

DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR NATURALMENTE VENTILADA PARA O CLIMA DE TEÓFILO OTONI-MG

Thermal Performance in Naturally Ventilated Unifamiliar Building for Teófilo Otoni – MG Climate

Camila Cordeiro de Oliveira¹, Nayara Rodrigues Marques Sakiyama², Layane Ventura de Miranda³

Recebido em 24 de agosto de 2016; recebido para revisão em 22 de novembro de 2016; aceito em 24 de março de 2017; disponível on-line em 15 de abril de 2017.



PALAVRAS CHAVE:

Simulação computacional;
Desempenho térmico;
Conforto ambiental;
Eficiência energética;
Ventilação natural.

KEYWORDS:

Computer simulation;
Thermal performance;
Environmental comfort;
Energy efficiency;
Natural ventilation.

RESUMO: Nos últimos anos, em virtude das preocupações com a eficiência energética das edificações, a adequação da arquitetura ao clima ganhou maior importância. Sendo que, uma das formas de tornar uma construção eficiente energeticamente, é através da utilização de estratégias de condicionamento passivo, destacando-se a ventilação natural para o clima quente e úmido. Neste contexto, o presente trabalho apresenta a simulação computacional de uma edificação unifamiliar, naturalmente ventilada, realizada por meio do plug-in *Archsim*, para a cidade de Teófilo Otoni – MG, utilizando-se, para tanto, os dados climáticos do TRY (*Test Reference Year*). As alternativas adotadas nas simulações consistiram em variar a disposição e a área de ventilação das aberturas, verificando a influência destes parâmetros no desempenho térmico da edificação. De acordo com os resultados obtidos na simulação pode-se dizer que a melhor orientação para as aberturas é na direção leste-sul com área de abertura para ventilação natural de 20% da área do piso. Para esta composição a porcentagem de horas de conforto para a edificação é de 57,5% e o desconforto térmico anual é de 42,5% das horas. A principal contribuição deste artigo consiste na análise da utilização da ventilação natural em edificações de pequeno porte e seu impacto no conforto térmico do usuário, apresentando ainda a importância da utilização de simulações computacionais como ferramenta de auxílio no projeto arquitetônico.

ABSTRACT: Concerns related to energy efficiency in buildings in recent years, induced the increase of architectural adaptation to climate. The use of passive conditioning strategies, emphasizing natural ventilation for hot and humid climate is one way to have an energy-efficient construction. In this context, this paper presents a computer simulation of a single family building, naturally ventilated, held by the plug-in *Archsim* to the city of Teófilo Otoni - MG, using the climate data TRY (Test Reference Year). The alternative adopted in the simulations consisted in varying the layout and area of ventilation openings, checking the influence of these parameters on the thermal performance of the building. According to the results obtained in the simulation, the best orientation for the openings is in the south-east direction with opening area for natural ventilation of 20% of the floor area. For this composition the building comfort hours' percentage is 57.5% and the annual thermal discomfort is 42.5% of the hours. The main contribution of this paper is the analysis of the use of natural ventilation in small buildings and its impact on the thermal comfort of the user, showing the importance of using computer simulations as an aid tool in architectural design.

* Contato com os autores:

¹e-mail: camilinha.tur@hotmail.com (C. C. Oliveira)

Engenheira Civil, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.

²e-mail: nayara.sakiyama@ufvjm.edu.br (N. R. M. Sakiyama)

Mestre em Engenharia Civil, Professora da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.

³e-mail: layanevdm@hotmail.com (L. V. Miranda)

Engenheira Civil, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM.

1. INTRODUÇÃO

O ser humano, desde os primórdios, sempre procurou por conforto, nunca satisfeito desenvolvia técnicas cada vez mais eficientes, melhorando suas condições de vida e saúde. Deste modo, ele conseguiu se adaptar a diferentes condições climáticas, utilizando de recursos como as vestimentas, a arquitetura e a tecnologia, garantindo sua satisfação com o ambiente térmico que o rodeava (LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA, 2014).

Entretanto, com o avanço tecnológico e a consequente criação de equipamentos cada vez mais eficientes, projetistas passaram a utilizar nas edificações, formas de condicionamento artificiais, por meio de aparelhos mecânicos e elétricos, para aquecer, iluminar e ventilar os ambientes. Ignorando as características climáticas de cada região e deixando de se preocupar também com a eficiência energética nas edificações (VETTORAZZI; RUSSI e SANTOS, 2010).

Após a crise do petróleo, durante os anos 70 surgiram as primeiras normas de eficiência energética em edificações (SORGATO, 2009). A adequação da arquitetura ao clima ganhou maior importância, e a preocupação com a eficiência energética das construções tornou-se quesito essencial no planejamento e desenvolvimento de projetos (PITTA, 2001). Foram estabelecidos assim, critérios que proporcionam uma identificação maior com o local de construção da edificação, tomando como foco o bem-estar do indivíduo (GOULART, 1993).

Sendo assim, a eficiência energética pode ser avaliada como uma característica inerente às edificações, que devem apresentar conforto térmico, visual e acústico, com baixo consumo de energia, ou seja, a eficiência energética é determinada pela capacidade de um edifício gerar as mesmas condições ambientais que outro, porém com um menor consumo energético (BASSO; NOGUEIRA e SILVA, 2015).

Uma das formas de tornar uma construção eficiente energeticamente, seria através da utilização de componentes passivos de

condicionamento. Um projeto elaborado com estes componentes modifica-se de acordo com o clima de cada região. Contudo, são utilizados como quesitos básicos, em geral: a forma da edificação, a disposição das aberturas e o desempenho térmico dos materiais (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Entre os recursos bioclimáticos utilizados, destaca-se a ventilação natural para os países em desenvolvimento que possuem clima quente e úmido, como é o caso do Brasil. Porém, apesar do grande potencial deste recurso, ainda existe receio por parte dos arquitetos em adotá-lo, devido, principalmente, à falta de garantias de que ele consiga gerar o conforto térmico desejado se comparado aos sistemas artificiais (TRINDADE; PEDRINI e DUARTE, 2010).

