XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DE INTERVENÇÕES PARA MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR NATURALMENTE VENTILADA EM BELO HORIZONTE, BRASIL

Janeth Vieira da Silva (1); Margaret Cristina Pinheiro de Matos Gontijo (2); Marília Tanure Caram Pereira (3); Ana Carolina Oliveira Veloso (4); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (5)

(1) Arquiteta, Mestre, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, janethvsilva@gmail.com

(2) Arquiteta, Programa de Pós-Graduação da Engenharia Civil, arquiteta.margaret@gmail.com

(3) Arquiteta, Programa de Pós-Graduação em Gestão do Ambiente Construído e Sustentabilidade, marilia.tanure.caram@gmail.com

(4) Arquiteta, Pós-doutoranda - Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável - UFMG, acoveloso@gmail.com

(5) Arquiteta, Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, UFMG roberta@arq.ufmg.br

Escola de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - Rua Paraíba, 697, sala 124, Bairro Funcionários, CEP 30130-140 – Belo Horizonte - MG. Tel: (31) 34098825

RESUMO

A envoltória de uma edificação atua como mecanismo de controle das variáveis climáticas, devendo ser projetada para proporcionar conforto e eficiência energética. A cobertura deve aliar resistência, durabilidade, estanqueidade e possuir propriedades termofísicas adequadas às condições climáticas externas. Ao mesmo tempo, as aberturas possibilitam a ventilação natural como estratégia para obter conforto térmico. Este trabalho analisou o desempenho térmico do último pavimento de um edifício residencial multifamiliar, em Belo Horizonte. A metodologia envolveu: levantamento de dados; comparação da área de ventilação do ambiente analisado com o preconizado pelo RTQ-R; modelagem 3D da edificação no *SketchUp*, com o *plug-in OpenStudio*; simulações térmicas do modelo no *EnergyPlus* usando o arquivo climático de Belo Horizonte. As simulações consideraram a análise do cenário existente e mais seis simulações envolvendo intervenções por meio de pintura, substituição do telhado e instalação de *brise-soleil* na janela. Os resultados indicaram sensível ganho de conforto térmico, principalmente nos meses mais quentes do ano, enquadrado no percentual de atendimento de 80% de horas de conforto conforme orientação da ANSI/ASHRAE 55-2013.

Palavras-chave: simulação térmica, desempenho térmico, simulação computacional.

ABSTRACT

The envelope of a building acts as a mechanism to control climatic variables, and should be designed to provide comfort and energy efficiency. The roof must ally resistance, durability, water tightness including thermo-physical properties suitable to external climatic conditions. The openings promote natural ventilation as a strategy to obtain thermal comfort. This work analyzed the thermal performance of the top floor of a multifamily building, in the city of Belo Horizonte. The methodology involved: data collection; comparing the ventilation area of the analyzed environment with the one recommended by RTQ-R; 3D modeling of the building in SketchUp, with the Open Studio plug-in; thermal simulations of the model in Energy Plus using the weather file of Belo Horizonte. The simulations considered the analysis of the existing scenario and six more simulations involving interventions through painting, roof replacement and installation of brise-soleil on the window. The results indicated a significant gain in thermal comfort, especially in the hottest months of the year, with 80% comfort hours as per ANSI/ASHRAE 55-2013 guidance.

Keywords: thermal simulation, thermal performance, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A modificação no uso dos solos, a verticalização e o adensamento urbano nos últimos 100 anos causaram um aumento de 2,7 ºC na média anual da temperatura mínima de Belo Horizonte (ASSIS, 2010). Esse aquecimento, associado aos materiais construtivos utilizados e às características climáticas, como os ventos, insolação e umidade, interferiram no conforto térmico dos ambientes. É importante mencionar a questão do aquecimento, pois Natividade, Garcia e Torres (2017) demonstraram que, não somente na capital, mas em todo o Estado de Minas Gerais, até o final do século XXI, haverá redução de dias e noites frias. Dessa forma, análises dos indicadores de extremos climáticos de temperatura sobre Minas Gerais, para o período de 2041 a 2070, apontaram uma tendência no aumento contínuo das temperaturas. Esse fato requer a busca por soluções construtivas que minimizem os impactos do clima nas envoltórias das construções.

A envoltória de um edifício é composta por paredes, aberturas e cobertura. Atua como mecanismo de controle das variáveis climáticas e deve ser projetada para proporcionar conforto e eficiência energética, pois, os ganhos de calor variam de acordo com a diversidade de materiais que constituem uma edificação. Contudo, o desempenho térmico de um edifício, de acordo com o que afirmaram Tondelo e Barth (2017), apresenta respostas diferentes em decorrência da interação entre os materiais construtivos empregados no seu invólucro e das variações climáticas. Desse modo, demonstraram a relevância da adoção de estratégias de sombreamento, o emprego de materiais construtivos para reduzir o ganho térmico e outros mecanismos que contribuam para a uniformização do gradiente de temperaturas internas e externas, tais como as fachadas ventiladas, os telhados sanduíche e as coberturas vegetais. Em relação às estratégias mencionadas, Mazzarotto (2011) ressaltou que as fachadas ventiladas são mais comuns em edificações comerciais, pois integram elementos de isolamento térmico e ventilação natural em fachadas com grandes panos de vidro sem proteção.

