predominantemente horizontal e vegetado. A vegetação do Campus da ESALQ é um pouco mais densa que a existente no Campus Taquaral.

Figura 3 – Sítios de coleta de dados: UNIMEP Taquaral e ESALQ



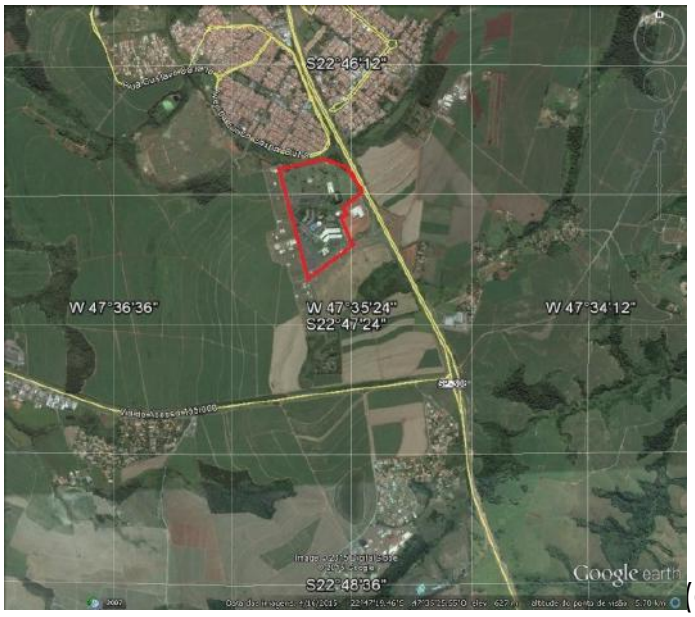
Fonte: *Google Earth*, imagem de 26 maio 2015

2.3 Coleta de dados UNIMEP

Os levantamentos de campo foram realizados no Campus Taquaral da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. Localizado no bairro Taquaral da cidade e ocupando área de mais de 360 mil metros quadrados, recebe diariamente cerca de 10 mil pessoas entre alunos, professores e funcionários; possui amplos espaços livres, alguns deles acompanhados por espécies distintas de árvores, flores e pássaros. Há muitas queixas de seus usuários por desconforto nos dias frios devido ao excesso de ventos, embora seja uma região com clima predominantemente quente ao longo do ano.

O Campus Taquaral localiza-se na divisa dos municípios de Piracicaba e Rio das Pedras, em uma área com entorno descampado, baixa ocupação territorial e distante da área adensada da cidade (Figura 4). O bairro com moradias próximo ao Campus é de padrão horizontal.

Figura 4 – UNIMEP Taquaral e entorno: (a) em destaque e (b) foto do local



(a)



(b)

Fontes: (a) *Google Earth,* imagem de 16 abril 2015 e (b) Acervo da autora

A Figura 5 compreende uma vista aérea do Campus Taquaral com a localização dos pontos de medição em campo aberto próximos às três espécies arbóreas A1 (Jasmim), B1 (Bambu) e C1 (Pinus).

Figura 5 – UNIMEP Taquaral – Pontos de medição em campo aberto: próximo ao Jasmim (A1), próximo ao Bambu (B1) e próximo ao Pinus (C1)



Fonte: Google Earth, imagem de 09 ago. 2014, data de coleta de dados desta pesquisa

As três espécies arbustivo-arbóreas - Jasmim, Bambu e Pinus - foram escolhidas por serem as espécies que foram inseridas no campus com o objetivo específico de servirem como barreiras aos ventos. No presente trabalho estão avaliadas apenas as medições em campo livre, distantes das espécies, e portanto não sofrem influência direta deste efeito de barreira, sendo apenas indicativas dos pontos de medição dentro do campus.

As Figuras 6(a) a (c) trazem as imagens das medições em campo aberto nos pontos A1, B1 e C1 respectivamente.

Figura 6 – UNIMEP Taquaral – Imagens dos pontos de medição em campo aberto: próximo ao Jasmim (A1), próximo ao Bambu (B1) e próximo ao Pinus (C1)



(a) (b) (c)

Fonte: Acervo da autora

Cada espécie estudada teve os dados do monitoramento microclimático colhidos durante três dias, das 9 às 21 horas. As medições foram feitas em agosto e setembro de 2014.

Foram monitoradas as seguintes variáveis: temperatura do ar (°C) e umidade do ar (%) a cada 5 minutos, e velocidade do ar (m/s) a cada 3 minutos.

Os equipamentos foram fixados em tripés a 1,5 m de altura. Cada estação de medição foi composta dos seguintes equipamentos devidamente calibrados (Figura 7):

- Um medidor de temperatura e umidade relativa do ar, modelo Logger Type ThermaData, protegido da radiação direta em caixa ventilada, registrando a cada 5 minutos;
- Um anemômetro / termômetro digital Testo 445 com sensor registrando a cada 3 minutos; registrador alimentado por bateria externa e protegido por caixa de isopor.

Figura 7 – UNIMEP Taquaral – Estações de medição



Fonte: Acervo da autora

2.4 Estação meteorológica ESALQ

A Base de Dados da Estação Meteorológica Automática – Área de Física e

Meteorologia da LEB está situada dentro do Campus da ESALQ – USP (Figura 8). Os registros foram efetuados a cada 15 minutos e os equipamentos situam-se à mesma altura do solo das medições efetuadas na UNIMEP (1,5 m do piso).

Foram comparados os dados de temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento, obtidos no mesmo período.

Figura 8 – ESALQ – Localização da Estação Meteorológica - LEB



Fonte: *Google Earth,* imagem de 16 abril 2015

3 RESULTADOS

Foram feitos os comparativos entre os dados registrados na UNIMEP e na ESALQ nos dias correspondentes às medições em campo, a cada 15 minutos. Os resultados estão apresentados a seguir.

3.1 Temperatura do ar

Os valores de temperatura do ar registrados nos dois sítios estão nas Figuras 9 a 11.

Figura 9 – Temperatura do ar UNIMEP x ESALQ – Ponto A1(Série JASMIM) - Dias 06, 07

e 08 ago. 2014

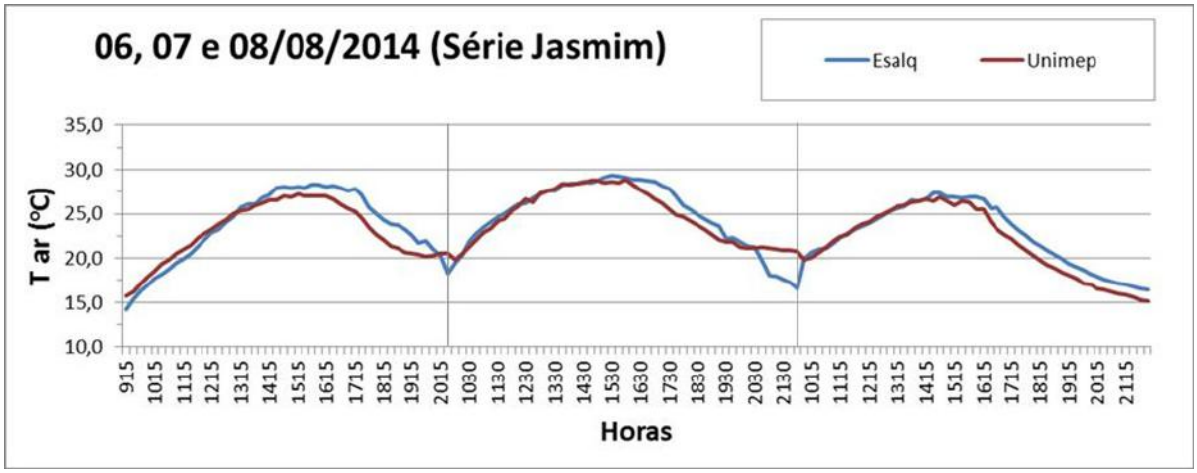


Figura 10 – Temperatura do ar UNIMEP x ESALQ – Ponto A2 (Série BAMBU) - Dias 09, 11 e 15 ago. 2014