A utilização de softwares de simulação é uma das alternativas de auxílio ao projeto, e vem se consolidando na determinação de desempenho térmico e energético das edificações (TRINDADE; PEDRINI e DUARTE, 2010). Ao contrário do teste in loco, ela pode ser feita de maneira mais rápida, com menores custos e testada para diferentes estados de clima de diferentes épocas do ano. Auxiliando, na escolha do sistema de condicionamento, dos materiais mais adequados, na análise de gastos energéticos, dentre outros (CARLO, 2002).

O estudo do clima de uma região e a utilização de simulações computacionais permite identificar os períodos de maior possibilidade de desconforto térmico e, conseqüentemente, definir estratégias que devem estar presentes no processo de projeto de edificações (OLIVEIRA e LEDER, 2013).

Sendo assim, o estudo aqui realizado se justifica devido à crescente preocupação com a eficiência energética e busca por conforto térmico das edificações, através da utilização de estratégias passivas, aproveitando as condições climáticas do local e, deste modo, minimizando o consumo energético da edificação.

2. OBJETIVO

O presente artigo apresenta um estudo de simulação computacional de uma edificação unifamiliar, realizada por meio do *plug-in Archsim*,

para a cidade de Teófilo Otoni – MG, utilizando-se, para tanto, os dados climáticos do *Test Reference Year* (TRY). O objetivo principal é avaliar a influência da orientação e das dimensões das aberturas no desempenho térmico da edificação. Visando, ainda, analisar as condições de conforto para o modelo que apresentar o melhor desempenho térmico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os programas de simulação termo-energética são utilizados para prever o desempenho e conforto térmico e de uma edificação, através do cálculo das interações complexas existentes entre a edificação e o ambiente externo. De acordo com Trindade et al. (2010), este cálculo é realizado através de algoritmos que modelam balanços de energia e transferência de calor entre as superfícies da edificação. Ainda, segundo Silva et al. (2017) a simulação computacional tem como principal finalidade a determinação de estratégias para melhorar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia, permitindo assim a tomada de decisões projetuais que otimizem os diversos sistemas da edificação.

Fransozo (2005) demonstra em seu trabalho que o desempenho térmico de uma edificação deve ser avaliado ainda na fase de projeto (pré-projeto e estudo preliminar), inclusive para edificações de baixo custo e pequeno porte, permitindo um melhor entendimento do desempenho termo-energético da edificação e fornecendo subsídios para uma intervenção adequada no projeto.

São vários os programas de simulação computacional utilizados nos centros de pesquisa do Brasil e do mundo, alguns dos mais difundidos são: ESP-r, ENERGYPLUS, TRNSYS e DOE (MENDES; LAMBERTS e CUNHA, 2001). O ENERGYPLUS é um dos mais utilizados por pesquisadores brasileiros, trata-se de um *software* gratuito criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e foi desenvolvido para realizar simulações de desempenho térmico de edificações (MELO; WESTPHAL e MATOS, 2009).

No entanto, a grande maioria dos

programas de simulação de desempenho termo-energético disponíveis possuem interfaces complexas, requerendo grande experiência dos usuários e conhecimento em linguagem de programação para a sua utilização. Porém, o *ArchSim*, *plug-in* de conexão do *Rhinoceros/Grasshopper* com o *EnergyPlus*, lançado em 2012, possui uma interface mais amigável, permitindo assim que usuários que possuem pouco aperfeiçoamento em simulações termo-energéticas possam utilizar tais ferramentas no processo de desenvolvimento do projeto de uma edificação (FONSECA; SANTANA e CARLO, 2016).

O bom emprego de um projeto de ventilação natural é complexo e, para se obter bons resultados, o projeto deve ser avaliado detalhadamente, observando principalmente as condições climáticas locais e o regime dos ventos (JIN; ZUO e CHEN, 2013). Souza (2012) destaca que os fatores predominantes no desempenho da ventilação natural são: número, tipo, posição e tamanho das aberturas existentes para a passagem de ar e posição da edificação em relação à direção predominante do vento.

O clima também exerce grande influência sobre o desempenho térmico de uma edificação naturalmente ventilada. Torres e Batista (2014) realizaram a simulação computacional de uma mesma edificação em três cidades diferentes do estado de Alagoas, que apesar de estarem classificadas na mesma zona bioclimática, apresentaram comportamentos diferentes. Apenas em uma das cidades a ventilação cruzada era eficaz, nas demais era necessário a aplicação de outras estratégias para adequação da edificação ao clima local.

A metodologia usual para a realização de simulações computacionais consiste em adotar um caso base, ou seja, um edifício modelo onde serão realizadas as variações dos parâmetros analisados. Lukiantchuki et al. (2016) demonstra em seu trabalho a influência da geometria dos *sheds* e da dimensão das aberturas de entrada e saída de ar no desempenho da ventilação natural em edificações, a metodologia consistiu em variar no caso base a geometria dos *sheds* e a dimensão das aberturas. A partir dos resultados obtidos nas simulações

determinou-se a configuração que melhorava o desempenho térmico da edificação.

No trabalho de Matos (2007), o desempenho térmico de residências em Florianópolis é avaliado utilizando a ventilação natural, também por meio da variação de parâmetros em um caso base. Dentre outros resultados, foi demonstrado que os limites estabelecidos pela norma NBR 15220 (ABNT 2005) para a área de abertura visando à ventilação natural não era adequado para residência analisada, evidenciando assim a importância da avaliação individual de cada caso, com simulações computacionais.

Vários trabalhos desenvolvidos para análise do desempenho térmico da ventilação natural utilizam como parâmetro para a comparação do desempenho o indicador “graus-hora de resfriamento” que representa a diferença entre a temperatura horária e a temperatura estabelecida como limite de conforto (MATOS, 2010; SORGATO, 2009; TORRES e BATISTA, 2014). A determinação do limite de conforto é bem delicada, visto que, o conforto é considerado um conceito abstrato que depende de vários fatores. Geralmente são utilizadas as normas americanas (ISSO 7730) e europeias (EN 15251) para determinação dos limites. Borges et. al (2016) aplicou em seu estudo sobre as condições térmicas dos edifícios de aula da Universidade Federal de Goiás a ISO 7730 (2005), que determina os limites de conforto por meio dos índices Voto Médio Predito (PMV – *Predicted mean*

vote) e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD – *Predicted percentage of dissatisfied*).

