

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES LOCALIZADAS NO RIO DE JANEIRO, RJ.

Rejane Magiag Loura ⁽¹⁾; Eleonora Sad de Assis ⁽²⁾, Leopoldo E. G. Bastos ⁽³⁾.

(1) Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, email: magiagloura@yahoo.com

(2) Professora Associada do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, email: eleonorasad@yahoo.com.br

(3) Professor Titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro, email: leopoldobastos@gmail.com

Resumo

Para promover conforto térmico nas edificações é relevante conhecer o desempenho das soluções construtivas identificando qual delas é a mais adequada para as condições climáticas locais. O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico, a partir de simulações computacionais, de diferentes composições de envoltória (paredes externas e cobertura), variando a condição de sombreamento das aberturas, em edificações multifamiliares na cidade do Rio de Janeiro, utilizando o padrão R8-N como referência. O trabalho foi desenvolvido com base em 864 simulações anuais de desempenho térmico usando o software EnergyPlus®. A partir da saída horária temperatura média do ar da zona térmica foi possível estabelecer um critério para avaliação do desempenho térmico global da edificação: percentual de horas de conforto. Para cada um dos 864 casos foi obtido um valor representativo. As simulações mostraram que a adoção de sombreamento nas aberturas e a transmitância térmica mais elevada contribuíram de maneira efetiva para a melhoria do desempenho térmico. Por fim, foi possível mensurar a diferença de desempenho dos casos analisados.

Palavras-chave: Desempenho termico, Simulação computacional, Envoltória.

Abstract

To promote thermal comfort in buildings is important to know the performance constructive solutions, identifying which one is best suited to local climatic conditions. The aim of this paper is to evaluate the thermal performance from computer simulations of different compositions envelope (external walls and roof), varying the condition of shading of openings in multifamily buildings in the city of Rio de Janeiro. It was used a standard project for the analyses. It was done 864 annual simulations of thermal performance using software EnergyPlus®. Considering the output average air temperature of thermal zone hourly was established a criterion for evaluating the overall thermal performance of the building: the percentage of comfort hours. It was taken a representative value for each case. The simulations showed that shade openings and higher thermal transmittance contributed effectively to improving the thermal performance. Finally, it was possible to measure the performance difference of the cases analyzed.

Keywords: Thermal energetic performance, Computational simulation, building envelope.

1. INTRODUÇÃO

Com a previsão de crescimento da demanda de energia elétrica pelo setor residencial para as próximas duas décadas é relevante atuar sobre um uso final, cada vez mais presente nas habitações, que tem significativo impacto sobre o consumo energético delas: o

condicionamento ambiental. O governo brasileiro, por meio das atividades do PROCEL Edifica desenvolveu o primeiro instrumento para avaliação de consumo de energia nas edificações residenciais (INMETRO, 2010). Essa iniciativa é significativa para o mercado e mostra a preocupação do governo brasileiro com o uso da energia nas habitações.

Evidentemente, tal política tem impacto sobre o setor produtivo, especialmente sobre a especificação dos componentes da envoltória. Recorrer às simulações computacionais para auxiliar as avaliações na fase de planejamento dos empreendimentos permite realizar comparações entre projetos e entre alternativas para um mesmo projeto. As simulações em fase de projeto fornecem informações sobre as condições de conforto ambiental dos ocupantes e de consumo de energia de um edifício, entre outras. Sendo assim, analisando os resultados de uma simulação é possível tomar decisões que contribuirão para uma maior eficiência energética da edificação.

O objetivo deste artigo é apresentar uma avaliação de desempenho térmico, a partir de simulações computacionais, de diferentes composições de envoltória (paredes externas e cobertura), variando a condição de sombreamento das aberturas, em edificações multifamiliares, tendo a cidade do Rio de Janeiro como estudo de caso, utilizando o padrão R8-N como referência.