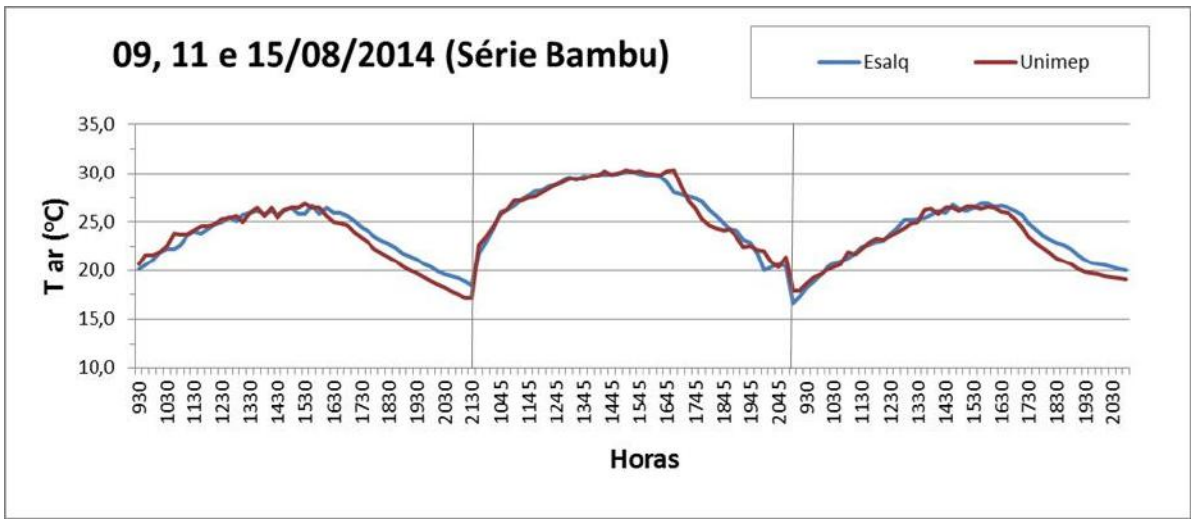
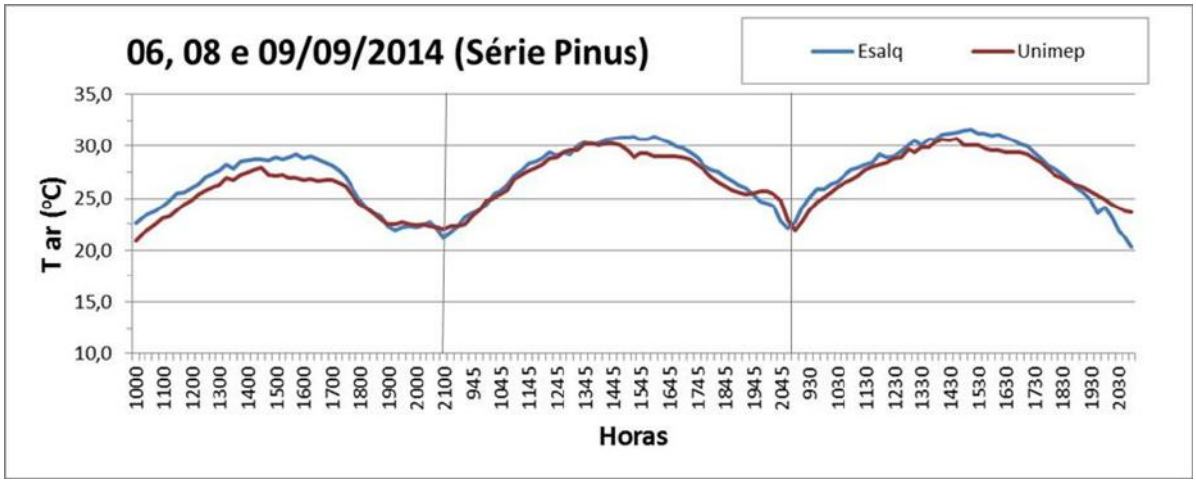


Figura 11 – Temperatura do ar UNIMEP x ESALQ –Ponto A3 (Série PINUS) - Dias 06, 08 e 09 set. 2014



Constata-se considerável correspondência entre os valores obtidos.

3.2 Umidade relativa do ar

A seguir estão as Figuras 12 a 14 com os resultados das medições de umidade relativa do ar nos dois sítios.

Figura 12 – Umidade relativa do ar UNIMEP x ESALQ – Ponto A1(Série JASMIM) - Dias 06, 07 e 08 ago. 2014

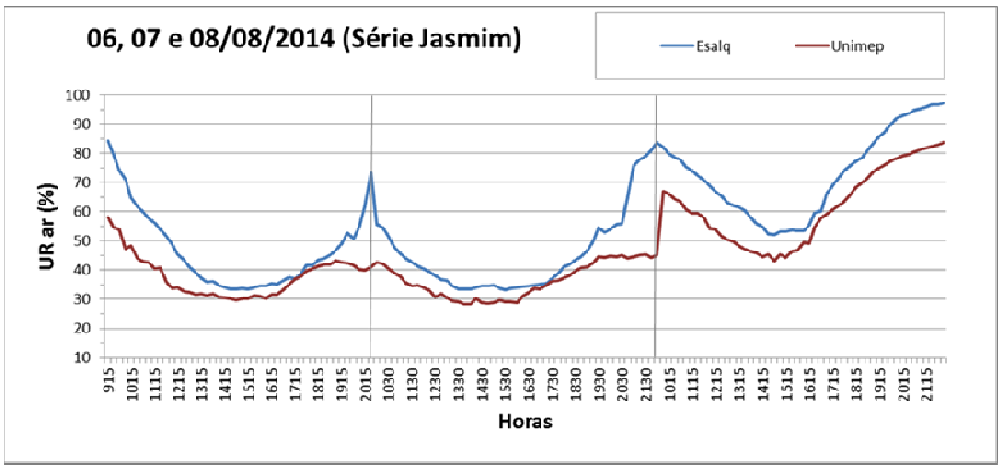


Figura 13 – Umidade relativa do ar UNIMEP x ESALQ – Ponto A2 (Série BAMBU) - Dias 09, 11 e 15 ago. 2014