O PMV foi determinado por Fanger em 1972 e consiste em um valor numérico que representa a sensibilidade humana ao frio e ao calor. A partir daí criou-se a PPD que, de acordo com Fanger, para ambientes termicamente moderados, deve ser menor que 10 % correspondendo a uma faixa de PMV de -0,5 a +0,5 (LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA, 2015).

4. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consiste em realizar simulações computacionais através do *Archsim*, que é um *plug-in* do *software Rhinoceros/Grasshopper*. O *Rhinoceros* é o ambiente onde é visualizada a geometria do modelo, enquanto no *Grasshopper* são inseridas as informações pertinentes ao estudo como: geometria, componentes construtivos, cargas internas, arquivo climático e estratégias passivas utilizadas.

O *ArchSim* se conecta diretamente ao *EnergyPlus*, software de simulação termo energética de edifícios. Assim, o *EnergyPlus* funciona de forma secundária, e as informações e os resultados são obtidos no *Grasshopper*. Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as interfaces do *Rhinoceros* e do *Grasshopper*, respectivamente, com a modelagem da edificação em estudo.

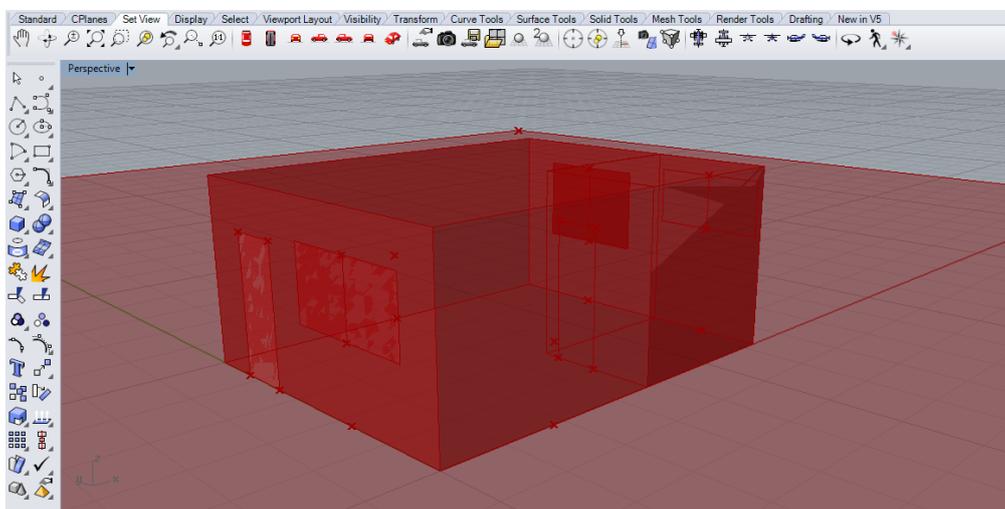


FIGURA 1: Interface *Rhinoceros* representando a edificação em estudo.

FONTE: Autoria Própria.

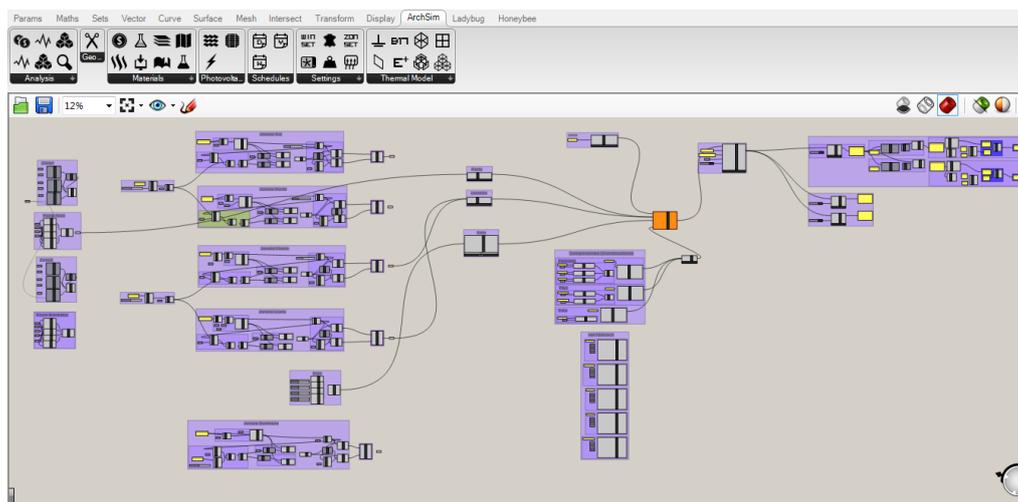


FIGURA 2: Interface *Grasshopper* representando o fluxo de informações utilizadas para a simulação.

FONTE: Autoria Própria.

Para a realização das simulações, utilizou-se o arquivo climático TRY referente ao ano de 2014. Além disso, foi necessário definir parâmetros relacionados à edificação, como: tipologia, cargas internas (ocupação, equipamentos, iluminação) e parâmetros de ventilação natural.

Muitos parâmetros da modelagem foram adotados de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012), lançado em janeiro de 2012. O regulamento incluiu a simulação como um de seus métodos de avaliação para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e, por isso, foi adotado como referência no estabelecimento dos parâmetros de simulação deste trabalho.

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Teófilo Otoni é um município localizado na região nordeste do estado de Minas Gerais, com latitude 17° 51' 32" Sul, longitude 41° 30' 32" Oeste e 347 metros de altitude. De acordo com o IBGE o clima da cidade é caracterizado como tropical quente semiúmido, apresentando de 4 a 5 meses secos (IBGE, 2002).

Segundo a NBR 15220 - 3 (ABNT, 2005), a cidade de Teófilo Otoni se enquadra na Zona Bioclimática 5 e possui como diretrizes construtivas para adequar o edifício ao clima: aberturas para ventilação médias, sombreamento das aberturas, parede leve refletora e cobertura leve isolada. Como

estratégia de condicionamento térmico passivo a Norma indica ventilação cruzada no verão e inércia térmica no inverno.

As condições climáticas de uma determinada região são fornecidas para os programas de simulação térmica através do arquivo climático. Para este trabalho, utilizou-se o arquivo climático do tipo *Test Reference Year - TRY* de Teófilo Otoni, referente ao ano de 2014, elaborado por Oliveira (2016). Segundo Goulart et al. (1998) o TRY é um arquivo climático composto por 8760 horas de dados. Esse é determinado através da eliminação de anos com temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas) até restar apenas um ano de dados médios, este ano será o ano climático de referência.