Quanto ao telhado sanduíche, esse é composto por duas telhas de chapa de aço galvanizado com um isolante em seu interior poliestireno expandido (EPS) ou poliuretano (PUR). Constitui uma solução que requer menos manutenção devido a durabilidade da telha. Ao passo que a telha de fibrocimento está sujeita ao ataque de patógenos e se torna porosa em alguns meses. Coelho, Gomes e Dornelles (2017) afirmaram que o envelhecimento das telhas de fibrocimento pode alterar o desempenho térmico em decorrência da deterioração característica dos produtos de base cimentícia. Tais materiais sofrem o processo de carbonatação por estarem expostos a concentrações de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, que causa a alteração da absortância solar da telha. Outro processo mencionado pelos autores é a eflorescência, resultante da porosidade do material que permite a passagem de líquidos, pois os sais diluídos migram para o exterior do material cimentício. Por último, ocorre o desenvolvimento de fungos e outros agentes patogênicos que geram manchas escuras nas superfícies. Os patógenos se proliferam rapidamente, nutridos pela poluição oriunda da queima de combustíveis fósseis. E, após três anos, todas as telhas envelhecidas testadas propiciam o aumento nas absortâncias e temperaturas superficiais. Isso aumenta os ganhos de calor solar pelas edificações, alterando o seu desempenho térmico ao longo de sua durabilidade.

Em relação ao uso de vegetação como estratégia bioclimática, Allard (1998) ressaltou que o paisagismo tem uma função importante no controle do movimento do ar ao redor dos edifícios para uma ventilação natural ideal. Nesse caso as principais funções da vegetação são: abrigo do vento: deflexão do vento; afunilamento e aceleração do ar e condicionamento do ar. O tipo e a disposição da vegetação a ser incluída em um projeto para um determinado local devem ser escolhidos com base no padrão de fluxo de ar considerado, além de considerações estéticas e ambientais. Entretanto, quando o assentamento urbano não possibilita essa estratégia, é possível optar por revestir a edificação com vegetação. De modo semelhante, Morelli (2016) salientou que a vegetação empregada como elemento de fachada e de cobertura pode minimizar o ganho de calor e melhorar a condição de conforto térmico nas edificações. No caso da parede verde, são utilizadas trepadeiras escaladoras (plantio de baixo para cima) ou trepadeiras escandentes (plantio do alto do edifício para baixo, comportando-se como pendentes). A vegetação é utilizada para sombrear a fachada e reduzir a temperatura do ambiente interno em épocas quentes e a velocidade do vento frio no inverno. Contudo, o mesmo autor afirmou que a cobertura verde deve ser planejada junto com a edificação, pois requer informação técnica e mão de obra para instalação e manutenção desse sistema.

Nesse mesmo contexto, outra estratégia foi ressaltada por Oliveira, Silva e Cunha (2010): efetuar o isolamento de paredes externas e de coberturas. Pois, os autores analisaram o desempenho térmico destes elementos e perceberam que o aumento do isolamento, tanto das paredes quanto da cobertura, constituiu a melhor opção para melhoria das condições de conforto térmico em clima frio. Inclusive, Fragata, Sens e Sebrão (2015) citaram o uso de materiais que influenciam na absorção e na dissipação de calor tal como a tinta à base de poliuretano. Assim quanto mais clara a cor, menor a absortividade quando as superfícies são expostas à radiação.

E outro sistema que constitui uma estratégia passiva de controle de carga térmica é a ventilação natural. Castro (2006) afirmou que, em alguns momentos, uma iluminação difusa pode ser obtida por meio de vidros translúcidos que servem como barreira visual, sem haver perda de luminosidade natural; essa solução é adequada tanto em dias não tão quentes quanto em dias frios.

As edificações multifamiliares que não dispõem de sistemas de condicionamento artificial, comumente possuem janelas operáveis. Além disso, uma abertura requer atenção devido à carga térmica que atravessa os vidros translúcidos e aumenta o aquecimento interno. Para corroborar essa afirmação, Frota e Schiffer (2001) e Nico-Rodrigues *et al.* (2015) destacaram a importância da renovação dos fluxos de ar, no caso das edificações ventiladas naturalmente, para controlar termicamente o ambiente. Desse modo, a ventilação natural é um meio eficiente de perder calor e reduzir a carga térmica, principalmente nas horas do dia em que as temperaturas externas são menores do que as internas. Contudo, Toledo e Gavazza (2017) ressaltaram que apenas a dimensão das aberturas de um edifício não garante o melhor desempenho de ventilação porque isso dependerá do potencial de vento local e da eficiência do sistema de aberturas do edifício. Nesse caso, o sistema de ventilação cruzada favorece a circulação do ar através de janelas opostas ou adjacentes.

