

IMPACTO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO

Rejane Magiag Loura (1); Eleonora Sad de Assis (2); Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos (3)

(1) Doutora, professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, magiagloura@yahoo.com, Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba, 697, 30130-140, Belo Horizonte, MG, Tel +55 31 34098873

(2) Doutora, professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, eleonorasad@yahoo.com.br, Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba, 697, 30130-140, Belo Horizonte, MG, Tel +55 31 34098873

(3) Doutor, professor do Programa de Pós Graduação em Arquitetura, leopoldobastos@gmail.com, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Pedro Calmon, 550/sl. 433 Prédio da Reitoria, RJ 21941-590, Ilha do Fundão Rio de Janeiro, Tel +55 21 39381661

RESUMO

Esse artigo foi motivado pela necessidade de alcançar melhores condições de conforto térmico para as envoltórias no segmento das edificações residenciais no País. Diante da previsão de crescimento da demanda de energia elétrica pelo setor residencial para as próximas duas décadas, é relevante avaliar a capacidade efetiva de contribuição das envoltórias, tendo em vista que elas são um dos principais elementos da política de melhoria do desempenho térmico na última década no Brasil. O Objetivo deste artigo é avaliar a contribuição dos componentes da envoltória de edificações multifamiliares para a sensação de conforto térmico dos usuários. O estudo de caso foi o método escolhido para realização da pesquisa. A simulação computacional, seguindo o procedimento do RTQ-R, foi utilizada para obter as temperaturas internas do ar. A condição de conforto foi estabelecida por meio de um método adaptativo. Avaliando o desempenho por orientação destaca-se aquela em que a edificação tem posição mais favorável aos ventos dominantes. Para as demais orientações as composições de envoltória não demonstraram diferenças muito relevantes. Fica evidente para este estudo de caso que o tecido urbano influencia sobremodo nas condições de conforto térmico dos usuários.

Palavras-chave: Sistemas construtivos, Conforto térmico, Simulação computacional.

ABSTRACT

This article was motivated by the need to improve the thermal comfort conditions for the residential buildings envelopes in Brazil. The forecast shows an increasing demand for electricity in the residential sector in the next two decades. Furthermore, the building envelopes are the key element of the thermal performance policy in Brazil. Because of these points is important to assess the effective role of the envelope considering the weather conditions and the constructions systems. This article aims to assess the contribution of the envelope in multi-family buildings for thermal comfort conditions. The case study was chosen as research method. A computer simulation, following RTQ-R procedures, was used to obtain the internal air temperatures. The thermal comfort condition was established by an adaptive method. Considering building orientation performance, the orientation according to the prevailing winds stands out as the the most favorable. For the other building orientations the envelope compositions did not show very relevant differences. For this case study, it is evident the relevant contribution of the building urban implantation to improve thermal comfort for the users becomes evident.

Palavras-chave: Building systems, Thermal comfort, Computer simulation.

1 INTRODUÇÃO

Na última década o Brasil avançou de maneira significativa em relação à criação de instrumentos para melhorar o desempenho térmico das edificações, principalmente das residências. Neste período foram publicados as normas NBR15.220:2005 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), NBR15.575:2013 – Edificações habitacionais: desempenho (ABNT, 2013) e o regulamento técnico para qualidade dos níveis de eficiência energética para edificações residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2010). Esses três instrumentos apresentam como um dos pontos relevantes para avaliação de desempenho térmico das habitações a transmitância térmica de suas envoltórias. Há referências a outras variáveis importantes de maneiras e pesos distintos nos três instrumentos, tais como ventilação natural, sombreamento, por exemplo. Porém, nenhuma delas trata de maneira direta e objetiva o papel do contexto urbano.

Passado por esse esforço inicial de desenvolvimento dos primeiros instrumentos de avaliação de desempenho térmico deve-se olhar para o trabalho realizado com o intuito de mensurar seu real alcance e propor, a partir deste diagnóstico, medidas para continuidade do processo.

É fato a recente previsão de crescimento médio da demanda de eletricidade no setor residencial de 2,3% de 2010 a 2040 pela *Energy Information Administration* (DOE, 2013), como também as previsões do Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011) relacionadas com questões demográficas e melhoria das condições de conforto dos usuários. O que ressalta a necessidade de ser verificado o potencial de contribuição do envelope da edificação de modo a serem alcançadas melhores condições de conforto térmico através de meios passivos nas habitações. Neste trabalho, optou-se por fazer tal avaliação a partir de um estudo de caso para a cidade do Rio de Janeiro, localizada na zona bioclimática 8.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar a contribuição dos componentes da envoltória de edificações multifamiliares para a sensação de conforto térmico dos usuários em um estudo de caso.

3 MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto o trabalho foi desenvolvido com base no método do estudo de caso.

São consideradas como independentes as variáveis climático-ambientais e os parâmetros de projeto da edificação e sua envoltória (geometria e características físicas). A variável dependente avalia a condição de conforto higrotérmico dos usuários da habitação. Esta última está sendo mensurada pelo percentual de horas de conforto por ano sem a utilização de condicionamento artificial.

3.1 Estudo de Caso

O estudo de caso escolhido se situa no município do Rio de Janeiro em função de dois pontos principais: (i) o setor residencial é o maior consumidor de energia elétrica da cidade e (ii) a posse de ar condicionado está muito acima da média de todas as regiões brasileiras (IBGE, 2012). De acordo com o IBGE (2011), 60% dos domicílios cariocas possuem pelo menos um equipamento de ar condicionado. Esse valor é muito superior ao observado na pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, realizada pelo PROCEL para todas as regiões brasileiras (PROCEL, 2007).