Através da análise da carta bioclimática (Figura 3) criada a partir dos dados do TRY é possível analisar a relação de horas de conforto e desconforto térmico para as edificações da região e, ainda, propor estratégias bioclimáticas mais apropriadas para adequar as edificações ao clima local.

Para o município de Teófilo Otoni a porcentagem de horas de conforto do TRY é de 51,1% e o desconforto térmico anual é de 48,9%. Do total de horas de desconforto, 32,1 % é causado pelo calor e 16,9% devem-se ao frio.

Dentre as estratégias bioclimáticas indicadas para correção do desconforto causado pelo calor, a principal é a ventilação (23%) e, para o desconforto causado pelo frio, a estratégia mais

indicada é a alta inércia térmica com aquecimento solar (16,6%). Observa-se a importância da adoção de ventilação natural para o clima de Teófilo Otoni, indicada tanto pela Norma, quanto pela carta bioclimática, devendo ainda ter o cuidado de orientar as janelas nas direções mais eficientes, com a área de abertura adequada, garantindo a eficácia desta estratégia.

Outra característica do clima de Teófilo Otoni é a predominância dos ventos nas direções Nordeste e Leste, como mostrado na Figura 4.

Para o período de verão, a maior frequência de ocorrência dos ventos é na direção

leste, enquanto para o inverno a maior frequência de ocorrência é na direção Nordeste. O Período do dia com maior porcentagem de ventos ausentes é a madrugada, para todas as estações do ano. A velocidade predominante por direção varia entre 2 e 4 m/s.

Por fim, na Figura 5 é apresentada a Carta Solar de Teófilo Otoni, com dados horários de Temperatura de Bulbo Seco do TRY. A esquerda tem-se as temperaturas de 21 de dezembro a 21 de junho e à direita as temperaturas de 21 de junho a 21 de dezembro.

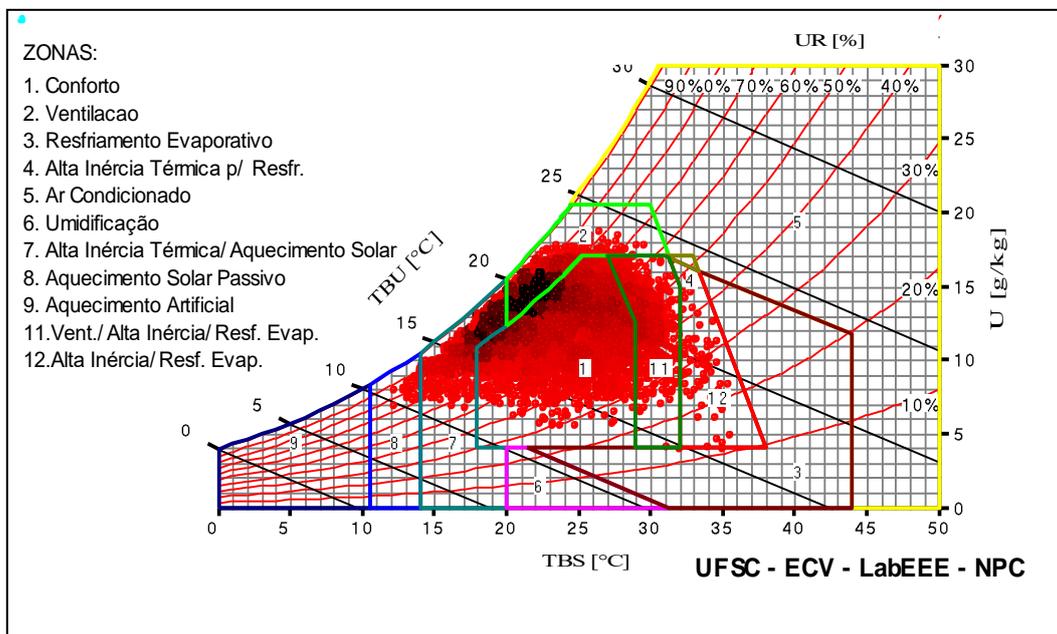


FIGURA 3: Carta Bioclimática de Teófilo Otoni.
FONTE: Programa Analysis-BIO 2.2 (2015).

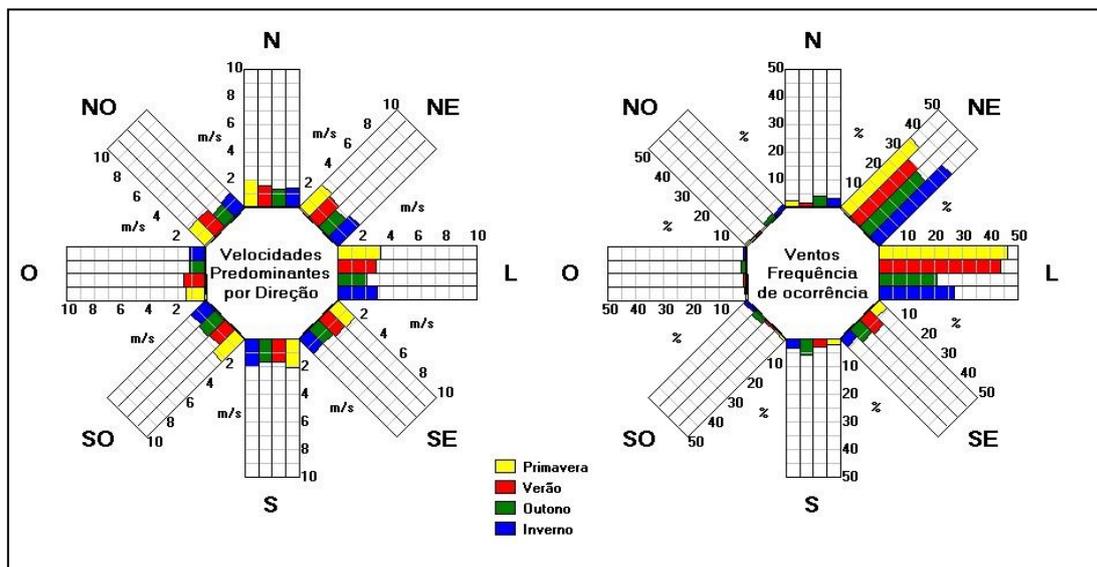


FIGURA 4: Rosa dos Ventos de Teófilo Otoni.
FONTE: Programa Analysis SOL-AR 6.2 (2015).