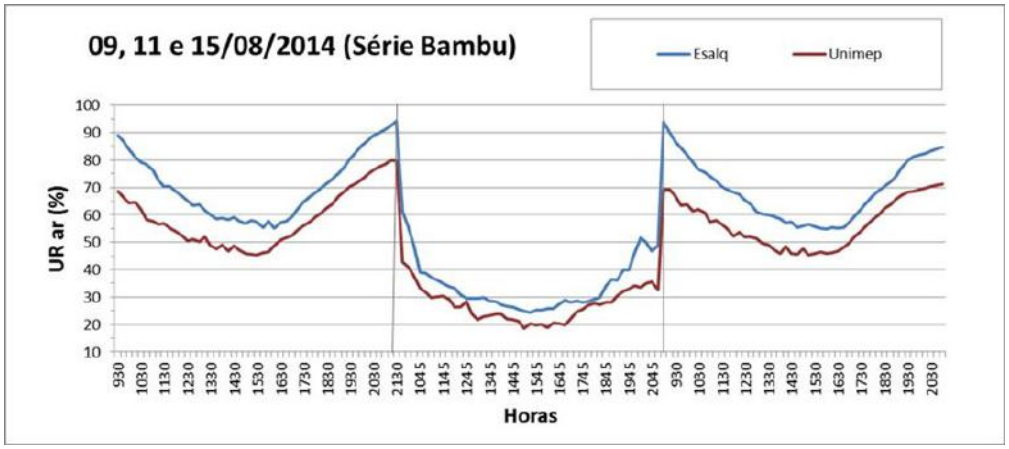
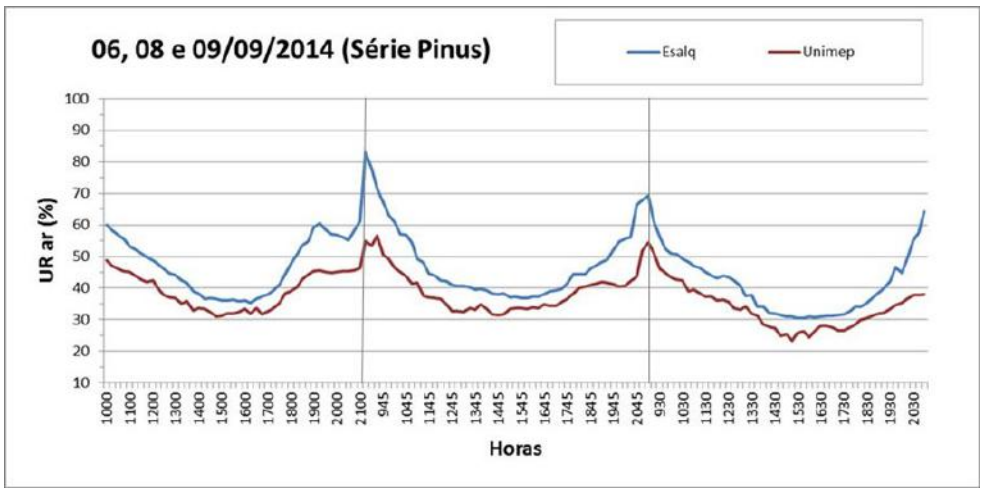


Figura 14 – Umidade relativa do ar UNIMEP x ESALQ –Ponto A3 (Série PINUS) - Dias 06, 08 e 09 set. 2014



Os resultados de umidade relativa do ar obtidos na ESALQ são um pouco mais altos que os encontrados na UNIMEP, possivelmente devido ao fato de haver na ESALQ maior massa de vegetação no entorno do ponto de medição.

3.3 Ventos

As seguir estão as Figuras 15 a 17 com os resultados das medições de ventos nos dois campus.

Figura 15 – Ventos UNIMEP x ESALQ – Ponto A1(Série JASMIM) - Dias 06, 07 e 08 ago. 2014

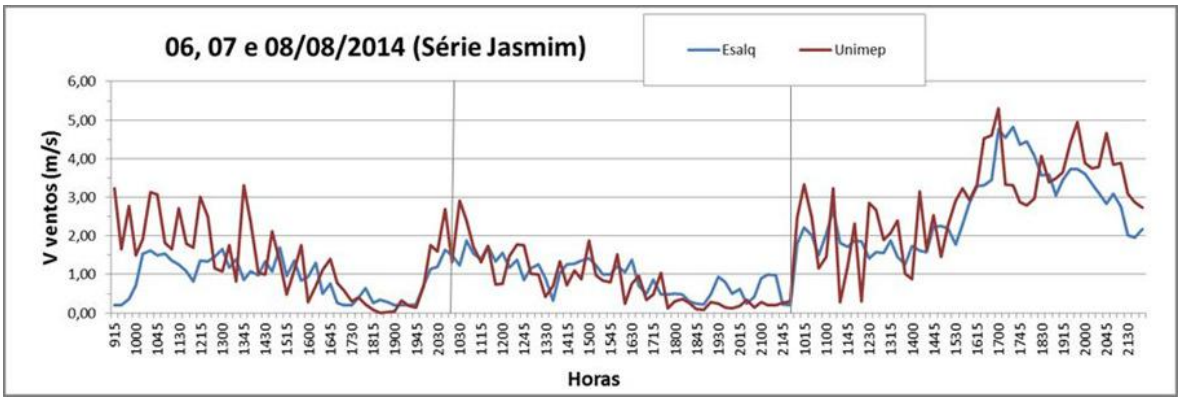


Figura 16 – Ventos UNIMEP x ESALQ – Ponto A2 (Série BAMBU) - Dias 09, 11 e 15 ago. 2014

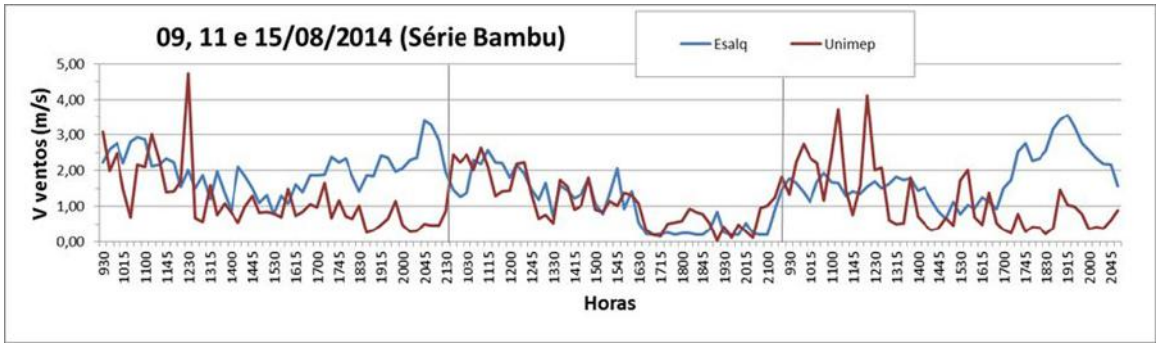
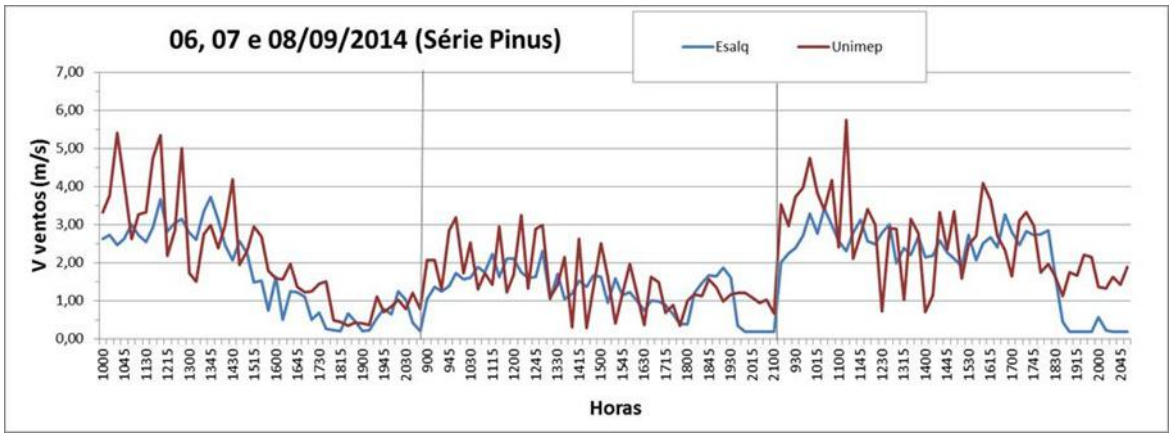