Nessa perspectiva, um aspecto a considerar é a rotina dos ocupantes que também interfere no controle de temperaturas internas. Gonçalves *et al.* (2018) mostraram que em um edifício de alta densidade residencial, sem ventilação cruzada, a falta de eficácia da ventilação natural está associada ao excesso de ganhos solares, mesmo em clima ameno como o de São Paulo. Mesmo com a rotina de abertura das janelas, houve aumento das temperaturas internas nas unidades cuja fachada era desprovida de dispositivo de sombreamento. Isso resultou em insatisfação nos residentes durante os períodos quentes.

Algumas estratégias de controle de variações climáticas podem ser estudadas por meio de ferramentas de simulação computacional. Como o exemplo de Wang e Wong (2005) que elaboraram um estudo por meio de simulações computacionais em TAS (*Thermal Analysis Simulation*) e concluíram que a ventilação de dia inteiro correspondeu à melhor das estratégias para conforto térmico interno. Esclarecendo, TAS é um conjunto de *softwares* que simulam o desempenho térmico dinâmico de edifícios e seus sistemas. O *TAS Building Designer* é o principal módulo desse *software*, pois realiza simulação dinâmica de construção, rastreando o estado térmico do edifício por meio de uma série de instantâneos de hora em hora, com simulação disposta em zona integrada do fluxo de ar natural e forçado. Outra ferramenta computacional utilizada para simulação dinâmica é o *EnergyPlus* que serve para fazer simulação de carga térmica e análise energética de edifícios e seus sistemas. O software, distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2010), possibilita avaliar consumos médio, mensal ou anual de uma edificação e analisar o potencial nível de redução da energia e seu uso racional.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em analisar o desempenho térmico de um dormitório naturalmente ventilado do último pavimento de um edifício residencial multifamiliar construído na década de 1970, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. O estudo visou encontrar soluções para melhorar as condições de conforto térmico na referida edificação, evitando o uso de mecanismos de condicionamento artificial.

3. MÉTODO

O método empregado neste trabalho foi constituído de cinco etapas principais:

1. Levantamento de dados da edificação;
2. Comparação da área de ventilação do ambiente analisado com o preconizado pelo RTQ-R;
3. Modelagem 3D da edificação no *SketchUp*, com o *plug-in OpenStudio*;
4. Simulações térmicas do modelo computacional no *EnergyPlus* versão 8.8 usando o arquivo climático de Belo Horizonte SWERA;
5. Tratamento de dados.

3.1. Caracterização da edificação estudo de caso e do entorno

O edifício estudado, situado na região Oeste de Belo Horizonte, foi construído entre os anos de 1976 e 1978, de acordo com informações dos condôminos. Belo Horizonte se encontra inserido na Zona Bioclimática 3 (ZB 3), conforme especificado na NBR 15220-3 (ABNT, 2003).

A edificação estudada tem morfologia retangular, composta por um andar térreo (garagem/pilotis) e mais três andares de pavimentos tipo com duas unidades habitacionais. A fachada frontal se diferencia pela varanda de cada unidade com final 01 e a fachada de fundos não possui aberturas, constituindo uma parede

cega em cada unidade com final02.

O apartamento 302 (representado na Figura 1a como Unidade 2), objeto deste estudo, tem a maior parte das janelas orientada para o nordeste: sala, copa e dois quartos, favorecidos pela ventilação cruzada. Os demais cômodos estão orientados para noroeste, entre os quais o quarto de casal que é considerado o ambiente mais quente e desconfortável pelos usuários, principalmente no verão. As paredes externas possuem espessura de 25 cm, revestidas com argamassa e pintura cor clara. As paredes internas possuem espessura de 14 cm com o mesmo acabamento. As esquadrias internas são compostas por portas de madeira tipo prancheta pivotante vertical; as externas, metálicas em perfil de ferro laminado “L” e “T”, com duas folhas de correr, com bandeiras fixas em formato de arco, sem nenhum dispositivo para trocas de ar quando fechadas. As janelas têm vidros com 4 mm de espessura, translúcidos coloridos nas bandeiras fixas e incolores no restante da esquadria; a textura dos vidros impressos é o padrão mosaico que serve de barreira visual. Em relação à cobertura, o material existente é a telha de fibrocimento ondulada, oculta por platibandas com altura aproximada de 1,30 metros.

A Figura 1 apresenta uma planta de situação para demonstrar que a maior concentração de edificações vizinhas altas está localizada a nordeste, a sudeste e a sudoeste do edifício. As edificações situadas a noroeste correspondem a habitações horizontais situadas abaixo do nível do último piso do edifício. A Figura 2 apresenta a planta do terceiro pavimento da edificação, evidenciando a localização do quarto de casal na unidade 2 que foi o alvo de estudo deste artigo.