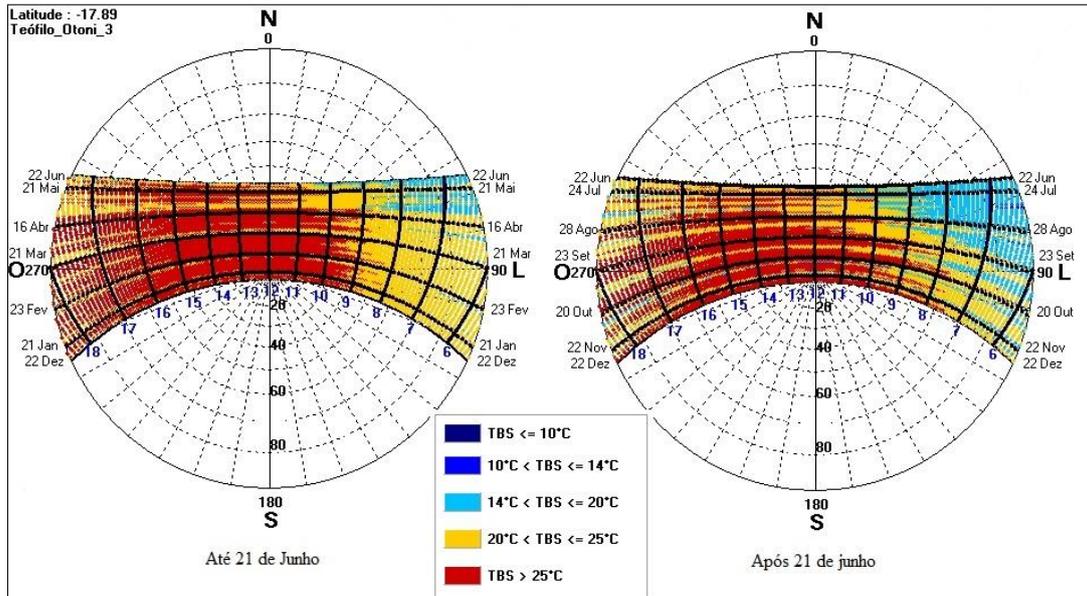


FIGURA 5: Carta Solar de Teófilo Otoni.
 FONTE: Programa Analysis SOL-AR 6.2 (2015).

O período que apresenta as temperaturas mais altas vai de 21 de dezembro à 21 de junho, apresentando maior incidência solar nas fachadas Oeste e Leste. No entanto a fachada oeste recebe sol durante o período da tarde, quando as temperaturas são mais elevadas.

4.2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

O objeto de estudo deste trabalho é uma habitação unifamiliar (Flat), ocupada por um morador, com área construída de 31,25 m², sendo

23,55 m² de área conjugada e 3,80 m² de banheiro. A unidade possui pé direito é de 2,80 m, um banheiro, sala, quarto e cozinha, sendo estes últimos três conjugados. A Figura 6 apresenta a planta baixa da edificação e seu respectivo modelo 3D, que podem ser replicados para a execução de uma edificação com múltiplas unidades habitacionais. A motivação para escolha desta tipologia deve-se ao crescente aumento de estudantes na cidade de Teófilo Otoni e essa tipologia atende satisfatoriamente esta demanda.

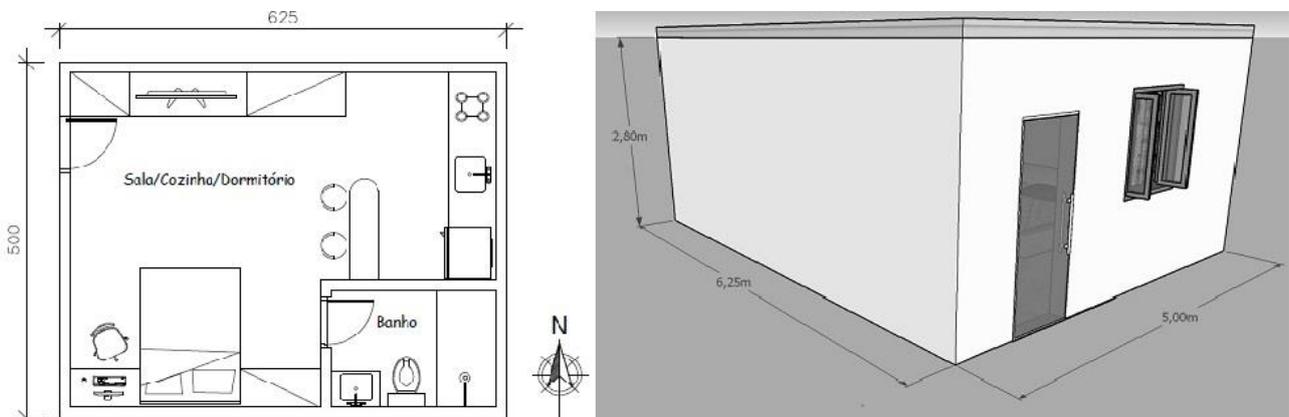


FIGURA 6: Planta Baixa e Modelo 3D.
 FONTE: Autoria Própria.

4.3 OCUPAÇÃO

O Flat é ocupado por apenas um morador. Deste modo, nos horários em que a usuário estiver na residência a ocupação é máxima (100%) e nos outros horários a residência é considerada desocupada. Foi desenvolvido um padrão de ocupação para os dias úteis, e outro para os finais de semana, como pode ser observado na Figura 7.