Figura 17 – Ventos UNIMEP x ESALQ –Ponto A3 (Série PINUS) - Dias 06, 08 e 09 set. 2014



Observa-se que os valores registrados nas duas localidades têm configurações semelhantes; na UNIMEP as rajadas são mais intensas, possivelmente por ser área mais descampada e abrigar menos elementos arbóreos de maior porte do que a ESALQ.

Na Série Bambu as diferenças obtidas entre as duas localidades resultaram mais acentuadas; com base em medições concomitantes efetuadas em pontos próximos ao Ponto A2, concluiu-se que essas diferenças decorreram de mudanças na direção dos ventos ao longo das medições.

4 CONCLUSÕES

Com relação à temperatura do ar, constata-se considerável correspondência entre os valores obtidos. Mesmo levando-se em conta as diferenças de altitude e de densidade da massa vegetada do entorno, os resultados são bastante próximos, indicando que os dados da estação meteorológica podem ser utilizados em outros espaços urbanos abertos da cidade com precisão satisfatória para estudos de clima urbano.

Quanto à umidade relativa do ar, os resultados obtidos na ESALQ são um pouco maiores que os encontrados na UNIMEP, possivelmente por haver na ESALQ maior massa de vegetação no entorno do ponto de medição. Estes resultados sugerem uma margem de variação um pouco maior entre os dados a serem considerados para a umidade relativa, em função da configuração e da densidade da vegetação do entorno imediato.

Nos resultados dos ventos, observa-se que os valores registrados nos dois campus têm configurações semelhantes, porém na UNIMEP as rajadas são mais intensas por ser área mais descampada e abrigar menos elementos arbóreos de maior porte do que a ESALQ. As amplitudes são maiores com notada coincidência nos períodos de ocorrência das rajadas. Pode-se concluir que as intensidades dos ventos variam em função das características morfológicas do entorno imediato, porém as configurações dos resultados são significativamente correspondentes.

Os resultados sugerem que os valores obtidos na estação meteorológica podem ser adotados em outros sítios abertos da cidade, ponderando-se as diferenças do entorno imediato. Este resultado é significativo por haver um vasto banco de dados do clima local e de espécies vegetais que podem ser utilizados para estudos do clima urbano regional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por limitações na disponibilidade dos equipamentos de medição, especialmente anemômetros, não foi possível a medição simultânea nos pontos, o que limitou também a quantidade de repetições. No entanto, as datas de correspondência entre os dois pontos de medição foram conciliadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos para esta pesquisa, bem como agradecem a todos os colaboradores.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

BARRETTO, A. G. O. P.; SPAROVEK, G.; GIANNOTTI, M. **Atlas Rural de Piracicaba**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, 2006, 76 p.

BONAN, G. **Ecological climatology:** concepts and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, 690 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010.** Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/tabelas_pdf/tab1.pdf>. Acesso em: 19 maio 2015.

KOENIGSBERGER, O.H.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S.V. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.** London; Madrid: Paraninfo, 1977. 328 p.

MONTEIRO, L.M. **Modelos preditivos de conforto térmico:** quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 379 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NIKOLOPOULOU, M. **Designing open spaces in the urban environment:** a bioclimatic approach; RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. Greece: Centre for Energy Resources, Department of Buildings, 2004. 53 p.

OKE, T.R. **Boundary layer climates.** 2nd ed. London; New York: Routledge; John Wiley, 1987. 435 p.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima**: acondicionamento térmico natural. 2. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986. 240 p.

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DISCUSSÃO DO DESEMPENHO DA CHAMINÉ TÉRMICA COMO ESTRATÉGIA DE VENTILAÇÃO NATURAL[1]

TREICHEL, Suzana Z. (1); FREITAS, Julye M. R. (2); DALBEM, Renata (3); BELTRAME, Carolina M. (4); CUNHA, Eduardo G. (5)

(1) UFPEL, e-mail: suzanatreichel@gmail.com; (2) UFPEL, e-mail: juramalhof@hotmail.com; (3) UFPEL, e-mail: renata_dalbem@hotmail.com; (4) UFPEL, e-mail: carolinabeltrame.arquitetura@gmail.com; (5) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para remover a carga térmica acumulada no interior dos ambientes. Existem várias estratégias de ventilação, sendo uma, a ventilação por efeito chaminé, a qual aproveita a assimetria térmica dos ambientes considerando a existência de entrada e saída de ar em diferentes alturas. O objetivo deste artigo é apresentar o comportamento término de um ambiente localizado na zona bioclimática brasileira 2, quando este está sujeito a diferentes formas de configurar a ventilação natural explorando o efeito chaminé. A metodologia utilizada baseia-se em simulações computacionais com o software Energy Plus® versão 8.3 de quatro casos distintos do mesmo modelo, considerando a ventilação natural por efeito chaminé e também pela ação dos ventos. Os resultados finais das simulações mostraram que a chaminé solar pouco contribui para redução do desconforto térmico. Dentre os quatro casos simulados, os dois casos onde se considerou a ação do vento, obtiveram um melhor desempenho. Acredita-se que o presente trabalho terá contribuição em futuros estudos sobre a utilização do efeito chaminé nas edificações, principalmente em estudos para a zona bioclimática 2.

Palavras-chave: Efeito Chaminé; Eficiência Energética; Chaminé Solar.

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the most efficient strategies to remove accumulated thermal load within the environments. There are several ventilation strategies, one of them being the ventilation by chimney effect, which takes advantage of the thermal asymmetry of the environments considering the existence of air inlet and outlet at different heights. The purpose of this paper is to present the thermal behavior of a environment located in the Brazilian bioclimatic zone 2, when it is subject to different ways of setting up natural ventilation exploring the chimney effect. The methodology used is based on computer simulations with Energy Plus® 8.3 software of four different cases of the same model, considering the natural ventilation by chimney effect and also by the wind action. The final simulation results showed that the solar chimney contributes little to reduce thermal discomfort. Among the four simulated cases, the two cases where it was considered the action of wind obtained better performance.