Por meio de levantamento realizado a partir de informações do mercado imobiliário e da ADEMI Rio (2010), definiu-se que a região de interesse é Jacarepaguá, que engloba os bairros Taquara, Pechincha, Tanque, e Freguesia. Com base na legislação urbanística vigente e nas tipologias observadas no levantamento realizado, propôs-se uma edificação residencial composta por garagem, pilotis e oito pavimentos-tipo. O pavimento-tipo é composto de hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo uma suíte, sala estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda. A edificação possui três metros de afastamento frontal, 2,5 metros de pé-direito e área de abertura nos ambientes de permanência prolongada superior a 17% da área de piso. Assim, as janelas dos quartos medem 1,5m x 1,2m (equivalente a 20,9% da área de piso), da suíte mede 2m x 1,2m (equivalente a 18,8% da área de piso) e a abertura da sala 2m x 2,1m (equivalente a 20,3% da área de piso). O apartamento proposto para o trabalho possui 80 m². Os materiais da envoltória do projeto-padrão NBR12.721:2006 (ABNT, 2006) são: (i) alvenaria de vedação: bloco cerâmico 9 cm x 19 cm x 19 cm; (ii) revestimento externo das fachadas: chapisco, massa única industrializada e textura acrílica branco neve; (iii) revestimento interno de quartos e sala: argamassa de gesso, tinta a base de PVA branco neve; (iv) esquadrias: alumínio anodizado cor natural, padronizado, perfis linha 25, com vidro liso/fantasia 3 mm; e (v) cobertura: chapa ondulada de fibrocimento 6 mm, com estrutura de madeira sobre laje maciça de concreto (15 cm).

Para construir os arquivos de simulação conforme a metodologia presente no RTQ-R (2010), foi necessário fazer a divisão do pavimento em 21 zonas térmicas. Cada apartamento, ver figura 1, foi particionado em cinco zonas e toda a área de uso comum e as cozinhas dos apartamentos foram agrupadas em uma única zona (zona 11). Dessas 21 zonas, 16 são de permanência prolongada e foram avaliadas.



Figura 1 – Projeto-padrão do trabalho para simulação. Elaborado pela autora.

3.2 Descrição dos parâmetros formais

A pesquisa foi realizada com base nas variações dos seguintes parâmetros formais da edificação: (i) orientação da edificação, (ii) tamanho das janelas, (iii) presença ou não de proteção solar nas aberturas e (iv) sistema de vedação da envoltória (paredes e cobertura). A seguir os parâmetros estudados são descritos com detalhes.

Este estudo considera oito faixas de orientações para a implantação do eixo principal da edificação (o maior), sempre com relação ao Norte Verdadeiro (NV), a saber: Norte (faixa de 337,5° a 22,5°); Nordeste (de 22,5° a 67,5°); Leste (de 67,5° a 112,5°); Sudeste (de 112,5° a 157,5°); Sul (de 157,5° a 202,5°); Sudoeste (de 202,5° a 247,5°); Oeste (de 247,5° a 292,5°); e Noroeste (de 292,5° a 337,5°). As simulações de desempenho termoenergético das edificações que compõem o banco de dados foram realizadas para as orientações principais: Norte (0°); Nordeste (45°), Leste (90°), Sudeste (135°), Sul (180°), Sudoeste (225°), Oeste (270°) e Noroeste (315°).

A definição das áreas de aberturas considera dois tamanhos: aberturas com variação de 15% a 25% da área do piso do ambiente, sendo denominadas de aberturas médias e aberturas grandes, com áreas superiores a 25% da área do piso do ambiente.

Para tratar do sombreamento das aberturas, optou-se por abordar a questão de maneira simplificada, possibilitando a opção de aberturas totalmente sombreadas ou não sombreadas. O sombreamento total, para os arquivos de simulação, foi proporcionado por uma veneziana de placas de alumínio anodizado em tom natural presente na janela e externa ao vidro, sendo permeável à ventilação. Vale destacar que se um estudo geométrico da incidência solar nas fachadas mostrar que as edificações vizinhas ou a própria geometria da edificação promovem sombreamento total nas aberturas, recomenda-se considerar para análise as janelas sombreadas. A segunda opção oferecida agrupa as soluções com sombreamento parcial ou sem sombreamento. Considera-se sombreamento parcial aquele propiciado pelas características formais da própria edificação, como reentrâncias e marquises, e também pelo entorno. Não se considerou sombrear as áreas de permanência transitória.

Atualmente há disponíveis no mercado diversos sistemas construtivos para a execução das envoltórias das edificações residenciais multifamiliares. Para este estudo, optou-se por analisar as composições detalhadas nos quadros 1 e 2. As características térmicas dos materiais usados em todas as alternativas construtivas foram obtidas nas seguintes fontes: NBR15.220:2005 (ABNT, 2005); Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (LABEEE, 2010); Manual de conforto térmico (FROTA E SCHIFFER, 1999); Relatório técnico sobre condutividade térmica do Ecotelhado (BEYER, 2008); e Manual técnico de telhas de aço (ABCCEM, 2009). Foram calculadas a transmitância térmica das composições usadas nos 54 tipos de envoltórias (conjunto cobertura e vedação), a saber:

Tabela 1- Características térmicas das composições de vedação

Composição	Descrição (a partir do material da face exterior)	U (W/m ² .K)
P1	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco cerâmico e= 9cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.633
P2	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= de 2,5cm; 2. Bloco cerâmico e=14cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.378
P3	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco cerâmico e=19cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.281
P4	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco de concreto e= 9cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.907
P5	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco de concreto e= 14cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.813
P6	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco de concreto e= 19cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.768
P7	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco silico-cálcario e= 10cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	1.389
P8	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco silico-cálcario e= 15cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	0.905
P9	1. Argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, e= 2,5cm; 2. Bloco silico-cálcario e= 20cm com argamassa de assentamento 1cm; 3. Argamassa de gesso e= 0,2cm e pintura PVA branco neve.	0.672