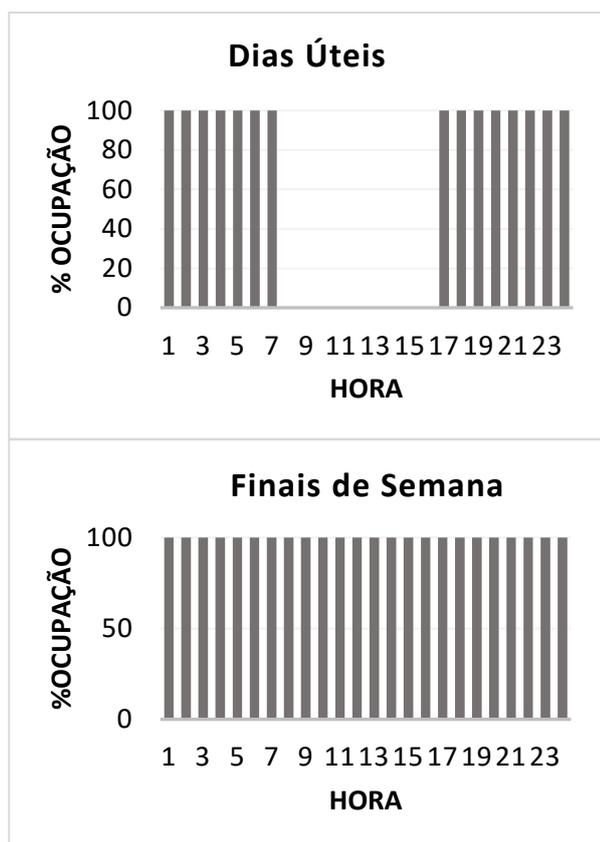


FIGURA 7: Padrão de Ocupação
 FONTE: Autoria Própria

4.4 ILUMINAÇÃO

Segundo o RTQ-R (BRASIL, 2012) os ambientes de grande permanência devem ser modelados com densidades de potência instalada de iluminação. Para a sala e dormitório o RTQ-R

define os seguintes valores de densidade de potência: 5,0 W/m² e 6,0 W/m², respectivamente. Como o ambiente em estudo é composto por sala, quarto e cozinha conjugados adotou-se uma densidade de potência de iluminação artificial de 6,0 W/m².

A iluminação artificial do ambiente é controlada por meio de um Schedule de iluminância. Desta maneira, sempre que a iluminância do ambiente é menor que uma iluminância mínima estabelecida (IAMB < IMÍN) a iluminação artificial é acionada. Para tanto, adotou-se IMÍN = 60 lux, ou seja, sempre que o usuário estiver ocupando o ambiente e a quantidade de luz incidente neste for menor que 60 lux, a iluminação artificial será utilizada.

4.5 EQUIPAMENTOS

A carga interna dos equipamentos foi definida segundo o trabalho de Sorgato (2009), que determina uma carga de 54 W para os ambientes de sala e cozinha, quando conjugados. Para a simulação foi considerado o uso contínuo dos equipamentos para o período de 24 horas do dia. Como o ambiente avaliado possui área de 23,55 m², a densidade de potência instalada utilizada foi de 2,30 W/m².

4.6 ENVOLTÓRIA

Os componentes construtivos da envoltória foram selecionados de forma a atender as diretrizes construtivas propostas pela NBR 15220 - 3 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 5, na qual está localizada a cidade de Teófilo Otoni. Seguem na TABELA 1 as propriedades térmicas admissíveis para as vedações externas da zona bioclimática 5, estabelecidas pela NBR 15220 - 3 (ABNT, 2005).

TABELA 1: Propriedades Térmicas Admissíveis Para a Vedação Externa.

Vedações Externas	Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Atraso Térmico (Horas)	Fator Solar (%)
Parede Leve e Refletora	≤ 3,60	≤ 4,3 horas	≤ 4,0
Cobertura Leve e Isolada	≤ 2,00	≤ 3,3 horas	≤ 6,5

FONTE: Autoria Própria.

As paredes da edificação (Figura 8) tem espessura total de 15 cm (argamassa de emboço interna de 2,5 cm + bloco cerâmico maciço de 10 cm + argamassa de emboço externo de 2,5 cm) com transmitância térmica de $3,13 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e capacidade térmica de $255 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$. Utilizou-se uma pintura externa na cor amarela com absorvância (α) igual a 0,3.

A laje de piso/cobertura da unidade habitacional (FIGURA 8) é composta por uma laje mista de 12 cm (concreto 4 cm + lajota cerâmica 7 cm + argamassa 1 cm) sem cobertura, com transmitância térmica de $2,95 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e capacidade térmica de $167 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$. Adotou-se a condição de piso adiabático (sem troca de calor entre o solo e o piso).

Na Tabela 2 encontram-se as propriedades térmicas: Condutividade térmica (λ), Densidade de massa aparente (ρ) e Calor específico (c), dos materiais utilizados na envoltória (parede e cobertura) e nos demais fechamentos (janela e

piso). Tais propriedades foram determinadas de acordo com Ordenes et al. (2003).

4.7 VENTILAÇÃO

A ventilação natural dos ambientes é seletiva, ou seja, ela só é permitida quando atende a determinados parâmetros (Tabela 3). Deste modo, o controle de abertura das janelas para a ventilação é realizado por meio de uma Schedule de temperatura e umidade. A abertura da janela é permitida quando a temperatura externa é maior que uma temperatura mínima estabelecida ($\text{TEXT} > \text{TMÍN}$), e as janelas são fechadas quando a temperatura externa é maior que a temperatura máxima estabelecida ($\text{TEXT} > \text{TMÁX}$) ou quando a umidade relativa externa é maior que uma umidade máxima estabelecida ($\text{UREXT} > \text{URMÁX}$). A porta de acesso principal não foi considerada como abertura para ventilação, sendo modelada como fechada para toda a simulação.

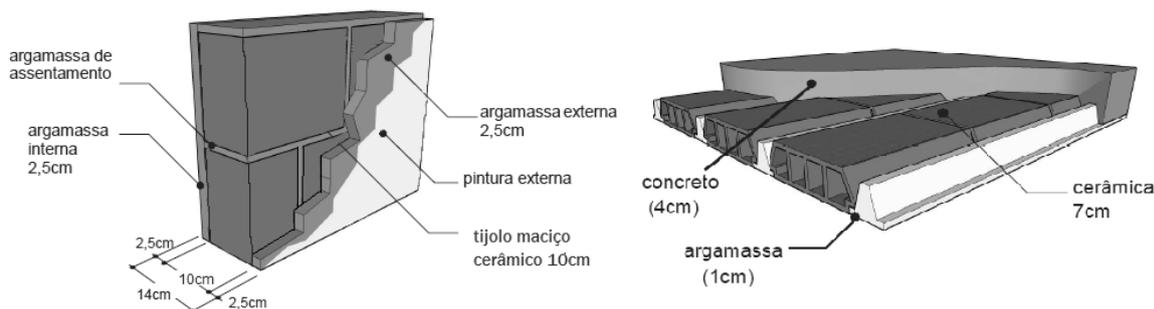


FIGURA 8: Constituição da Parede e da Laje de Cobertura/Piso.