2. ESTUDO DE CASO

A cidade do Rio de Janeiro é segunda maior consumidora de energia elétrica do país e apresenta um perfil de consumo distinto da padrão nacional. De acordo com os dados de consumo no Brasil, o setor residencial responde por 22,3% do consumo total (EPE, 2009), enquanto no Rio de Janeiro, esse setor em 2007 foi responsável por 40% da eletricidade consumida no município (LIGHT S.A apud PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 2012). Grande parte da energia elétrica consumida nas residências cariocas se destina ao condicionamento ambiental. De acordo com o IBGE (2010), 60% desses domicílios 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. A maior média é observada na região Norte do Brasil, onde esse equipamento está presente em 16,5% das residências. A região Sudeste aparece com o menor percentual de domicílios (7%) com, pelo menos, um aparelho (PROCEL, 2007).

A definição da edificação padrão considerou as legislações municipais pertinentes, a NBR12.721:2006 - *Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios - Procedimento* (ABNT, 2006) e o mercado imobiliário local. Em levantamento realizado por Loura (2012) foi possível constatar que a região administrativa de Jacarapaguá é a que tem apresentado maior número de lançamentos imobiliários na cidade. Identificou-se também o perfil dos produtos oferecidos pelo mercado, ou seja, os compartimentos presentes na maioria das unidades e suas respectivas áreas. A figura 3 mostra a planta do pavimento tipo da edificação já adaptada.

As esquadrias utilizadas nos quartos medem 1,5m x 1,2m (equivalente a 20,9% da área de piso), na suíte mede 2m x 1,2m (equivalente a 18,8% da área de piso) e na sala 2m x 2,1m (equivalente a 20,3% da área de piso). Todas atendem às determinações da legislação.

3. MÉTODO

As simulações computacionais usando o software EnergyPlus® foram feitas de acordo com o procedimento apresentando pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência

Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2010). A análise foi feita a partir de uma edificação residencial de oito pavimentos sobre pilotis considerando o padrão construtivo R8-N. Como pode ser visto na figura 1, cada pavimento tipo possui quatro unidades habitacionais com pouco mais de 80 m² cada.



Figura 1 – Projeto-padrão do trabalho para simulação. Elaborado pelos autores.

3.1. Alternativas simuladas

O objetivo das simulações foi realizar análises paramétricas considerando a variação de quatro aspectos da edificação: (i) orientação – oito variações, (ii) presença de proteção solar nas aberturas – duas variações, (iii) sistema de vedação vertical – nove variações e (iv) sistemas de cobertura – seis variações. A combinação dessas variações criou 864 casos para serem analisados, ou seja, 864 simulações foram realizadas.. A seguir são apresentados as características dos parâmetros que foram testados.

3.1.1. Orientação

Neste estudo de caso foram consideradas oito orientações para a implantação do eixo principal da edificação (o maior), sempre com relação ao Norte Verdadeiro (NV), a saber: Norte (0°), Nordeste (45°), Leste (90°), Sudeste (135°), Sul (180°), Sudoeste (225°), Oeste (270°) e Noroeste (315°). A figura 2 exemplifica a orientação das edificações.

3.1.2. Sombreamento das aberturas

Optou-se por abordar o sombreamento das aberturas de maneira simplificada, considerando (i) as aberturas totalmente sombreadas ou (ii) parcialmente sombreadas/não sombreada. O sombreamento total foi proporcionado por veneziana de placas de alumínio anodizado em tom natural externa ao vidro e permeável à ventilação. A segunda opção 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. Não se considerou sombrear as áreas de permanência transitória.