Tabela 2 - Características térmicas das composições de cobertura

Composição	Descrição (a partir do material da face exterior)	U (W/m ² .K)
C1	1. Isolamento térmico em laje empregando vermiculita aglomerada com cimento e areia e=15cm; 2. Argamassa de proteção para a impermeabilização e=1 cm; 3. Impermeabilização de cobertura não sujeita a fissurações e a trânsito à base de emulsão acrílica estruturada com véu de poliéster; 4. Laje de concreto armado e=15cm.	3,702
C2	1. Telha de fibrocimento uma água, perfil ondulado, e=0,6cm, altura 12,5cm, largura útil 102cm e largura nominal 106,4cm, inclinação 27%; 2. Ático; 3. Laje de concreto armado e=15cm.	2,060
C3	1. Telha de fibrocimento uma água nominal 106,4cm, inclinação 27%; 2. Subcobertura em lâmina de alumínio e= 0,1cm; 3. Ático; 4. Laje de concreto armado e=15cm.	2,060
C4	1. Telha de fibrocimento uma água, perfil ondulado, e=0,6cm, altura 12,5cm, largura útil 102cm e largura nominal 106,4cm, inclinação 27%; 2. Manta de lã de vidro e= 5cm; 3. Ático; 4. Laje de concreto armado e= 15cm.	0.895
C5	1. Telha termoacústica, perfil trapezoidal, e=3cm, altura 7cm, largura útil 100cm e largura nominal 105,6cm; 2. Ático; 3. Laje de concreto armado e=15cm.	0.971
C6	1. Sistema alveolar ecotelhado pré-vegetado com substrato, espessura; 2. Argamassa de proteção para a impermeabilização espessura 1cm; 3. Impermeabilização de cobertura não sujeita a fissurações e a trânsito à base de emulsão acrílica estruturada com véu de poliéster; 4. Laje de concreto, e=15 cm.	2.144

Há uma sensível diferença entre o peso da cobertura e da vedação vertical sobre o desempenho termoenergético das edificações, especialmente, em edificações de múltiplos andares. O desempenho termoenergético do último pavimento das edificações multifamiliares é muito influenciado pela composição do sistema de cobertura. Sobre os demais pavimentos a cobertura tem impacto relativamente pouco relevante e as vedações verticais são mais relevantes. É importante, então, esclarecer que a média proposta neste trabalho, considerando apenas o primeiro e o último pavimento, tem uma influência maior da cobertura do que seria observado caso o valor médio fosse obtido a partir dos valores de todos os pavimentos.

3.3 Determinação da variável dependente

As simulações computacionais para desempenho termoenergético deste trabalho foram realizadas seguindo o padrão apresentado no RTQ-R versão 2010 (INMETRO, 2010) para edificações naturalmente ventiladas usando o método Conduction Transfer Functions (CTF) do programa EnergyPlus™. Este programa atende às seguintes exigências presentes no RTQ-R (2010).

O arquivo climático utilizado foi o TMY-2 (Typical Meteorological Year) para a cidade do Rio de Janeiro desenvolvido com dados do Aeroporto Santos Dumont, disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2011). Esses arquivos possuem dados de temperatura de bulbo seco, úmido e ponto de orvalho, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa e nebulosidade, além de dados de radiação total horizontal e normal direta. O arquivo é composto por uma seleção dos meses típicos, contendo meses de anos diferentes. Na década de 1990, após a atualização baseada no novo período de dados disponível (1961-1990), o arquivo passou a ser designado de TMY-2 (CRAWLEY e HUANG, 1997).

Utilizou-se a estratégia de controle automático por temperatura, ou seja, sempre que a temperatura do ar do ambiente for superior a 20°C, as janelas e portas dos ambientes de permanência prolongada se mantêm abertas (exceto a porta de acesso à unidade que se mantém sempre fechada). De acordo com o trabalho de Loura (2006), esse método de cálculo CTF apresenta algumas interferências nas saídas (resultados) quando são realizadas simulações com uma taxa de renovação do ar muito baixa em edificações naturalmente ventiladas. Para evitar esse problema, as janelas dos ambientes de permanência transitória (banheiros e cozinha) foram mantidas 100% do tempo abertas.

A saída solicitada ao programa EnergyPlus™ foi a temperatura do ar interno do ambiente. Contrariamente ao que recomenda o RTQ-R, não foram analisadas as saídas das zonas térmicas de todas as unidades habitacionais, pois a intenção é obter um valor médio representativo. Considerando, o tempo necessário e o volume de simulações para chegar à média a partir das informações de todas as unidades habitacionais de edificações multifamiliares, bem como a elevada capacidade de processamento computacional, optou-se por trabalhar com os valores das zonas térmicas das unidades dos pavimentos extremos (o mais baixo e mais o alto).

$$T_n = 0,534.T + 12,9^{\circ}\text{C}$$

Equação 1

A determinação do percentual de horas de conforto higrotérmico passivo partiu do cálculo da temperatura neutra utilizando a equação 1 de Humphreys (1978 apud PEREIRA e ASSIS, 2010), pois de acordo com os resultados obtidos pelas autoras, essa é a equação mais adequada para o caso trabalhado. Considerou-se como condição de conforto térmico temperaturas médias do ar até 1°C acima da temperatura neutra calculada para o mês. O percentual de horas de conforto higrotérmico passivo para cada ambiente de uma unidade habitacional corresponde à razão entre o somatório do número de horas de conforto ao longo do ano e o número de horas total do ano. O valor médio para cada unidade habitacional é calculado por meio de uma média ponderada com relação área do ambiente. Da mesma forma, para calcular o percentual médio da edificação foi considerada a média dos resultados obtidos para cada unidade, pois todas apresentavam a mesma área. Não foi definido limite mínimo para conforto higrotérmico utilizando índices de conforto adaptativo porque, considerando as condições climáticas do caso, é possível superar o desconforto higrotérmico provocado pelo frio com vestimentas um pouco mais pesadas que o habitual.

4. RESULTADOS

Os resultados foram obtidos por meio de 1.728 simulações de desempenho termoenergético.