[1] TREICHEL, Suzana Z.; FREITAS, Julye M.; DALBEM, Renata; BELTRAME, Carolina; CUNHA, Eduardo G. Discussão do desempenho da chaminé térmica como estratégia de ventilação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

It is believed that this paper will contribute in future studies about the use of chimney effect in buildings, especially in bioclimatic zone 2.

***Keywords**: Natural ventilation; Chimney effect; thermal modeling.*

1 INTRODUÇÃO

Estratégias bioclimáticas que visam o conforto térmico das edificações são muito importantes na arquitetura, pois em muitos casos evitam o uso de climatização artificial, minimizando o consumo energético das edificações. Uma das estratégias bioclimáticas mais eficientes para remover a carga térmica acumulada no interior dos ambientes é a ventilação natural. A ventilação tem o objetivo de amenizar o desconforto por calor no ambiente interno e manter a qualidade do ar interior, e é utilizada nas edificações desde o início da história da arquitetura, principalmente em climas muito quentes e úmidos com elevadas temperaturas internas.

Além da possibilidade de proporcionar conforto térmico para os usuários, a utilização da ventilação natural também pode reduzir consideravelmente o consumo de energia proveniente do uso de climatização artificial, enfatizando a relevância do presente trabalho. Existem várias estratégias de ventilação natural que podem ser aplicadas nos ambientes. Sendo que algumas são mais conhecidas e mais utilizadas pelos projetistas como: ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso. Porém o foco do presente trabalho é em relação à utilização da ventilação oriunda do efeito chaminé.

Costa (1982) explica que quando há uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta desaparece espontaneamente em função da transmissão do calor de uma região a outra. Uma das formas de transmissão de calor é a convecção, que é a transferência de calor entre fluidos, gerando um movimento de partículas provocado pela diferença de pressão em função da diferença de temperatura, e automaticamente da diferença da densidade do fluido.

A ventilação por efeito chaminé é uma estratégia de ventilação importante, porém um pouco menos conhecida e utilizada pelos arquitetos. Esse método é caracterizado como sendo o movimento de ar por impulsão térmica, e ocorre através de gradientes verticais de densidade e pressão do ar, que são consequências do diferencial de temperatura entre os dois meios, externo e interno (NEVES, 2012).

Segundo Bansal, *et al.* (1994) o uso da chaminé solar é ideal para locais de velocidade de vento mais baixas, pois ela utiliza a energia proveniente da radiação solar para aquecer o ar e induzir o efeito chaminé por meio do incremento das diferenças de pressão e temperatura entre a entrada e a saída do ar. A chaminé solar é uma estratégia bioclimática que visa, além da manutenção da qualidade do ar, o incremento do nível de conforto térmico dos ambientes interiores.

Uma pesquisa realizada por Asadi, et al. (2016) diz que o sistema de chaminé solar melhora a qualidade do ar no interior de uma edificação através da ventilação natural. Através da simulação do desempenho de um modelo no programa EnergyPlus, os autores mostram que a atuação da chaminé solar é semelhante a uma chaminé comum, exceto por possuir a parede de uma das orientações revestidas com vidro, por onde os raios solares passam e são absorvidos pela parede, aquecendo o ar na parte interna da chaminé. O ar aquecido é menos comprimido (menos denso) fazendo com que este suba. Este movimento realiza a higienização do ambiente assim como aumenta o índice de ventilação natural.

A análise do nível de conforto térmico em ambientes climatizados naturalmente pode ser feita a partir de vários índices térmicos. Dentre eles destaca-se o modelo adaptativo de Dear e Brager da ASHRAE Standard 55 (2010). Esse modelo não leva em consideração dados de umidade e de velocidade dos ventos, unidades fundamentais para a avaliação do conforto térmico, somente dados de temperatura e uma umidade relativa média esperada, porém estabelece níveis de conforto.

O Modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 é válido somente para ambientes climatizados naturalmente. Esse modelo relaciona as temperaturas internas e externas do ambiente. Através da temperatura externa o modelo determina a temperatura operativa de conforto através da Equação 1.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255\ T_{ext} \quad (1)$$

Onde:

T_{oc} = Temperatura operativa de conforto;

T_{ext} = Temperatura média mensal externa.

Uma oscilação da temperatura operativa interna em relação à temperatura operativa de conforto entre +2,5 °C e -2,2°C estabelece uma aceitabilidade de 90%, e entre +3,5°C e -3,2°C uma aceitabilidade de 80%. (Ashrae 55, 2010)

Sendo que a temperatura operativa interna pode ser calculada com base na realização de simulações termodinâmicas. Segundo Souza e Rodrigues (2012) a simulação numérica de ventilação natural é uma ferramenta potencial, mas devem ser tomados cuidados na definição correta das condições de contorno. Os autores realizam o estudo a partir da simulação numérica com o programa ANSYS.

Já o trabalho de Sorgato e Lamberts (2012) aborda modelagem de ventilação natural através do modelo de rede (*AirFowNetwork*) no *software EnergyPlus*. Segundo os autores existem poucas bibliografias que tratam de desempenho térmico de edificações ventiladas naturalmente através de

simulação computacional, defendendo o tema pela característica climática quente e úmida do Brasil.

Embora o desempenho da ventilação natural considerando a ação do vento tenha um potencial maior que a ventilação considerando o efeito chaminé, a discussão das potencialidades do efeito chaminé é uma importante contribuição no âmbito do desempenho térmico das edificações. É dentro desse contexto que este artigo aborda a temática a partir de um estudo exploratório realizado para uma zona térmica, comparando os desempenhos do ambiente, observando a ação do vento e a chaminé térmica, foco dessa discussão.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação do comportamento térmico de um ambiente através de simulação computacional, observando os efeitos da chaminé térmica e da ação do vento em um ambiente localizado na zona bioclimática brasileira 2 (ZB2).

3 METODOLOGIA

O trabalho é um estudo exploratório, desenvolvido a partir de simulação computacional fazendo-se uso do *software EnergyPlus*®, versão 8.3. Para realização desse estudo foi necessário primeiramente realizar uma revisão de literatura e também um estudo das configurações de efeito chaminé no *software*, baseado principalmente no manual *Input Output Reference* (2015). Em um segundo momento foi realizado a reconstituição do edifício exemplo fornecido pelo programa, alterando as configurações de materiais, uso e ocupação, iluminação, para configurações mais usuais na Zona Bioclimática 2.

Foram simulados 4 casos, com o uso ou não da chaminé térmica e variando a configuração de ventilação natural e infiltração.

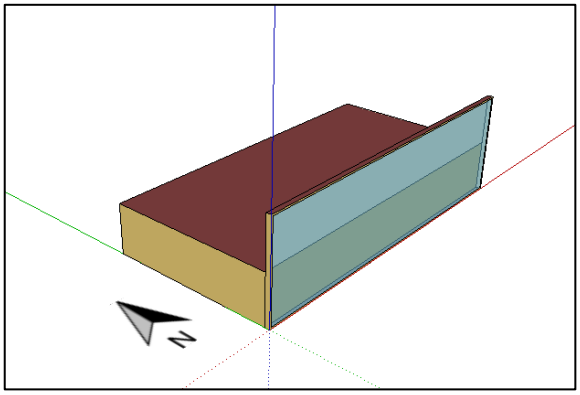
Para a análise do conforto térmico do ambiente, em cada caso, foram calculados o número de horas em conforto através da temperatura operativa para os níveis de 80% de pessoas satisfeitas, de acordo com o modelo de conforto adaptativo de Dear e Brager (1998), que baseia-se em um critério de 10% de insatisfação para desconforto térmico geral mais 10% de insatisfação para desconforto térmico local (Ashrae 55, 2010).