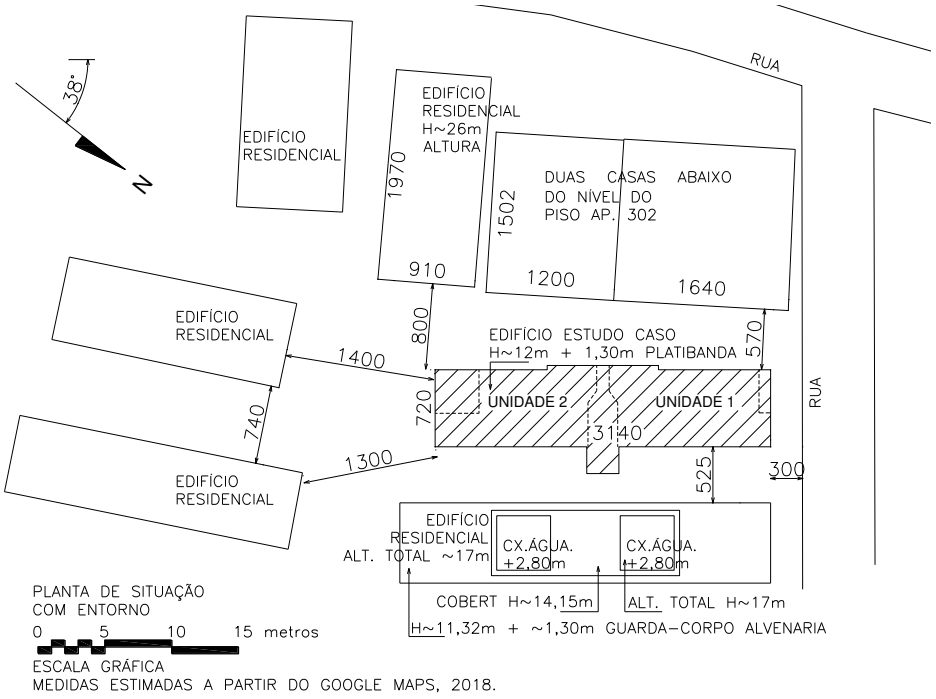


Figura 1a - desenho em AutoCAD 2D, indicando a planta de situação.

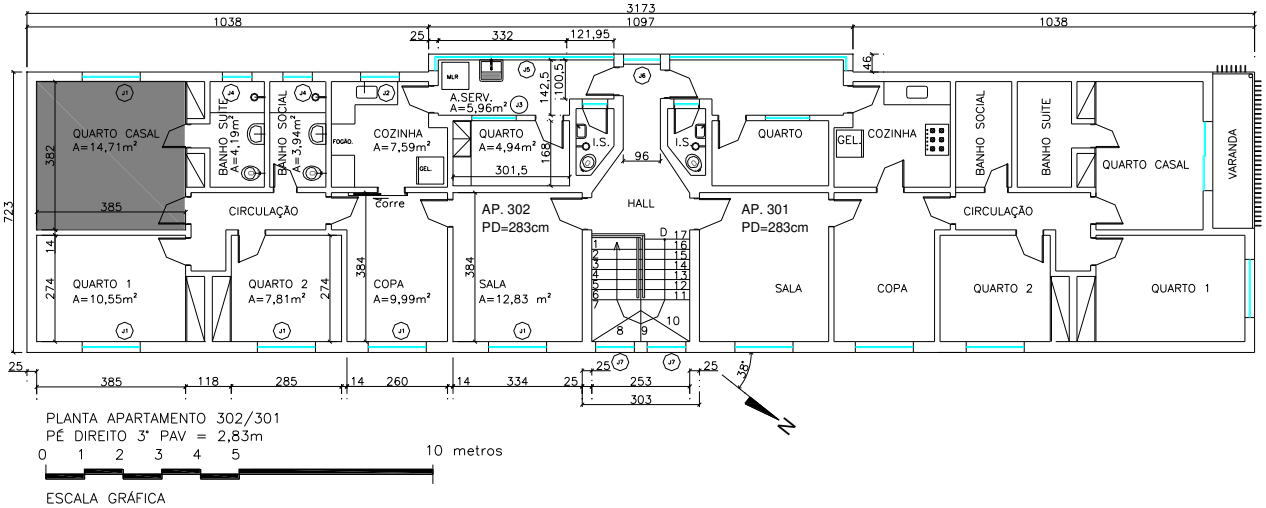


Figura 2 - desenho em AutoCAD 2D, indicando o quarto de casal analisado, fundos do lote (planta unidade 2).

Uma vez que o quarto de casal foi apontado pelo ocupante do apartamento como o ambiente mais desconfortável, as análises foram concentradas nesse ambiente. Em relação ao desconforto mencionado, apesar de haver a ventilação natural, as informações obtidas *in loco* indicaram que o apartamento se mantém fresco no período matinal até às 6h30min, aproximadamente, mesmo estando na orientação nascente. Depois desse horário os raios solares atingem os ambientes internos e ocorre rápida troca térmica com o exterior. Simultaneamente, o quarto orientado para o lado poente recebe a influência do reflexo da luz solar na fachada do edifício vizinho. Já no período vespertino, todo o pavimento se aquece devido à radiação oriunda das fachadas claras nas edificações do entorno, do reflexo direto das superfícies envidraçadas e do aquecimento no telhado. Ressalta-se que uma das torres de caixa d'água da edificação vizinha lateral (nordeste) gera breve sombreamento no período matinal entre 8h00min e 9h30min. Mesmo assim, tempo insuficiente para aliviar o ganho térmico no apartamento estudado. O plano da cobertura, de água única, inclinado para o lado nordeste, recebe bastante luz, uma vez que as edificações vizinhas não criam o efeito de sombreamento. Assim esses edifícios vizinhos não foram representados na elaboração do modelo de referência no *Energy Plus*. Ressalta-se ainda que a parede da fachada de fundos, orientada para sudeste, recebe parte da incidência solar no período da manhã até aproximadamente o horário das 11h30min.