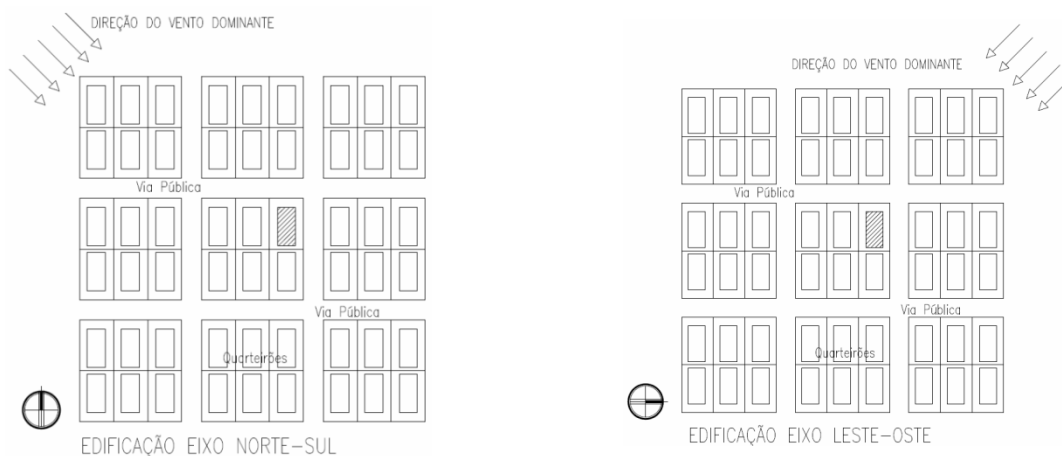


Figura 2 – Orientação das edificações. Elaborado pelos autores.

3.1.3. Sistemas construtivos

Atualmente há disponíveis no mercado diversos sistemas construtivos para a execução das envoltórias das edificações residenciais multifamiliares. Para definição das alternativas, optou-se por apresentar os sistemas mais frequentemente utilizados nas construções de empreendimentos multifamiliares, com base na experiência dos autores, e alguns sistemas alternativos apresentados pelos fabricantes como capazes de oferecer conforto térmico às edificações. As características térmicas dos materiais usados foram obtidas em diferentes documentos, a saber: NBR15.220:2005 – *Desempenho térmico de edificações* parte 3 (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 (ABCEM, 2009). O Quadro 1 apresenta a descrição das composições usadas e a transmitância térmica desses conjuntos, considerando nas alvenarias os revestimentos externos e internos, iguais para todas as composições, a saber: revestimento exterior em argamassa única industrializada com textura cor branco neve e chapisco, espessura final de 2,5cm e revestimento interno em argamassa de gesso, espessura 0,2cm, e pintura PVA branco neve.

3.2. Simulações

As simulações computacionais para avaliação de desempenho térmico 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®. O arquivo de simulação possui todos os pavimentos da edificação, todas as aberturas existentes e as varandas das unidades habitacionais. O coeficiente de rugosidade do entorno considerado foi terreno em centro urbano e os coeficientes de pressão nas superfícies foram calculados automaticamente pelo programa.

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).

Nos arquivos de simulação conforme, dividiu-se cada pavimento em 21 zonas térmicas. Cada apartamento foi dividido em cinco zonas e toda a área de uso comum e as cozinhas dos apartamentos foram agrupadas em uma única zona. Dessas 21 zonas, 16 são de permanência prolongada (quartos e salas) e foram avaliadas. Portanto para cada unidade habitacional há quatro zonas relevantes.

	Vedação - Descrição (a partir do material da face exterior)	U (W/m².K)
P1	Bloco cerâmico e= 9 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.63
P2	Bloco cerâmico e=14 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.38
P3	Bloco cerâmico e=19 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.28
P4	Bloco de concreto e= 9 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.91
P5	Bloco de concreto e= 14 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.81
P6	Bloco de concreto e=19 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.77
P7	Bloco silico-cálcario e=10 cm com argamassa de assentamento 1cm	1.39
P8	Bloco silico-cálcario e=15 cm com argamassa de assentamento 1cm	0.90
P9	Bloco silico-cálcario e= 20 cm com argamassa de assentamento 1cm	0.67
	Cobertura - Descrição (a partir do material da face exterior)	U (W/m².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=15 cm.	3,70
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=15 cm.	2,06
C3	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. Subcobertura em lâmina de alumínio e= 0,1 cm; 3. Ático; 4. Laje de concreto armado e=15 cm.	2,06
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= 5 cm; 3. Ático; 4. Laje de concreto armado e= 15 cm.	0.90
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=15 cm.	0.97
C6	1. Sistema alveolar ecotelhado pré-vegetado com substrato, espessura; 2. Argamassa de proteção para a impermeabilização espessura 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, e=15 cm.	2.14

Quadro 1 - Características térmicas das composições de envoltória

Fontes: ABNT, 2005; LABEEE, 2010; Frota e Schiffer, 1999; Beyer, 2008; e ABCEM, 2009. Calculado pelos autores.