3.1 Descrições do modelo

O modelo utilizado para o estudo foi o edifício exemplo de chaminé solar disponibilizado pelo software EnergyPlus®, representado nas Figuras 1 e 2. O ambiente é composto de uma zona térmica, com 20m de comprimento e 10m de largura, com uma abertura no lado oposto da chaminé, sendo essa centralizada com 0,5m de peitoril, 8m de comprimento e 2m de altura. A chaminé possui 6m de altura, 0,3m de largura a 20m de comprimento, sendo que a área envidraçada da chaminé está voltada para a orientação norte.

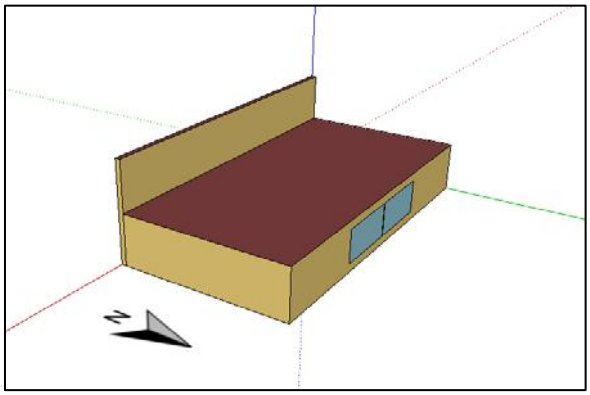
Foram utilizados materiais de uso tradicional e a transmitância térmica (U) foi calculada segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), conforme especificados na Tabela 1.

Figura 1: Vista da chaminé solar do modelo



Fonte: Adaptado de EnergyPlus

Figura 2: Vista posterior do modelo



Fonte: Adaptado de EnergyPlus

Tabela 1 – Propriedades Térmofísicas dos Mateirias

	Material	Espessura total	Transmitância
Paredes Externas	Argamassa + bloco cerâmico maciço + argamassa	19 cm	3,33 W/m².K
Parede da chaminé	Chapa de metal + bloco cerâmico + chapa metálica	17 cm	3,34 W/m².K
Laje de Piso	Revest. cerâmico + argamassa de assentamento + laje maciça de concreto	13cm	2,36 W/m².K
Cobertura	Laje concreto + Cam. de ar + Telha Fibrocimento	-	2,43 W/m².K

Fonte: Autores

Na parede da chaminé térmica foi utilizada uma chapa metálica de elevada absortância (0,9) e condutividade térmica, a fim de melhorar o efeito da chaminé. Nas áreas envidraçadas foi utilizado vidro simples 3mm.

3.2 Configuração do modelo

Primeiramente foram criadas duas agendas de funcionamento (*schedules*): a primeira foi configurada para a chaminé térmica ativa (*on*) durante o ano inteiro, e a segunda configurada para a chaminé térmica inativa (*off*) durante o ano inteiro. Após a criação das agendas foram configurados os

materiais, de de acordo com a Tabela 1. E em seguida foi configurada a chaminé térmica. O programa calcula o fluxo de ar originado da chaminé térmica através das equações 2 e 3.

$$Q = C_d A_o \sqrt{2\left(\frac{t_{fo}-t_r}{t_r}\right) \mathrm{gL}/(1+A_r)^2} \quad (2)$$

Onde:

Q é o fluxo de ar que percorre a chaminé térmica (m³/s);

C_d é o coeficiente de descarga;

A_o é a área do corte transversal na entrada do canal (m²);

t_{fo} é a temperatura do ar da atmosfera;

t_r é a temperatura do ar no interior da cavidade (K);

g representa a aceleração da gravidade; e

L é a altura total da chaminé térmica (m).

$$A_r = \frac{A_o}{A_i} \quad (3)$$

Onde:

A_i é a área do corte transversal da saída do canal (m²);

A_o = Ao é a área do corte transversal na entrada do canal (m²).

Foi adotada uma entrada e saída de 0,20 m² e um coeficiente de descarga térmica de 0,60. Já para a ventilação calculada (ação do vento) foi utilizado um fator mínimo de abertura de 0,10 e um limite inferior máximo para a abertura e fechamento da janela de 0°C e um superior de 9°C, *setpoint* de temperatura de 20°C, conforme recomendado pelo RTQ-R (Regulamento Técnido da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificios Residenciais). Sendo assim, a janela fica aberta entre 20°C até 29°C (limite superior de Givoni, 1992). Por fim, foi configurada a infiltração de ar, onde foi determinado que esta acontecesse durando todo o período anual e em todos os casos simulados, inclusive quando foram realizadas as simulações de ventilação calculada. De acordo com o guia CIBSE (2004) o valor adotado para infiltração foi de 1,15 *air change per hour* – trocas por hora, esse valor pode ser utilizado em edifícios residênciais de um pavimento, pouco estanques.

Também foram configuradas cargas térmicas decorrentes de iluminação, equipamentos e ocupação. Onde foram adotados os parametros recomendados pelo RTQ-R. Considerando o ambiente como se fosse um sala de estar, adotou-se 6 W/m² para a iluminação, 1,5 W/m² para os

equipamentos e uma ocupação de 2 pessoas. As agendas de funcionamento também foram criadas de acordo com recomendações do mesmo regulamento (INMETRO, 2010).

3.3 Casos simulados

Para a análise do nível de conforto térmico do ambiente, referentes à zona bioclimática brasileira 2, foram elaborados 4 casos distintos descritos a seguir:

1 - Chaminé solar operando durante todo período anual apenas com infiltração de ar;

2 - Sistema de chaminé solar desligado durante todo período anual com infiltração de ar;

3 - Chaminé solar operando durante todo período anual, ventilação natural calculada (*Airflownetwork*) pela janela do lado oposto e infiltração de ar;

4 - Sistema de chaminé solar desligado durante todo o período anual, ventilação natural calculada (*Airflownetwork*) pela janela do lado oposto e infiltração de ar.

Os casos foram simulados utilizando o arquivo climático de Santa Maria, representando a zona bioclimática brasileira 2. Após a simulação, estes foram avaliados através da quantidade de horas de conforto, pelo método adaptativo (ASHRAE 55, 2010), e comparados para verificar a melhor situação para a Zona em questão.

3.4 Análise de vazão do ar

Para a avaliação da vazão do ar, foram realizadas análises da quantidade de renovações de ar por hora em cada caso. Sendo analisada a pior situação, ou seja, o período mais quente do ano caracterizado como semana típica de verão. Os dados foram obtidos com base na análise do arquivo estatístico (BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.stat). Para os sete dias típicos mais quentes foram feitas médias diárias de renovações de ar por hora, podendo assim identificar qual caso possui o melhor desempenho em relação à ventilação natural.