As características dos materiais utilizados na simulação computacional foram extraídas da Portaria INMETRO Nº 50, Anexo V (INMETRO, 2017b), da NBR 15220-2 (ABNT, 2003) e de modelos equivalentes de avaliação de propriedades térmicas desenvolvidos por Weber *et al.* (2017) para a calibração dos cenários no *EnergyPlus*, tais como: transmitância térmica, capacidade térmica, absortância para radiação solar, emissividade para radiação a temperatura comum, apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 1 – Propriedades térmicas das paredes, coberturas e vidros

Material	**Transmitância térmica [W/(m².K)]**	**Capacidade térmica [kJ/(m².K)]**	**Fonte**
Laje maciça (10,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha fibrocimento	2,06	233	INMETRO, 2017b, Portaria N°. 50, Anexo V
Laje pré-moldada 12cm Concreto (4cm) Lajota cerâmica (7cm) Argamassa (1cm) Câmara de ar (>5,0cm) Telha fibrocimento 0,8cm	1,79	180	INMETRO, 2017b, Portaria N°. 50, Anexo V
Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (14x19x29cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)	1,85	161	INMETRO, 2017b, Portaria N°. 50, Anexo V; WEBER *et al*., 2017
Argamassa interna (2,5cm) Bloco concreto 2 furos (14x19x39cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)	2,69	272	INMETRO, 2017b, Portaria N°. 50, Anexo V; WEBER *et al*., 2017
Laje pré-moldada 12cm Concreto (4cm) EPS (7cm) Argamassa (1cm) Câmara de ar (>5,0cm) Telha metálica (0,1cm) Poliuretano (4cm) Telha metálica (0,1cm)	0,53	176	INMETRO, 2017b, Portaria N°. 50, Anexo V
OBS.: Espuma rígida de poliuretano	Condutividade térmica de 0,030 W/(m.K); calor específico de 1,67 kJ/(kg.K)		ABNT NBR 15220-2:2003

Tabela 2 – Absortância para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	**Absortância para radiação solar (α)**	**Emissividade (e)**	**Fonte**
Pintura acrílica fosca cor palha	0,30	0,90	DORNELLES, 2008; ABNT NBR 15220-2:2003
Vidro impresso incolor	0,06 / 0,25	0,84	INMETRO, 2017b, Portaria N°. 50, Anexo V

3.2. Análise da área de ventilação preconizada pelo RTQ-R

Foi verificada a conformidade do vão mínimo de abertura da janela com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) do INMETRO

(2014).

A janela existente é dividida em quatro folhas (duas laterais fixas e duas centrais deslizantes) com uma bandeira fixa, composta por perfis de aço carbono e vidros. Descontadas as áreas de perfis e vidros, o vão efetivo de ventilação corresponde a 0,924m^2.

O RTQ-R indica que o percentual de abertura para ventilação em relação à área do piso (A) deve atender aos requisitos mínimos, variando conforme a Zona Bioclimática. De acordo com o referido documento, os ambientes de permanência prolongada que estejam situados em ZB 3 devem se enquadrar no valor de $A \geq 8\%$, expresso pela Equação 1 (INMETRO, 2014).

$$A = 100 \cdot (A_v \div AU_{amb}) \qquad \text{Equação 7}$$

Onde:
A: percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente [%];
A_v: área de abertura para ventilação [m^2];
AU_{amb}: área útil do ambiente [m^2].

3.3. Modelagem e procedimentos de simulação

O modelo foi desenvolvido no *SketchUp*, *software* próprio para criar modelos tridimensionais, em forma de blocos e superfícies, identificando os diversos componentes da edificação: pisos, paredes, portas, janelas e cobertura. E por meio do *plug-in OpenStudio* foi possível realizar as simulações no *EnergyPlus version 8.8*. Foram inseridas as informações do arquivo climático da cidade de Belo Horizonte obtidas na base de dados *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) (DOE, 2012), nas coordenadas geográficas Latitude 19.93º Sul e Longitude 43.93º Oeste, Altitude 850 m; e dados de temperaturas externas, radiação solar e nebulosidade de dias típicos de verão disponibilizados pela Norma Brasileira NBR 15575-1 (ABNT, 2013), relacionados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de dias típicos de verão para a cidade de Belo Horizonte

Temperatura máxima diária [°C]	**Amplitude diária de temperatura [°C]**	**Temperatura de bulbo úmido [ºC]**	**Radiação solar [Wh/m^2]**	**Nebulosidade décimos**	**Fonte**
32	10,3	21,7	4641	6	ABNT NBR 15575-1:2013, Anexo A, Tabela A2

O modelo desenvolvido é apresentado na Figura 3, sendo a janela do quarto orientada para noroeste.