Utilizou-se controle automático de abertura por temperatura nos ambientes de permanência prolongada. Sempre que a temperatura do ar interno for superior a 20°C as janelas e portas desses ambientes se mantêm abertas (exceto a porta de acesso à unidade que se mantêm sempre fechada). De acordo com o trabalho de Loura (2006), o método de cálculo CTF apresenta algumas interferências nos resultados quando são realizadas simulações com uma taxa de renovação do ar muito baixa em edificações naturalmente ventiladas. Para evitar esse problema, as janelas e portas dos ambientes de permanência transitória (banheiros e cozinha) foram mantidas 100% do tempo abertas. Adotou-se o padrão mínimo de ocupação, a taxa metabólica das atividades, as densidades de potência instaladas de iluminação e as cargas internas de equipamentos apresentados no RTQ-R (INMETRO, 2010), bem como o método para determinação da temperatura do solo.

A saída solicitada ao programa EnergyPlus® foi a temperatura do ar interno do ambiente para

cada hora do ano típico. 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 para os dois critérios supracitados. 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). Portanto, foram obtidas as saídas para quatro zonas térmicas em cada unidade habitacional nas oito unidades habitacionais do primeiro e do último pavimento.

3.3. Critério de análise e tratamento estatístico

A partir da saída do EnergyPlus®, temperatura do ar interno do ambiente, foi estabelecido um critério para análise dos resultados: Percentual de horas de conforto higrotérmico passivo. Usando uma equação para avaliar a condição de conforto térmico a partir da temperatura neutra calculada, foi possível verificar se os ambientes de permanência prolongada estão em situação de conforto em cada uma das horas do ano típico simulado. Para este estudo de caso selecionou-se a equação de Humphreys (Equação 1) (1978 apud PEREIRA e ASSIS, 2010), pois de acordo com os resultados obtidos pelas autoras, essa é a equação mais adequada para a condição climática em análise. De acordo com Humphreys (1978 apud PEREIRA e ASSIS, 2010), a condição de conforto é caracterizada pela temperatura neutra calculada para cada mês mais ou menos 1°C. Desse modo, foi considerado fora da zona de conforto todas as horas em que a temperatura interna do ar superou em mais de 1°C a temperatura neutra. Não foi definido limite mínimo para conforto higrotérmico utilizando índices de conforto adaptativo porque, considerando as condições climáticas da cidade em questão é possível superar tal desconforto com vestimentas mais pesadas que o habitual.

$$T_n = 0,234 \cdot TMED + 12,9 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Equação 1)}$$

Sendo: T_n : temperatura de conforto ou de neutralidade; $TMED$: temperatura média mensal externa (normais climatológicas). Faixa de conforto: $T_n \pm 2$ a $3 \text{ } ^\circ\text{C}$, exceto em condições de umidade relativa elevada. Neste caso $T_n \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Os dados gerados foram tratados a fim de se obter apenas um valor médio representativo para cada uma das 864 situações analisadas. Optou-se por determinar o percentual de horas de conforto higrotérmico passivo. Calculou-se, com base nas informações de horas em condição de conforto, o percentual de cada um dos 16 ambientes de permanência prolongada analisados. Em seguida determinou-se o valor médio da unidade a partir da ponderação pela área do ambiente. Por fim, o valor final foi obtido pela média simples dos valores de cada uma das unidades analisadas.

4. RESULTADOS

Para apresentar os resultados de cada uma das soluções foram elaborados gráficos para cada uma das orientações das edificações, que são mostrados a seguir nas figuras 3 a 10. Cada gráfico contém 108 soluções, divididos em dois grupos (com e sem proteção solar total).

De modo geral, os resultados mostrados nas figuras 3 a 10 apresentam um comportamento homogêneo. A faixa de variação para o percentual de horas de conforto térmico passivo não chega a 10% para todas as orientações, exceto as Sudeste e Sudoeste. Foi possível perceber maior número de horas de conforto para as alternativas com a presença de proteção solar nas aberturas.

As figuras 3 a 10 mostram que para o percentual de conforto higrotérmico de todas as orientações, exceto a Sudoeste (figura8), a combinação de sistemas de cobertura utilizando laje impermeabilizada com camada de 15 cm de argamassa de vermiculita – C1 – e blocos de concreto com 9 cm de espessura – P4 - e sombreadas apresentou o melhor desempenho (setas verdes indicando).