A seguir são apresentados os valores médios de cada alternativa, ou seja, o resultado da média ponderada por área considerando todas as zonas térmicas de permanência prolongada dos quatro apartamentos do primeiro pavimento e do último pavimento. Inicialmente, os dados de conforto térmico são obtidos com foco na comparação entre as orientações, azimute do eixo longitudinal da edificação, por meio de quatro gráficos que consideram as diversas alternativas construtivas.

Os gráficos das figuras 2 a 5 são compostos por uma variável não contínua, pois o eixo das abscissas é composto por 54 casos independentes em cada gráfico.

Nos gráficos das figuras 2 e 3, pode-se identificar um comportamento bastante homogêneo tanto do ponto de vista das soluções como das orientações. A faixa de variação para o percentual de horas de conforto térmico passivo não chega a 10% entre as diversas orientações. Os resultados das alternativas com aberturas médias são, de modo geral, muito semelhantes aos das alternativas com aberturas grandes. Comparando-as

figuras 4 e 5 com as figuras 2 e 3 nota-se que há ligeira redução nos percentuais de horas de conforto térmico passivo, exceto para a orientação Sudeste com janelas médias que apresentam significativa elevação.

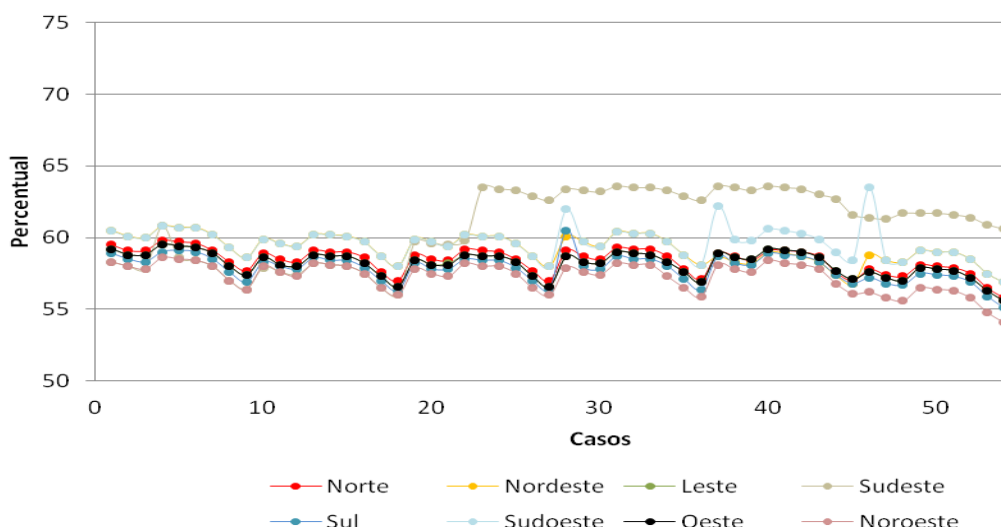


Figura 2 – Percentual de horas de conforto térmico para aberturas grandes sem proteção solar (Elaborado pela autora).

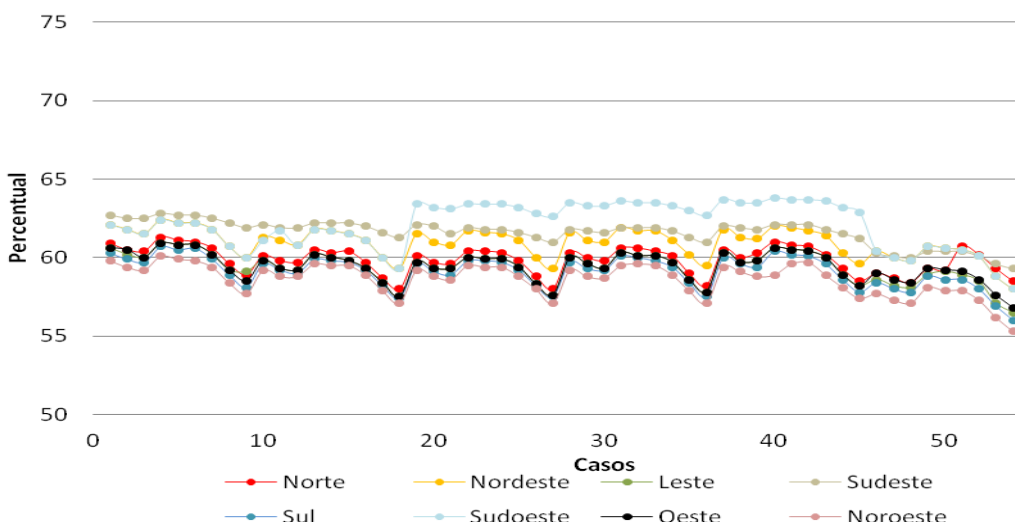


Figura 3 – Percentual de horas de conforto térmico para aberturas grandes com proteção solar (Elaborado pela autora).