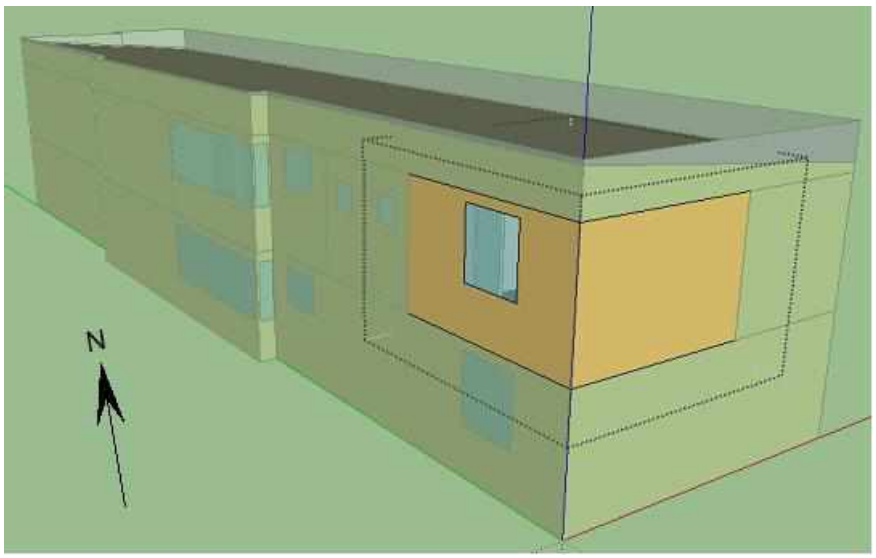


Figura 3 – Localização do quarto de casal na unidade 2, fundos do edifício, em modelo 3D do SketchUp, indicando a zona térmica.

3.4. Simulações

Foram criados sete cenários diferentes para análise do conforto térmico do ambiente: (1) cenário existente; (2) pintura do telhado de fibrocimento em cor branca; (3) troca do telhado existente por telha do tipo sanduíche; (4) telhado de fibrocimento branco (cenário 2) e instalação de *brise-soleil* na janela do quarto de casal; (5) telha sanduíche (cenário 3) e instalação de *brise-soleil* na janela do quarto; (6) troca da janela para

atender ao vão mínimo do RTQ-R; (7) troca da janela (cenário 6) associada a telha sanduíche e instalação de *brise-soleil*(cenário 5). O *brise* utilizado na simulação foi o horizontal filetado, com angulo de 27° entre as aletas.

3.5. Tratamento de dados

Por meio desses passos metodológicos, procurou-se verificar quais as mudanças propostas contribuiriam para a melhoria do conforto térmico no quarto. Para medir os resultados, foram utilizados como referência os requisitos da norma ASHRAE 55 (ANSI/ASHRAE, 2013) para espaços naturalmente ventilados e não condicionados. A ASHRAE 55 (ANSI/ASHRAE, 2013) recomenda que a temperatura média externa predominante seja maior que 10 °C e menor que 33,5 °C. Além disso, as variações de temperatura não podem ultrapassar 2,2 °C durante o período de 1,0 hora e também não podem variar mais do que 1,1 °C em um intervalo de 15 minutos.Nos espaços internos, as recomendações se aplicam: aos ocupantes representativos com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met, que não estejam não sob luz solar direta;quando a velocidade média do ar é <0,2 m/s; onde a diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura média do ar seja<4 ° C (7 ° F); aos ocupantes representativos com liberdade para adaptar suas roupas às condições térmicas internas e/ou externas em um intervalo de pelo menos 0,5 a 1,0 clo.

Foi adotado como indicador o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC), o qual utiliza como faixa de conforto as temperaturas entre 18°C e 26°C estabelecido pelo INMETRO (2014, 2017a) e conforme a ASHRAE 55 (ANSI/ASHRAE, 2013).

Convém esclarecer que o POC corresponde à razão entre a quantidade das horas ocupadas com comprovação de conforto e total de horas ocupadas. Apesar de este ser um índice recomendado pelo RTQ-C (INMETRO, 2017a), para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas foi usado para uma edificação residencial, pois acredita-se que seja um índice de mais fácil apreensão por moradores e tomadores de decisão que o índice de graus-hora usado pelo RTQ-R (INMETRO, 2014).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As unidades habitacionais devem ter aberturas que atendam a um percentual de áreas mínimas para ventilação (INMETRO, 2014). A conformidade do vão desobstruído para ventilação segundo o RTQ-R (INMETRO, 2014) foi verificada. A área de piso do quarto simulado corresponde a 14,71 m^2. Ao efetuar o cálculo conforme a Equação 1, verificou-se que o percentual de abertura para ventilação corresponde a 6,28%. Ou seja, valor menor do que o preconizado pelo RTQ-R.