FONTE: Adaptado de Morishita *et al.* (2011).

TABELA 2: Propriedades Térmicas dos materiais utilizados na edificação.

Material	Espessura Equivalente	λ (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	c (J/kg.K)
Argamassa de emboço	2,5 cm	1,15	2000	1000
Tijolo Maciço (10 cm)	9,6 cm	0,90	1764	920
Laje Mista (12 cm)	9,5 cm	1,05	1087	920
Piso Cerâmico (10 mm)	1,0 cm	0,90	1600	920
Janelas		<i>defaultGlazing</i> ¹		

FONTE: Autoria Própria.

¹ *defaultGlazing*: Tipo padrão de vidro adotado pelo programa.

TABELA 3: Parâmetros Relacionados a Ventilação Natural.

Parâmetros	Valores
Coefficiente de Descarga (Cd)	0,6
Número de Trocas de Ar /Hora	1 ACH
Área Operável	0,90

FONTE: Autoria Própria.

Segundo Lamberts et al. (2014), a ventilação natural é eficaz entre as temperaturas de 20°C a 32°C, assim sendo, adotou-se $T_{MÍN} = 20°C$ e $T_{MÁX} = 32°C$.

O coeficiente de descarga está relacionado com a resistência ao fluxo de ar das aberturas de janelas, que é dado em função da diferença de temperatura do ar, da velocidade e direção do vento e, principalmente, da geometria da abertura, que neste caso é retangular. A área operável está ligada ao tipo de janela, que neste caso, são janelas do tipo camarão, ambos valores foram determinados segundo o RTQ-R (BRASIL,2012).

4.8 ALTERNATIVAS DE SIMULAÇÃO

Foram simuladas seis alternativas de orientação de janela (Tabela 4). Além disso, para cada uma destas orientações variou-se o percentual de área de ventilação em relação ao piso. Conforme a norma NBR-15220-3 (ABNT, 2005), para o clima de Teófilo Otoni, as aberturas de ventilação devem ser de tamanho médio, com áreas entre 15% e 25% da área do piso do ambiente. Assim, para cada uma das orientações, além de utilizar as aberturas médias como definido pela norma, também foram simuladas aberturas para ventilação pequenas

($10% < A_p < 15%$) e grandes ($A_p > 40%$).

4.9 INDICADOR GRAUS-HORA

O indicador “graus-hora” é um parâmetro climático que pode ser definido através do somatório das diferenças de temperatura horária. Para graus-hora de aquecimento (Equação 1), realiza-se o somatório das diferenças de temperatura que estão abaixo da temperatura de base superior ($T_{b,sup}$). Para graus-hora de resfriamento (Equação 2) é feito o somatório das diferenças de temperatura que se encontram acima da temperatura base inferior ($T_{b,inf}$) (MATOS, 2007).

$$Gh_{Aquec} = \sum T_{b,sup} - T_h \quad \text{Eq. [1]}$$

$$Gh_{Resf} = \sum T_h - T_{b,inf} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

Gh_{Aquec} = Graus Hora de Aquecimento (°C);

Gh_{Resf} = Graus Hora de Resfriamento (°C);

T_h = Temperatura Horária (°C);

$T_{b,sup}$ = Temperatura de Base superior (°C).

$T_{b,inf}$ = Temperatura de Base inferior (°C).

TABELA 4: Resumo das Alternativas.

Modelo	Posição das Janelas	Percentual de área de ventilação em relação ao piso (%)
1	Norte – Sul	10; 20; 40
2	Leste – Oeste	10; 20; 40
3	Sul – Oeste	10; 20; 40
4	Norte - Leste	10; 20; 40
5	Leste – Sul	10; 20; 40
6	Norte - Oeste	10; 20; 40

FONTE: Autoria Própria.

A quantidade de graus-hora será calculada para a temperatura operativa horária do ambiente, a qual é apresentada na Equação 3.

$$T_{OP} = A \times T_{ar} + (1 - A) \times T_r \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

T_{OP} = Temperatura Operativa Horária do Ambiente (°C);

T_{ar} = Temperatura do ar (°C);

T_r = Temperatura Radiante (°C);

A = Fração Radiante;

$A = 0,5$ para $V_{ar} < 0,2$;

$A = 0,6$ para V_{ar} de 0,2 a 0,6;

$A = 0,7$ para V_{ar} de 0,6 a 1,0;

V_{ar} = Velocidade do ar no ambiente (m/s).

A avaliação das diferenças no desempenho térmico da edificação será realizada baseando-se na quantidade de graus-hora de resfriamento, uma vez que, a maior causa de desconforto na cidade de Teófilo Otoni é o calor. Assim, a prioridade é minimizar os graus-hora de resfriamento dos ambientes, melhorando o conforto térmico dos usuários.

Segundo o RTQ-R (BRASIL, 2012) a temperatura de base inferior é de 26 °C, deste modo, o cálculo dos graus-hora de resfriamento foi realizado de acordo com a Equação 4.

$$Gh_{Resf} = \sum T_{OP} - 26^\circ\text{C} \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

T_{OP} = Temperatura Operativa Horária do

Ambiente (°C).

4.10 ANÁLISE DE CONFORTO

Os limites de conforto térmico para a temperatura operativa foram determinados de acordo com os critérios estabelecidos pela ISO 7730 (ISO, 2005) considerando um ambiente com atividades leves (70W/m²). Utilizou-se a categoria B, que corresponde a uma faixa de PMV (*Predicted Mean Vote – Voto Médio Predito*) de -0,5 a +0,5. Para esta faixa de PMV menos de 10% das pessoas estão insatisfeitas com o ambiente térmico.