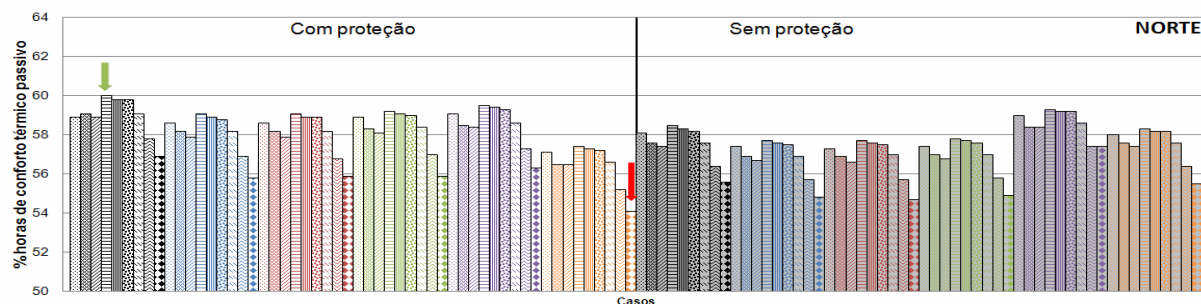


Figura 3 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Norte. Elaborado pelos autores.

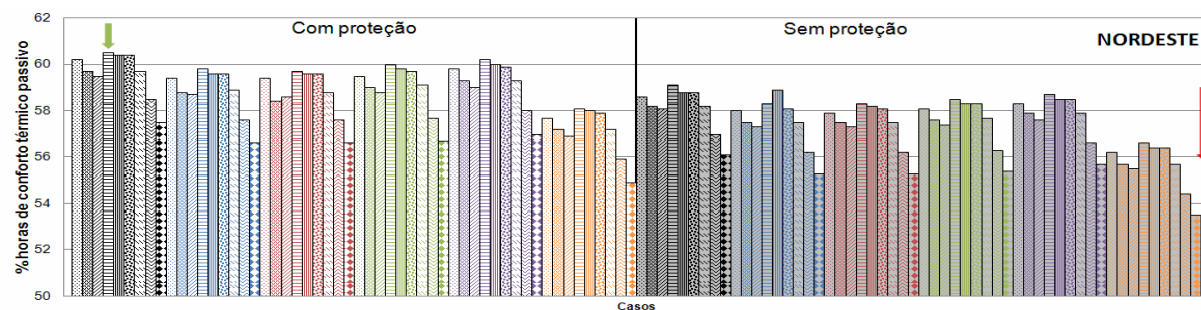


Figura 4 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Nordeste. Elaborado pelos autores.

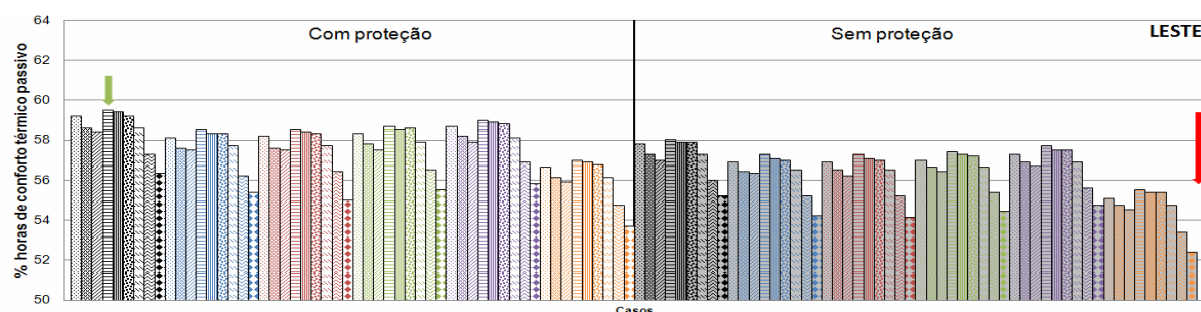


Figura 5 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Leste. Elaborado pelos autores.