A partir das contextualizações introdutórias, foram selecionadas as estratégias para redução de ganho térmico que melhor se enquadrassem ao tipo de edificação estudada: residencial multifamiliar com mais de 40 anos. Ao investigar uma solução para o problema de desconforto térmico no último pavimento da unidade habitacional, buscou-se identificar uma intervenção que proporcionasse o aumento das horas de conforto, considerando um material de baixa absortância térmica e alta reflexão para diminuir os ganhos de calor durante o dia e obter conforto térmico no quarto.

Em decorrência dos estudos realizados sobre o comportamento térmico da telha de fibrocimento, foi verificado o quanto a alteração do tipo de cobertura da edificação influenciaria no conforto térmico do quarto do último pavimento, com objetivo de obter pelo menos 80% em Percentual das Horas Ocupadas em Conforto (POC). Neste estudo as análises consideraram testes durante as 24 horas.

A partir das simulações, o *Energy Plus* gerou os dados de temperatura externa e interna para cada hora de todo o ano típico de Belo Horizonte. Com essas informações foi possível encontrar a temperatura média diária e mensal antes da troca da cobertura (ou seja, com a telha de fibrocimento) e depois da troca da cobertura, com a telha de poliuretano e as demais opções de materiais utilizados nas simulações, conforme mencionado anteriormente.

Os resultados das simulações foram resumidos na Tabela 4. Estes indicaram um percentual de 61% de horas de conforto anual, na situação original (Cenário 1). Após a pintura da telha em cor branca (Cenário 2), o percentual anual aumentou para 71%. Considerando a associação da telha branca e instalação de *brise-soleil* (Cenário 4) na janela do quarto, o resultado correspondeu a 72% (apenas um ponto percentual de acréscimo). Entretanto, a simulação com a telha sanduíche de poliuretano (Cenário 3) demonstrou ser possível atingir 81% de horas de conforto anuais, indicando a conformidade com a ASHRAE 55 (ANSI/ASHRAE, 2013).

Foi cogitada a substituição das antigas janelas por esquadrias de alumínio, visando aumento da área de ventilação. Isso foi testado na simulação, entretanto o ganho não justificou a troca das esquadrias. Ao

analisar o percentual de horas de conforto obtido com os cenários simulados, verificou-se que a instalação do *brise-soleil* interferiu pouco nos resultados quando comparado aos valores obtidos para a telha sanduíche. Desse modo, uma intervenção para instalar esse dispositivo de sombreamento na janela representaria altos custos de reforma por parte dos condôminos, o que não se justificaria.

Tabela 4 - Resultados das simulações

Simulação	**Cenário**	**Percentual das horas de conforto obtidas (%)**
1	Cenário Existente	61
2	Telhado Branco	71
3	Telhado Sanduíche	81
4	Telhado Branco + *Brise-soleil*	72
5	Telhado Sanduíche + *Brise-soleil*	81
6	Trocar Janelas	67
7	Trocar Janelas + Telhado sanduíche + *Brise-soleil*	74

No caso do cenário 7, a solução foi considerada menos eficaz ao ser comparada com o cenário 5pois inclui a troca de janelas que representam custos de reforma. E comparando o cenário 5 com o cenário 3, apenas a troca da telha já aumenta o percentual de horas de conforto sem investimento desnecessário em *brise-soleil*. Assim, o cenário 3 constitui a solução mais indicada por envolver menor gasto em obras.

Foi investigado se a temperatura sofre influência da ventilação natural. Pois, conforme mencionou Givoni (1994), "a temperatura interna acompanha a externa quando, durante o dia, há ventilação cruzada em um edifício" (tradução própria). Desse modo, foi verificada a conformidade da janela em relação aos requisitos do RTQ-R do INMETRO (2014). Isso porque, em edificações naturalmente ventiladas, o usuário tem a opção da ventilação controlável, o que possibilita a regulagem do fluxo de ar quando esse se torna inconveniente ou por motivo de proteção contra chuva ou por questões de segurança – em casos de residências situadas em nível térreo. Entretanto, a simulação para a telha sanduíche demonstrou que, mesmo que o vão de ventilação livre seja inferior ao ideal, é possível obter os 80% de horas de conforto térmico pretendidas.

5. CONCLUSÕES

A partir desses estudos foi possível perceber que mesmo em localidades de condições climáticas diferentes, os modelos de janelas, as estratégias de ventilação e o desempenho da envoltória influenciam diretamente no conforto térmico de ambientes.

Este trabalho ressaltou que o material de cobertura da edificação naturalmente ventilada interfere diretamente no conforto térmico de um ambiente interno em Belo Horizonte. Além disso, a simulação computacional demonstrou que uma intervenção construtiva mais simples, como a substituição da telha de fibrocimento por telha sanduíche de poliuretano, pode representar ganhos em termos de conforto térmico, sem a necessidade de grandes investimentos. Foi possível identificar que a estratégia de sombreamento com *brise-soleil* instalado na janela do quarto estudado, associada à substituição da janela de aço carbono por esquadria de alumínio para aumento do vão de ventilação não reduziriam de forma significativa os ganhos térmicos no ambiente. Dessa forma, verificou-se que a simulação térmica dos ambientes constitui-se como uma ferramenta importante em um Sistema de Suporte a Decisão diante de diferentes variáveis.