3.5 Análise de conforto térmico

O método escolhido para a avaliação do conforto térmico do ambiente foi o modelo adaptativo da ASHARE Standard 55 de 2010. Para a realização da análise, primeiramente, foram coletados a partir das simulações, os dados de saída de temperatura operativa interna. Estes foram inseridos no *software Microsoft Excel*®, e com os dados de temperatura externa presentes no arquivo climático, foi feita uma média horária mensal. Com a média mensal da temperatura do ar externo ao ambiente, foi possível calcular a temperatura operativa de conforto para o mês a partir a Equação 1, apresentada anteriormente. Esse roteiro foi realizado para todos os meses.

Após todos os meses terem sua temperatura operativa de conforto calculada, os limites de conforto para 80% de aceitabilidade foram aplicados, e com isso obteve-se as horas de conforto térmico, horas de desconforto por frio e por calor durante as horas do ano em que a edificação está ocupada. Para o desconforto por calor foi considerado os valores acima do limite de aceitabilidade e o desconforto por frio abaixo do limite.

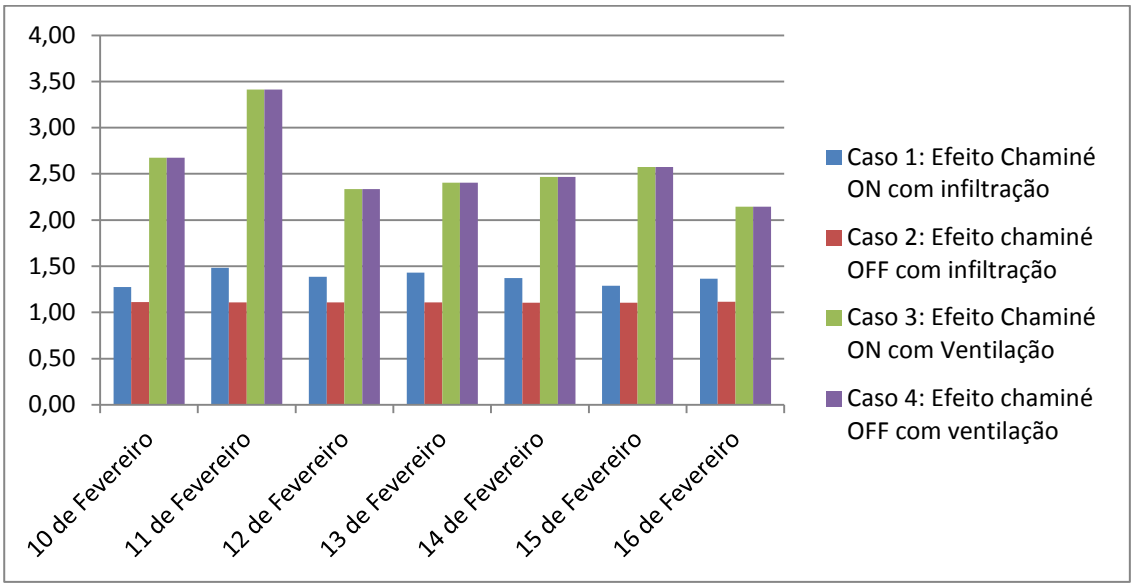
Essa metodologia foi aplicada para os quatro casos, descritos anteriormente. Foram obtidas assim as horas de conforto térmico do ambiente com cada estratégia, consequentemente, como também a estratégia mais adequada para o ambiente em termos de conforto térmico segundo o modelo adaptativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise das vazões de ar através das renovações por hora

Nas análises de renovações de ar no ambiente, os casos 3 e 4 (sistema de chaminé solar operando com ventilação natural calculada e sistema de chaminé solar desligado com ventilação calculada) apresentaram os melhores índices de renovação. Já os casos 1 e 2 apresentaram-se muito similares, resultando na baixa eficiência da chaminé solar. Os resultados podem ser observados na figura 3, onde os maiores indices obtidos são para o dia 11 de fevereiro. Os casos 3 e 4 chegam a 3,41 ren/h para o dia analisado, enquanto o caso apresentou 1, 1,48 ren/h e o caso dois 1,11 ren/h.

Figura 3: Resultados de vazão do ar



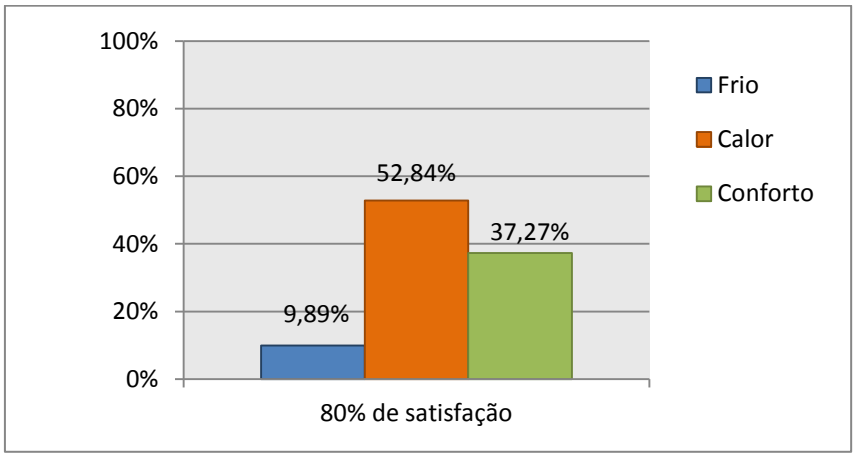
Fonte: os autores

4.2 Análise do nível de Conforto Térmico

Nas simulações notou-se um maior percentual de desconforto por calor em todos os quatro casos distintos, sendo que para o primeiro e o segundo casos, que são sem a ação do vento, apenas com infiltração de ar pela abertura. Para o primeiro com a chaminé operando, e o segundo com a chaminé desligada, observa-se que mesmo a chaminé solar operando o desconforto por calor não diminui consideravelmente.

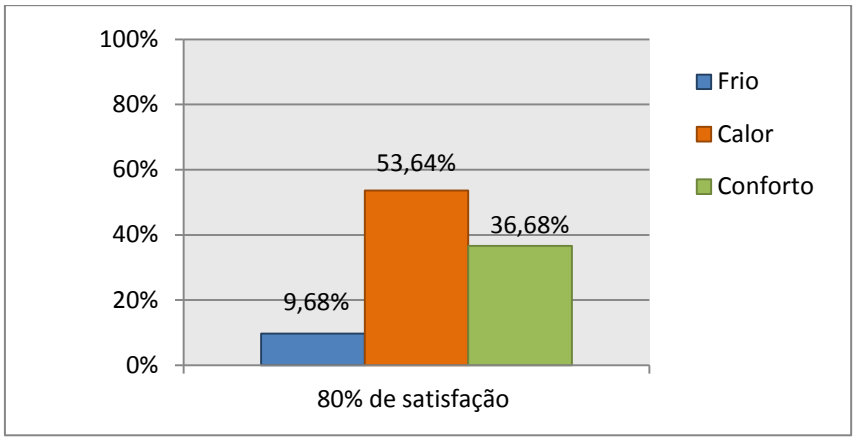
Para o caso 1 obteve-se um percentual de 9,89% de desconforto por frio, 52,84% de desconforto por calor e 37,27 % de conforto. Já para o caso 2 se obteve 9,68% de desconforto por frio, 53,64% de desconforto por calor e 36,68% de conforto. Os resultados de conforto do primeiro e do segundo casos estão apresentados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 1 (Chaminé solar operando com infiltração de ar pela abertura)