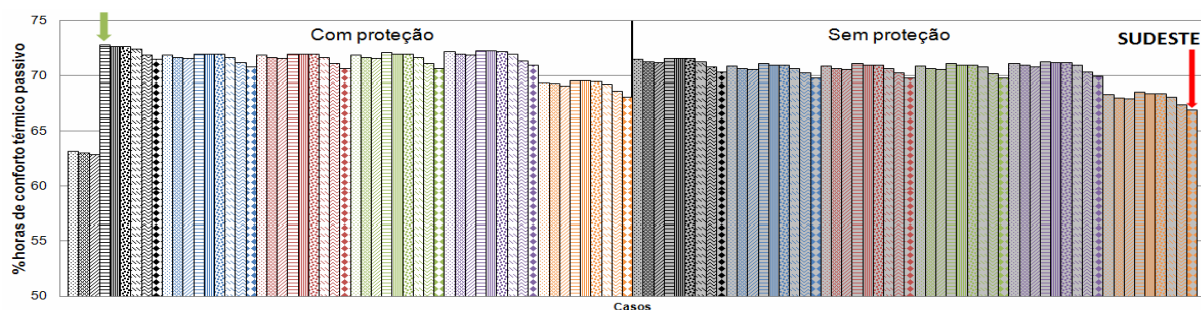


Figura 6 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Sudeste. Elaborado pelos autores.

O desempenho das melhores alternativas de cada orientação varia de 72.8% - C1P4 –

(orientação Sudeste – figura 6) a 58,6% - C1P4 - (orientação Noroeste – figura 10) de horas de conforto térmico passivo durante o ano de simulação. Os desempenhos mais baixos variam de 50,9% - C6P9 – (orientação Noroeste – figura 10) a 62,9% - C1P3 - (orientação Sudeste – figura 6) e estão indicados por setas vermelhas.

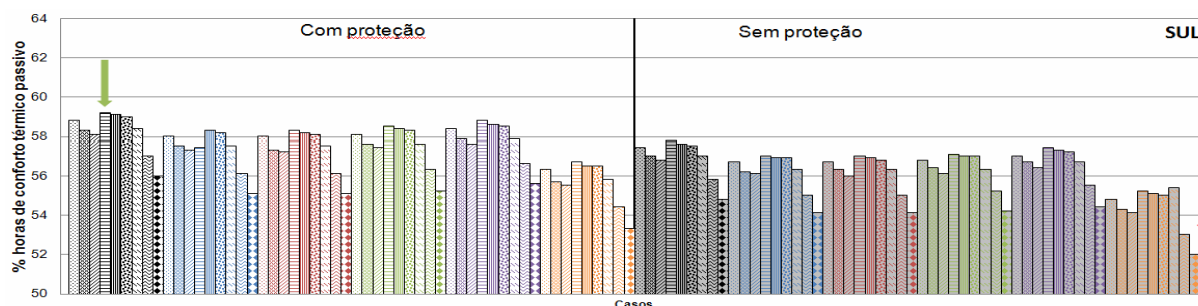


Figura 7 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Sul. Elaborado pelos autores.

O fato do comportamento das orientações Sudeste (figura 6) e Sudoeste (figura 8) se destacar das demais 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, é possível constatar que as maiores velocidades de vento registradas têm direção predominante Sudeste e secundária Sudoeste. Assim, pode-se afirmar que as condições favoráveis de orientação em relação aos ventos contribuíram de forma significativa no desempenho térmico dessas orientações. A importância da ventilação cruzada e sombreamento de aberturas já são apontadas na NBR15.220:2005 Desempenho térmico de edificações como estratégias relevantes para obter condições de conforto térmico em cidades localizadas nesta zona bioclimática (ZB8). Além disso, no caso da orientação Sudoeste (figura 8), a melhor combinação difere da descrita anteriormente em relação à alvenaria que é composto por bloco cerâmico com 9 cm de espessura – P1.