O último pavimento da edificação não foi favorecido pelo sombreamento de edificações vizinhas. Além da radiação direta, o prédio recebeu a reflexão do entorno construído. Entretanto não foi possível analisar a contribuição dessa variável no ambiente estudado porque o software *EnergyPlus* não inclui esse tipo de entrada de dados na simulação. Portanto, é possível perceber oportunidades para estudos futuros e melhorias no software para possibilitar novas simulações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, F. **Natural ventilation in buildings**: A design handbook. London: James & James, 1998. 356 p.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2013**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. 2010. 299 f. Tese

(Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [NBR 15220-2] **Projeto 02: 135.07-001/2**: 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, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [NBR 15220-3] **Projeto 02: 135.07-001/3**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil**: estudo em células-teste. 2006. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

COELHO, T. C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. Desempenho térmico e absortância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 147-161, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

DOE - United States Department of Energy. **EnergyPlus Manual**: Getting Started and Overview. 2010. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/. Acesso em: 24 jun. 2018.

DOE - United States Department of Energy. **Belo Horizonte-Pampulha 835830 (SWERA).** *In*: EnergyPlus.net. Weather Data Download. [Washington]: DOE, 2012. Arquivo climático EPW. Disponível em: https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_Belo.Horizonte-Pampulha.835830_SWERA. Acesso em: 3 jul. 2018.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas Látex Acrílica e PVA. Orientador: Prof. Dr. Maurício Roriz. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FRAGATA, F.; SENS, M.; SEBRAO, M. Influência da cor de tintas de poliuretano na absorção e na dissipação de calor. **Corrosão e Protecção de Materiais**, Lisboa, v. 34, n. 2,p. 53-59, dez. 2015. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642015000200003&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 8 jul. 2019.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Climatização Natural das Edificações. *In*: FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. cap. 5.

GIVONI, B. Overview: The various passive cooling systems and their applicability to different climates and building types. In: GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994. cap. 1.

GONÇALVES, J. C. S.; DOLCE, M.; MULFARTH, R.; LIMA, E. G.; FERREIRA, A.; MICHALSKI, R. N. The Thermal Environment in the High-Density Tall Building from the Brazilian Bioclimatic Modernism: Living in the COPAN building. *In*: International Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA 2018 HONG KONG, 34., 2018, Hong Kong. **Proceedings** [...]. Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong, 2018, v.2, p.548-553. Disponível em: http://www.plea2018.org/. Acesso em: 3 mar. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL–INMETRO. **Manual RTQ-R 4.2:** Residencial: Manual para aplicação do RTQ-R, versão 1, 2014. (com base na Portaria INMETRO Nº 18/2012). Rio de Janeiro: INMETRO/ELETROBRAS/PROCEL EDIFICA/CB3E, 2014, 202 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL–INMETRO. **Manual RTQ-C 4.1**: Manual para aplicação do RTQ-C, de Serviços e Públicos, versão 4, abr. 2017a. (com base na Portaria INMETRO Nº 372/2010 e complementares Portarias INMETRO Nº 17/2012, Nº 299/2013 e Nº 126/2014). Rio de Janeiro: INMETRO/ELETROBRAS/PROCEL EDIFICA/CB3E, 2017, 212 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL–INMETRO. **Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. (**Anexo da Portaria: nº 50/2013. Atualizado em 27 nov. 2017). Rio de Janeiro: INMETRO/ELETROBRAS, 2017b.

MAZZAROTTO, A. C. E. K. **Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios em Curitiba**: verificação computacional de desempenho comparativo com soluções convencionais. Orientador: Aloísio Leoni Schmid. 2011. 263 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MORELLI, D. D. O. **Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática**. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade estadual de Campinas, Campinas, 2016.

NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 600-614, 2017.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E.; SANTO, A.D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015. ISSN 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

OLIVEIRA, L. S.; SILVA, A. C. S. B.; CUNHA, E. G. **Análise das condições de conforto térmico em habitações de interesse social na região sul do RS**. São Paulo: Editora da USP, 2010.

TOLEDO, A.; GAVAZZA, L. Contribuição da consultoria ambiental na fase de projeto: aperfeiçoamento do sistema de aberturas para ventilação natural pela ação do vento em apartamentos. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DECONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2017, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Balneário Camboriú: ANTAC, 2017. p. 848-857.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise térmica simplificada da envoltória segundo as normas NBR15220 e NBR15575 - Estudo de Caso. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2017, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Balneário Camboriú: ANTAC, 2017. p. 828-837.

WANG, L.; WONG, N. H. The Impacts of Facade and Ventilation Strategies on Indoor Thermal Environment for a Naturally Ventilated Residential Building in Singapore. *In*: INDOOR AIR 2005 CONFERENCE, 10., 2005, Beijing, China:

International Society of Indoor Air Quality and Climate – ISIAQ –. **Proceedings** [...]. Beijing, 2005. Disponível em: https://www.isiaq.org/docs/PDFs/1320.pdf. Acesso em: 2 jun. 2018.

WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa *EnergyPlus***. Florianópolis, ago. 2017.