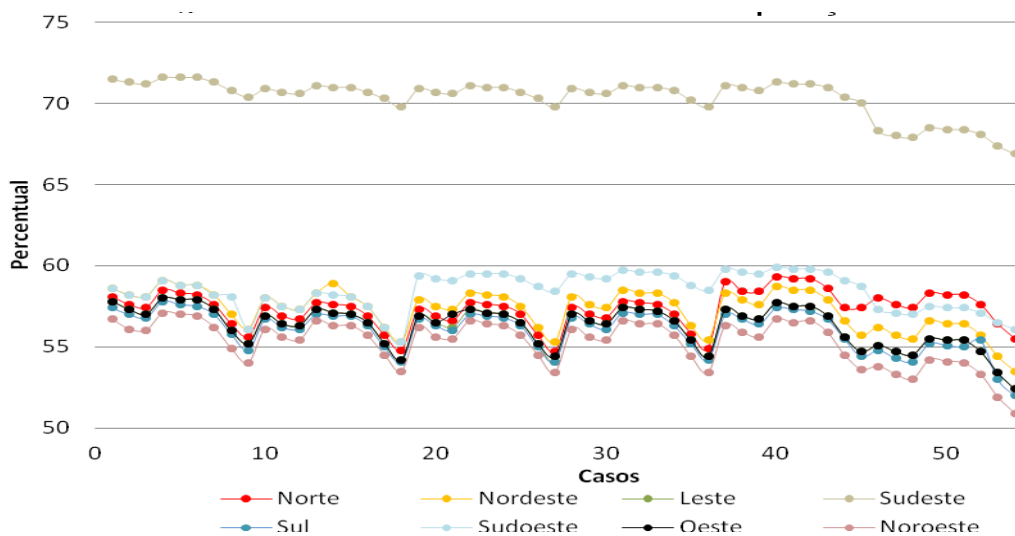


Figura 4 – Percentual de horas de conforto térmico passivo para aberturas médias sem proteção solar (Elaborado pela autora).

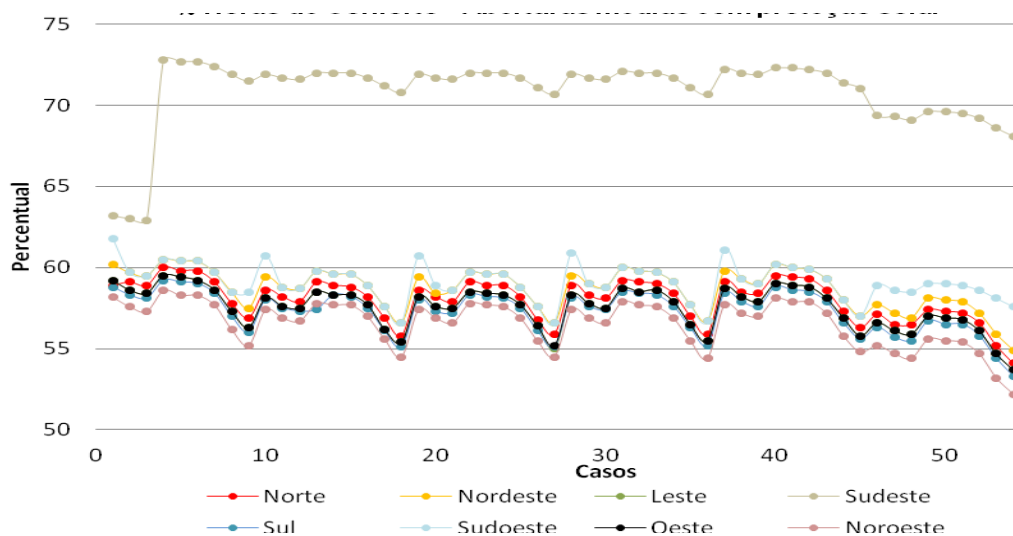


Figura 5 – Percentual de horas de conforto térmico para aberturas médias com proteção solar (Elaborado pela autora).

O destaque da orientação Sudeste pode ser explicado com base na análise do arquivo climático TMY-2 do Rio de Janeiro. Embora não seja possível considerar a frequência de ocorrência dos ventos quando se trabalha com esse tipo de arquivo, porque para as velocidades baixas (em geral inferiores a 0,3m/s) deve-se considerar direção do vento como 0°, é possível constatar que as maiores velocidades de vento registradas têm direção predominante Sudeste e, de forma secundária, Sudoeste. E foi justamente a orientação que apresentou o segundo maior percentual de horas de conforto. Assim, pode-se afirmar que as condições favoráveis de orientação em relação aos ventos dominantes contribuiu de forma significativa nas condições de conforto térmico dos usuários. A importância da ventilação cruzada e sombreamento de aberturas já são apontadas na NBR15.220:2005 como estratégias relevantes para obter condições de conforto térmico em cidades localizadas nesta zona bioclimática (ZB8), e também nas normas e regulamentos posteriores. De acordo com o diagrama adotado por esta mesma norma, não seria possível alcançar as condições de conforto sem o auxílio de sistemas ativos durante os meses mais quentes do ano.

As saídas referentes a cada uma das alternativas construtivas foram agrupadas, cada gráfico contém 108 situações, sendo 54 para as aberturas sem proteção e outras 54 com proteção. Para este artigo, optou-se por mostrar os resultados das orientações sudeste (melhor desempenho) e noroeste (pior desempenho) em gráficos.

Observou-se que para todas as orientações, exceto Sudoeste e Sudeste, a combinação de sistemas de cobertura utilizando laje impermeabilizada com camada de 15 cm de argamassa de vermiculita e alvenaria em blocos de concreto com 9 cm de espessura; aberturas grandes e sombreadas apresentou o melhor desempenho. Para o Sudoeste, a melhor combinação difere da descrita anteriormente em relação ao sistema de cobertura que é composto por telha metálica com EPS como isolante térmico (termotelha). Já a orientação Sudeste, que apresentou melhor desempenho geral, possui a mesma configuração de cobertura, alvenaria e sombreamento, porém as aberturas têm tamanho médio. A faixa das melhores alternativas varia de 72.8% (orientação Sudeste) a 60.1% (orientação Noroeste) de horas de conforto térmico passivo durante o ano de simulação. A faixa dos desempenhos mais baixos varia de 50.9% (orientação Noroeste) a 56% (orientação Sudeste). A solução com menor percentual de horas de conforto, com 50.9% (orientação Noroeste), é composta por aberturas médias, sem sombreamento, alvenaria com 20 cm de espessura de bloco de concreto celular e sistema de cobertura Ecotelhado. Essa mesma configuração também teve os desempenhos mais baixos para as orientações Nordeste, Leste, Sul e Oeste. A alternativa da orientação Norte com pior desempenho apresentou configuração semelhante, exceto pela presença de sombreamento nas aberturas. Já a pior configuração da pior orientação Sudeste é composta por aberturas grandes, sem sombreamento, alvenaria com 20 cm de espessura de bloco de concreto celular e sistema de cobertura com telha de fibrocimento. Por fim, tem-se a orientação Sudoeste com composição semelhante à da Sudeste, exceto pelo tamanho das aberturas, que são médias neste caso. A seguir a legenda e as figuras 6 a 9.