Fonte: os autores

Figura 5: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 2 (Chaminé solar desligada com infiltração de ar pela abertura)



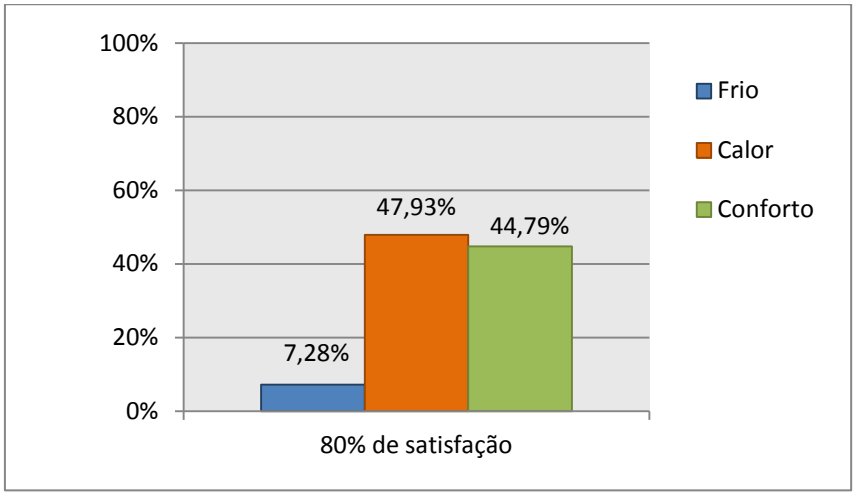
Fonte: os autores

Os casos 3 e 4 consideram a ação do vento, sendo o caso 3 com a chaminé operando e o caso 4 com a chaminé desligada, onde foi observada uma melhora significativa em relação aos casos anteriores. Porém estes dois casos

obtiveram exatamente a mesma porcentagem de horas em conforto e de horas em desconforto por color e frio, chegando à conclusão que a chaminé solar, nesta configuração, possui um parcela muito pouco significativa. Isso nos leva a acreditar que o software desconsidera a parcela do efeito chaminé, pois a ventilação calculada apresentou-se muito mais significativa, ficando assim somente a parcela de maior vazão de ar para os cálculos.

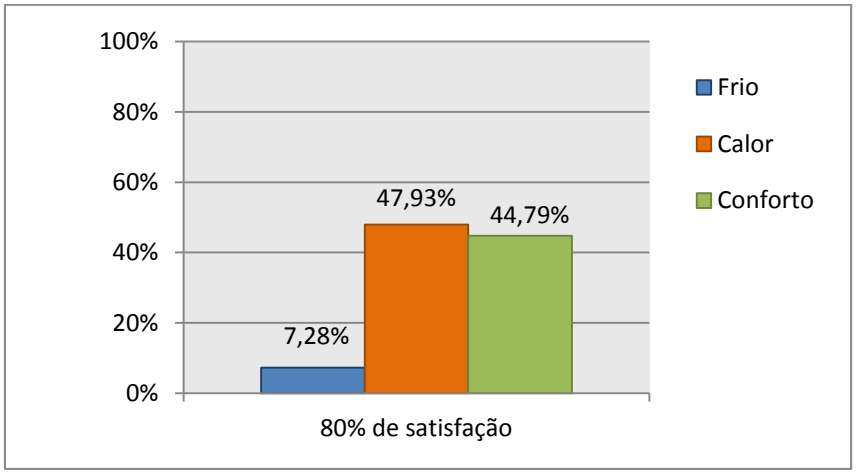
Os resultados do terceiro e quarto casos apresentaram um percentual de 7,28% das horas ocupadas em desconforto por frio, 47,93% em desconforto por calor e 44,79% de conforto, notando-se que com o uso da ventilação calculada, o conforto superou o desconforto por calor, que nos casos 1 e 2 estava muito mais elevado. Os resultados podem ser observados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 3 (Chaminé solar operando com ventilação pela abertura)



Fonte: os autores

Figura 7: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 4 (Chaminé solar desligada com ventilação de ar pela abertura)



Fonte: os autores

5 CONCLUSÕES

Esse estudo apresentou uma análise, através de simulações computacionais de diferentes casos, com o intuito de verificar se a estratégia de ventilação natural por efeito chaminé poderia contribuir no conforto térmico de um ambiente localizado na Zona Bioclimática Brasileira 2. A partir das simulações realizadas se observou que a estratégia de ventilação natural por efeito chaminé teve uma contribuição menos efetiva do que a ventilação pela ação do vento. Porém, é importante ressaltar que esta estratégia pode ser útil para essa zona, observando as possibilidades de manutenção da qualidade do ar.

Mesmo que no presente estudo, o efeito chaminé não tenha apresentado uma contribuição significativa em relação ao conforto térmico, acredita-se que este será importante para futuros trabalhos sobre estratégias de ventilação natural por efeito chaminé, principalmente estudos observando diferentes configurações da zona térmica variando a diferença entra a altura da de entrada e da saída de ar.

REFERÊNCIAS

ASADI, Somaye; FAKHARI, Maryam; FAYAZ, Rima; MAHDAVIPARSA, Akram. **The effect of solar chimney layout on ventilation rate in buildings.** Energy and Buildings, 2016.

ASHRAE STANDARD 55 – 2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.

BANSAL, N. K.; MATHUR, R.; BHANDARI M. S. **Solar chimney for enhanced stack ventilation**. Building and Environment, v. 28, n. 3, p. 373-377, Jul. 1993.

CIBSE. **Environmental design**, CIBSE Guide A, (seventh ed), Chartered Institution of Building Services Engineers, London (2006)

COSTA, Ennio Cruz. Arquitetura Ecológica: condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference.** ***ASHRAE Transactions*****,** 104 (1): 145-167, 1998.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalizacao e Qualidade Industrial. **Portaria n. 449/2010:** Regulamento Tecnico da Qualidade para o Nivel de Eficiencia Energetica de Edificios Residenciais - RTQ-R**.** INMETRO, 2010.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Input and Output Reference, EnergyPlus Version 8.3.**, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regent of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 2015.

NEVES, L. O. **Chaminé solar como elemento indutor de ventilação natural em edificações.** Programa de Pós Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade,

Universidade Estadual de Campinas (Tese de Doutorado), Campinas - SP, 2012, 142p.

SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. **Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Utilizados para a Simulação Computacional de Ventilação Natural, no Desempenho Térmico de uma Edificação Residencial Unifamiliar.** Anais do XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, p. 161-171, 2012.

SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L., S. **Ventilação Natural como Estratégia para o Conforto Térmico em edificações.** Revista escolar de Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 2, p. 189-194, Abr. Jun. 1993.

Organização

FAUUSP

ipt INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

Co-organização

SindusCon SP
O Sindicato da Construção

2016

Promoção

ANTAC

Patrocínio Ouro

SAINT-GOBAIN

CAIXA

BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Patrocínio Prata

ANICER
ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Apoio

PRCEU USP

FAPESP

CNPq

CAPES

BenefícioSP

SÃO PAULO convention & visitors bureau
visitesaopaulo.com

SÃO PAULO É TUDO DE BOM