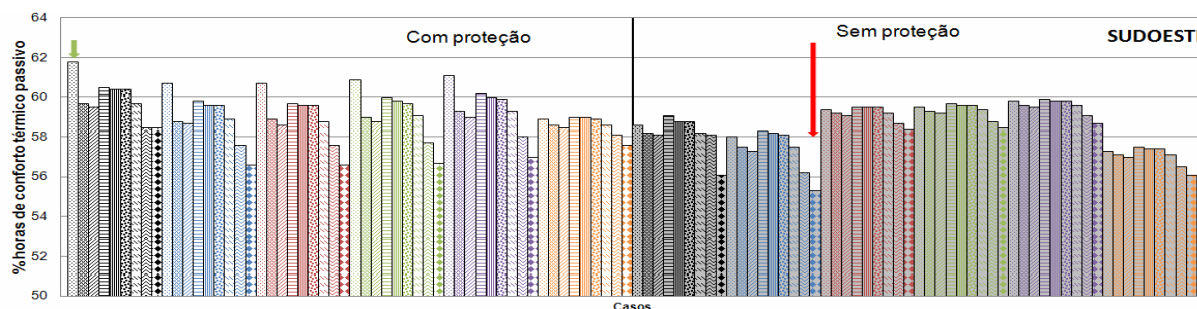


Figura 8 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Sudoeste. Elaborado pelos autores.

A solução C6P9 com 50,9% (orientação Noroeste- figura 10) de horas de conforto térmico passivo é composta por aberturas sem sombreamento, alvenaria com 20 cm de espessura de bloco de concreto celular e sistema de cobertura Ecotelhado. Essa mesma configuração teve os desempenhos mais baixos para as orientações Nordeste (figura 4), Leste (figura 5), Sul (figura 7) e Oeste (figura 9). A alternativa da orientação Norte (figura 3) com pior desempenho apresentou a mesma configuração, exceto pela presença de sombreamento nas aberturas. O desempenho mais baixo da orientação Sudoeste (figura 8) foi observado na combinação C2P9 com aberturas sem sombreamento, alvenaria com 19 cm de espessura de bloco de concreto celular e sistema de cobertura com telha de fibrocimento. Para finalizar tem-se para a orientação Sudeste (figura 6) o pior caso com presença de proteção solar, sistemas de cobertura de laje impermeabilizada com camada de 15 cm de argamassa de

vermiculita e blocos cerâmicos com 19 cm, C1P3.

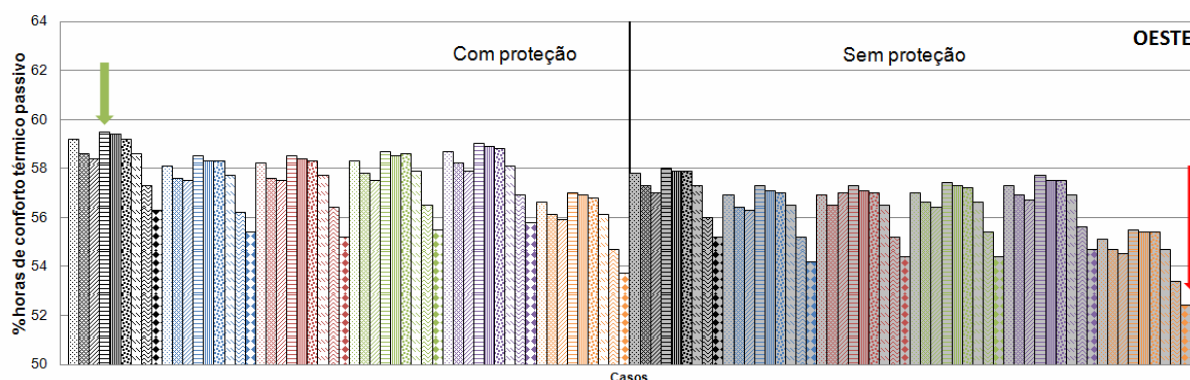


Figura 9 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Oeste. Elaborado pelos autores.