É necessário evidenciar o impacto, novamente, da ventilação no baixo desempenho da orientação Noroeste. Embora pareça incoerente, esse fato pode ser explicado pela condição urbana selecionada para a simulação. Optou-se por considerar o sítio como zona urbana com alta densidade de ocupação, o que interfere na ventilação natural das edificações. A vazão devido à ventilação na fachada voltada para o vento dominante é significativamente diferente quando essa é limítrofe à via ou a outra edificação, sendo a vazão de ar muito menor na segunda situação. Lembrando que os resultados apresentados são médias ponderadas pela área de

todas as zonas de permanência prolongada das quatro unidades habitacionais do primeiro e do último (oitavo) pavimento da edificação, identifica-se que a maior exposição das maiores fachadas às direções de vento mais frequentes contribui de modo definitivo para elevação dos valores médios dos critérios em questão. Isso se deve ao fato da sala e de um quarto estarem com as aberturas voltadas para essa fachada (a maior). A área da sala é praticamente a mesma obtida com a soma das áreas dos quartos voltados para as fachadas menores, desde modo o desempenho deste ambiente tem maior relevância na constituição do valor médio utilizado.

CPC1P1	CPC1P2	CPC1P3	CPC1P4	CPC1P5	CPC1P6	CPC1P7	CPC1P8	CPC1P9
CPC2P1	CPC2P2	CPC2P3	CPC2P4	CPC2P5	CPC2P6	CPC2P7	CPC2P8	CPC2P9
CPC3P1	CPC3P2	CPC3P3	CPC3P4	CPC3P5	CPC3P6	CPC3P7	CPC3P8	CPC3P9
CPC4P1	CPC4P2	CPC4P3	CPC4P4	CPC4P5	CPC4P6	CPC4P7	CPC4P8	CPC4P9
CPC5P1	CPC5P2	CPC5P3	CPC5P4	CPC5P5	CPC5P6	CPC5P7	CPC5P8	CPC5P9
CPC6P1	CPC6P2	CPC6P3	CPC6P4	CPC6P5	CPC6P6	CPC6P7	CPC6P8	CPC6P9
SPC1P1	SPC1P2	SPC1P3	SPC1P4	SPC1P5	SPC1P6	SPC1P7	SPC1P8	SPC1P9
SPC2P1	SPC2P2	SPC2P3	SPC2P4	SPC2P5	SPC2P6	SPC2P7	SPC2P8	SPC2P9
SPC3P1	SPC3P2	SPC3P3	SPC3P4	SPC3P5	SPC3P6	SPC3P7	SPC3P8	SPC3P9
SPC4P1	SPC4P2	SPC4P3	SPC4P4	SPC4P5	SPC4P6	SPC4P7	SPC4P8	SPC4P9
SPC5P1	SPC5P2	SPC5P3	SPC5P4	SPC5P5	SPC5P6	SPC5P7	SPC5P8	SPC5P9
SPC6P1	SPC6P2	SPC6P3	SPC6P4	SPC6P5	SPC6P6	SPC6P7	SPC6P8	SPC6P9

Legenda das figuras 6 a 9. Nota: SP sem sombreamento ou com sombreamento parcial, CP sombreamento total, C se refere às coberturas listadas na tabela 2 e P às alvenarias listadas na tabela 1.

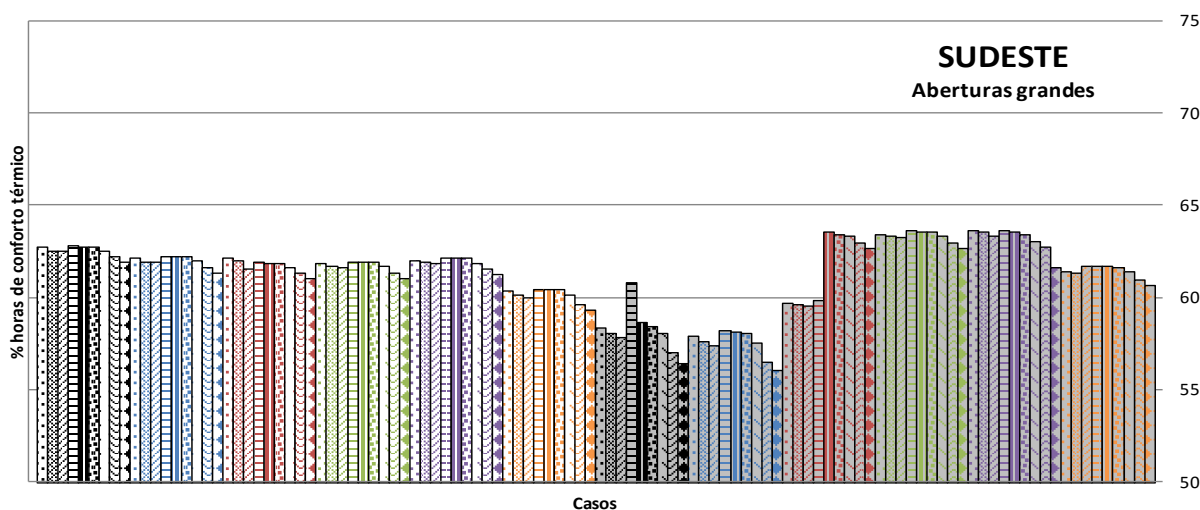


Figura 6 – Alternativas construtivas: percentual de horas de conforto térmico para aberturas grandes da orientação sudeste (Elaborado pela autora).

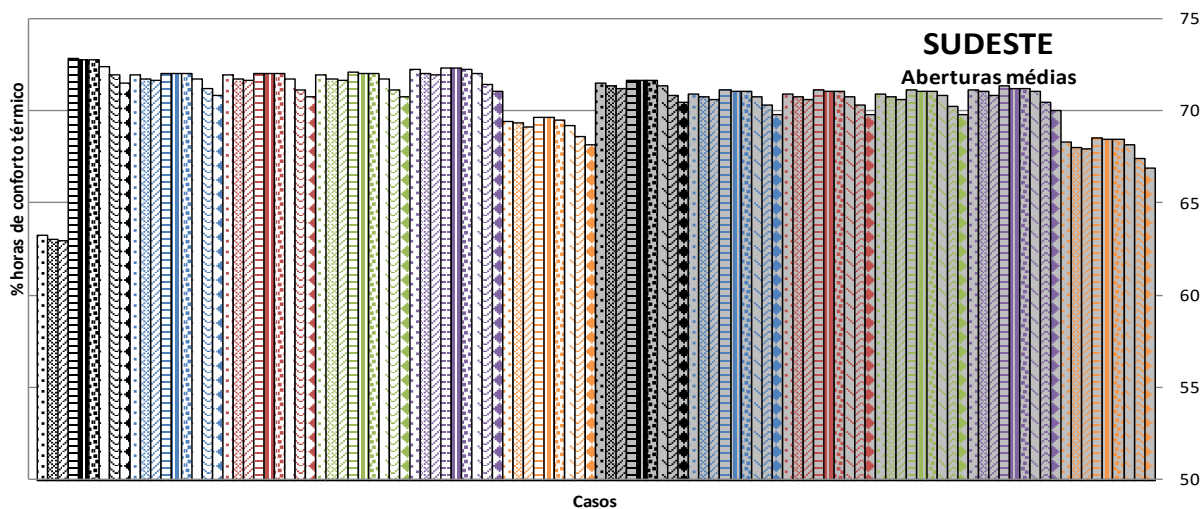


Figura 7 – Alternativas construtivas: percentual de horas de conforto térmico para aberturas médias da orientação sudeste (Elaborado pela autora).

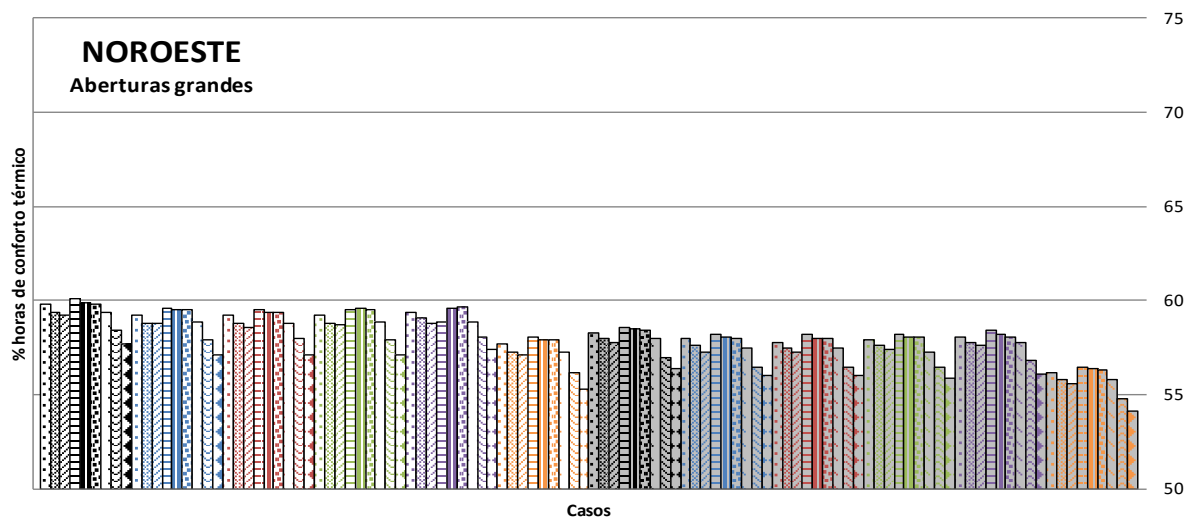


Figura 8 – Alternativas construtivas: percentual de horas de conforto térmico para aberturas grandes da orientação noroeste (Elaborado pela autora).

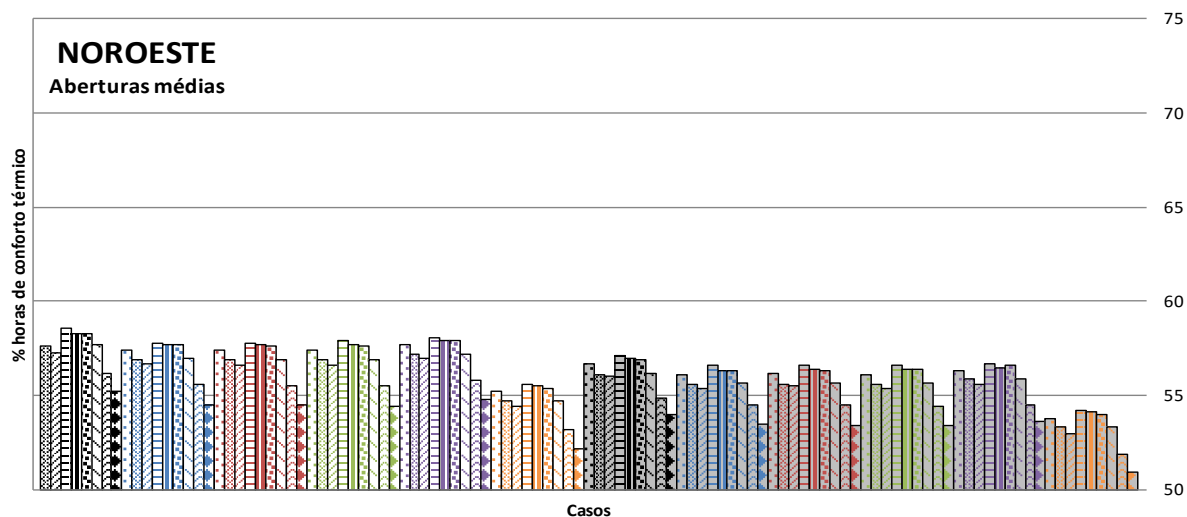


Figura 9 – Alternativas construtivas: percentual de horas de conforto térmico para aberturas médias da orientação noroeste (Elaborado pela autora).