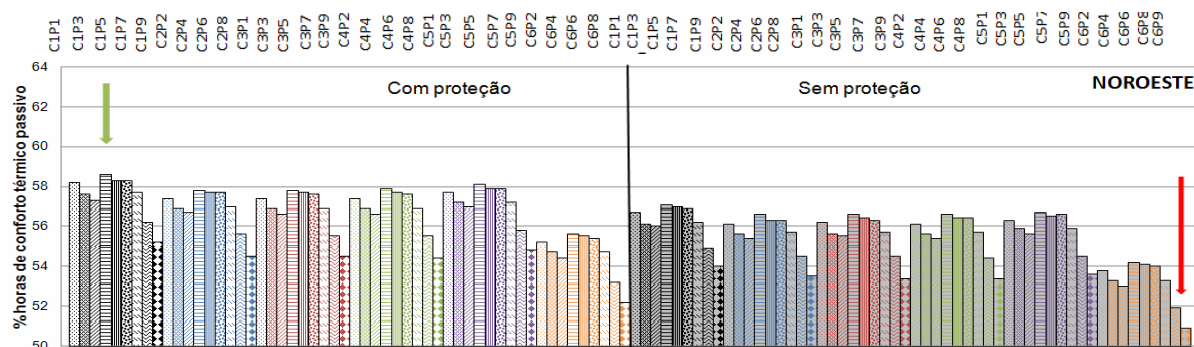


Figura 10 –Gráficos de percentual de horas de conforto térmico passivo - Noroeste. Elaborado pelos autores.

A NBR15.220:2005 recomenda para a zona bioclimática 8 como estratégias para condicionamento térmico passivo, na qual se localiza o Rio de Janeiro, ventilação cruzada permanente, parede leve refletora ($U \leq 3,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) e cobertura leve refletoras ($U \leq 2,30$ multiplicado pelo coeficiente de correção da transmitância FT). Assim, percebe-se que as melhores situações são justamente aquelas que mais se aproximam das recomendações da norma. Especialmente, no que se refere a ventilação natural.

É interessante observar que as soluções como bloco de vedação de concreto celular e o sistema de cobertura modular Ecotelhado, que são comumente anunciados como adequados para melhorar as condições térmicas das edificações, em geral nos casos analisados mostraram os desempenhos menos satisfatórios. Esse fato evidencia que se deve analisar a adequação das soluções para cada tipo de clima e tipologia, evitando especificações equivocadas que, inclusive, podem elevar o custo final das edificações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha do estudo de caso ocorreu em função da relevância da cidade do Rio de Janeiro como consumidor de energia elétrica destinada a condicionamento ambiental. Para se tornar mais representativo optou-se por desenvolver uma tipologia que atendesse à legislação municipal de uso e ocupação do solo e estivesse em consonância com os produtos imobiliários oferecidos pelo mercado local.

Levantar informações sobre o comportamento térmico dos materiais que seriam analisados não foi uma tarefa simples, há dados disponíveis sobre poucos materiais e também há muita incerteza em relação à qualidade desses dados. Esse é um gargalo nacional para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao desempenho termoenergético de edificações. É

urgente superar tal dificuldade e criar uma base de dados confiável e ampla, capaz de permitir avaliar qualquer tipo de material, elemento ou sistema construtivo de uso corrente nas edificações do país. Seria muito importante que a política nacional de eficiência energética por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, se dedicasse a estabelecer essa base de dados ampla e com acesso público gratuito.

A base climática utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida por um organismo estrangeiro a partir de dados de aeroportos nacionais. O recomendado é utilizar dados climáticos de estações meteorológicas localizadas no tecido urbano, pois suas informações são mais representativas para análises de edificações nele inseridas. Porém, esses dados não estão amplamente disponíveis.

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 neste estudo de caso. Possivelmente edificações sem autosombreamento, neste mesmo contexto climático, apresentariam maior sensibilidade à proteção solar.

Por fim, conclui-se que (i) o critério selecionado foi representativo para tratar do desempenho térmico de uma edificação; (ii) o método proposto pode auxiliar nas decisões relativas à desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais do padrão R8-N na cidade do Rio de Janeiro em fases mais iniciais do projeto de edificações. Em trabalhos futuros pode-se desenvolver um banco de dados englobando maior número de materiais e outras tipologias construtivas.

REFERÊNCIAS

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, 2008.

_____. NBR12721 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR15220 - Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). 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.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA: Plano Nacional de Energia 2030. Brasília, 2007.

FROTA, Anésia B; SCHIFFER, Sueli R. Manual de conforto térmico. São Paulo: Nobel. 1999. 228p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades@. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acessado em 17 de dezembro de 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL-INMETRO. Portaria n.º 449: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. 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 Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

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 Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

LOURA, R. M. Desenvolvimento de ferramenta de apoio à tomada de decisão edilícia considerando critérios de desempenho térmico e aquecimento de água. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

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.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. Consumo de energia elétrica. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 05 de novembro de 2009.

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 pela bolsa de estudos concedida para desenvolvimento deste trabalho e à FAPEMIG pelo auxílio a participação neste evento.