Em relação ao tamanho das aberturas, notou-se que as grandes possibilitam um melhor desempenho em 85,7% das 1728 simulações realizadas com relação ao critério de conforto térmico. Isso se deve a vazão de renovação do ar porque as aberturas maiores tendem a permitir maiores volumes de renovação do ar, melhorando assim as condições internas quando a ventilação externa for mais favorável.

De forma geral, as simulações mostraram que as soluções com melhor desempenho atendem as exigências estabelecidas na norma NBR15.220:2005, primeira norma técnica brasileira sobre o assunto. Atende também as exigências dos instrumentos posteriores, NBR15.575:2013 e RTQ-R. É interessante observar que as soluções como bloco de vedação de concreto celular e o sistema de cobertura modular Ecotelhado são comumente anunciados como adequados para melhorar as condições térmicas das edificações. Porém, neste trabalho, estas foram as soluções que, no geral, apresentaram os desempenhos menos satisfatórios. É necessário, ainda, chamar atenção para o desempenho das soluções que usam cobertura com barreira radiante (Cobertura tipo três - C3). A simulação mostrou a contribuição dessa última solução como forma de reduzir o fluxo de calor nas coberturas, sendo irrelevante o impacto nos demais pavimentos.

5. CONCLUSÕES

O trabalho realizado mostrou que, para o caso escolhido, há pouca influência dos tipos e características dos materiais empregados na envoltória sobre uma variação das condições de conforto térmico. Para todas as orientações em que a ventilação natural não foi favorecida, as diversas composições para envoltória não

apresentaram diferenças significativas, ou seja, as variações do percentual de horas de conforto térmico foram menores que 10%.

Esse resultado chama atenção para dois pontos principais, a saber: (i) o impacto que a malha urbana tem sobre a condição de conforto das edificações e que não vem sendo considerado pelos instrumentos legais e normativos vigentes. Pois, há a influência da orientação das ruas e sombreamentos do entorno próximo. (ii) a necessidade de realizar uma criteriosa análise de custo do ciclo de vida ou de custo/benefício ao investir em soluções construtivas com custo inicial mais elevado visando a melhoria da condição de conforto da edificação. Embora os três instrumentos normatizados enfatizem o papel da ventilação natural para essa zona bioclimática, pode-se afirmar que em nenhum deles há medidas claras que promovam a correta orientação da edificação no terreno, tão pouco, têm repercussão no processo de planejamento urbano.

É relevante ressaltar os limites de abrangência deste estudo. A base climática utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida por um organismo estrangeiro a partir de dados de um aeroporto. O recomendado seria utilizar dados climáticos de estações meteorológicas localizadas no tecido urbano. Em relação aos resultados apresentados é relevante destacar que a forma da edificação analisada proporcionou autosombreamento em grande parte das aberturas da edificação, mesmo nos casos em que não há proteção solar. Esse fato interferiu nos resultados apresentados, contribuindo para reduzir a relevância da proteção solar. Entende-se que seria relevante ampliar a discussão estudando as demais zonas bioclimáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO (ADEMI RJ). *Pesquisa ADEMI*. Disponível em <http://ademi.webtexto.com.br/index.php3>. Acessado em 24 de abril de 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM). *Manual Técnico de Telhas de Aço*. São Paulo, ABCEM, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15.575: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos*. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- _____. *NBR15220 - Desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- _____. *NBR12721 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- BEYER, P.O. Relatório de resultados da determinação da condutividade térmica equivalente do Ecotelhado. Porto Alegre, Ecotelhado, 2008. Disponível em <http://www.ecotelhado.com.br/por/informacoes/sitepages/Pesquisas.aspx>. Acessado em 16 de janeiro de 2011.
- CRAWLEY, D. B.; HUANG, Y. J. *Does it matter which weather data you use in energy simulations?* User news. USA, Vol18, N°1, p. 2-6,1997. Disponível em: <<http://eande.lbl.gov/BTP/SRG/UNews>>. Acesso em: 05 abril 2005
- DEPARTMENT OF ENERGY. *Weather Data*. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil. Acessado em 20 de agosto de 2011.
- DEPARTMENT OF ENERGY. *International Energy Outlook 2013 with projections to 2040*. Washington: DOE, 2013.
- FROTA, Anésia B; SCHIFFER, Sueli R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Nobel. 1999. 228p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sistema de contas nacionais*. 2012. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasnacionais/referencia2000/2004_2005/default.shtm. Acessado em 25 de fevereiro de 2012.
- _____. *Trabalho e Rendimentos*. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/default.shtm>. Acessado em 23 de novembro de 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL-INMETRO. *Portaria n° 181: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*. Rio de Janeiro, INMETRO, 2010.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEE). *Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas – versão 4*. Florianópolis. LABEEE, 2010.
- LOURA, R. M. *Procedimento de Identificação de Variáveis e Análise de sua Pertinência em Avaliações Termoenergéticas de Edificações*. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas*. Brasília, MME, 2011.
- PEREIRA, I. M; ASSIS, E. S. Assis. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. *Ambiente Construído*. v.10, n1, 2010.
- PROCEL. *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil - Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil*. Rio de Janeiro. Eletrobrás, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao DAAD pelos recursos financeiros aplicados no financiamento desta pesquisa.