No período do inverno considerou-se vestimentas com índice de resistência térmica de 1,0 clo e para o período do verão de 0,5 clo. Para estas condições, o intervalo de temperatura operativa aceitável para inverno fica entre 20°C e 24°C e para verão entre 23°C e 26°C. Desta forma, para calcular a porcentagem de horas de desconforto anual considerou-se o intervalo entre 20°C e 26°C.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os seis modelos propostos foram simulados, obtendo-se a temperatura operativa horária para todas as 8760 horas do ano. De posse desses dados, realizou-se o cálculo do somatório dos graus-hora de resfriamento para temperatura de base de 26°C. Nas FIGURAS 9 e 10 são apresentados o somatório de graus-hora de resfriamento para todos os modelos estudados.

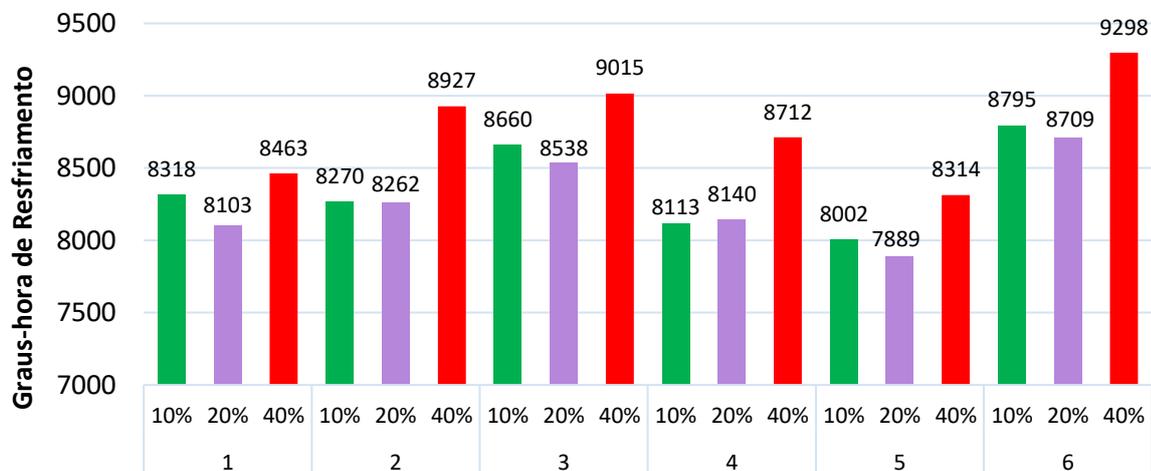


FIGURA 9: Somatório Anual de Graus-hora de Resfriamento (Por Modelo).

FONTE: Autoria Própria.

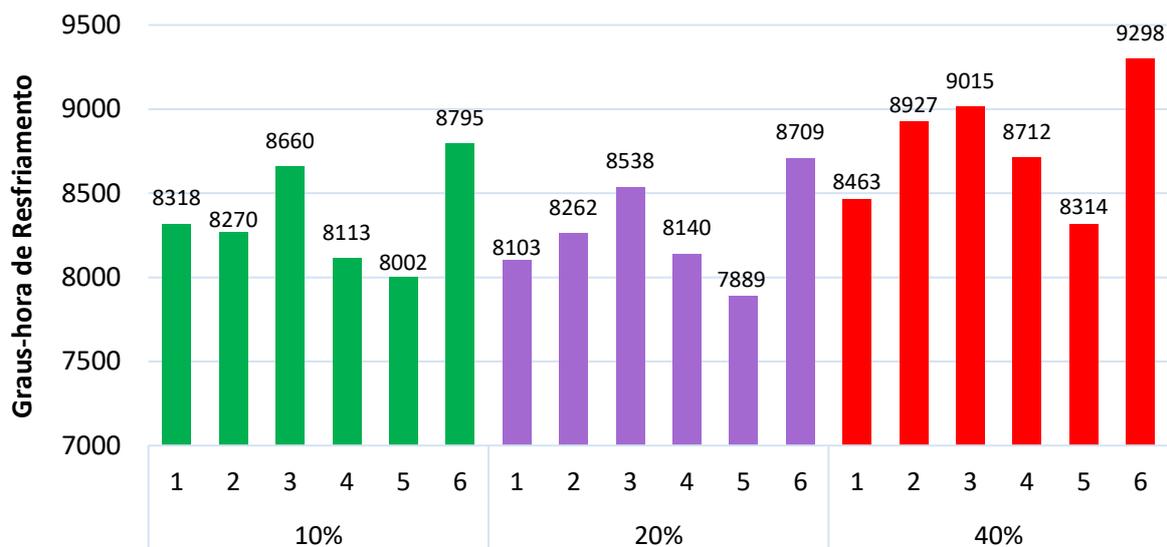


FIGURA 10: Somatório Anual de Graus-hora de Resfriamento (Por Área de Abertura).

FONTE: Autoria Própria

Analisando inicialmente o Modelo 1 (Norte-Sul) e o Modelo 2 (Leste-Oeste) que possuem janelas em fachadas opostas, observa-se que em ambos os casos os resultados indicam que as janelas médias (20%Ap) apresentaram maior eficiência, proporcionando um menor número de graus-hora de resfriamento. Entretanto, as janelas grandes (40%Ap) apresentam maior eficiência no Modelo 1, o que é justificado pela posição das janelas, que se localizam em fachadas com menor incidência de radiação solar ao longo do ano. Já para as janelas pequenas (10%Ap) o Modelo 2 apresentou-se como o mais eficaz, o que é causado pelo regime dos ventos que ocorre na direção Leste no período do verão. Deste modo, a ventilação é bem aproveitada, pois a direção predominante dos ventos coincide com a posição das janelas e, como a área de abertura é pequena, a incidência de radiação solar no ambiente é menor.

Nas fachadas leste e oeste a incidência de radiação solar direta ocorre ao longo de todo ano, porém, a fachada leste recebe apenas o sol da manhã, quando as temperaturas são mais amenas. Já na fachada oeste, a incidência ocorre durante a tarde, quando as temperaturas são mais elevadas. Deste modo, a melhor localização para as aberturas é na posição leste, permitindo que o ambiente receba apenas o sol da manhã, coincidindo com a direção predominante dos ventos para o período do verão.

Na fachada Sul, a incidência de radiação solar ocorre durante 5 meses do ano (out., nov., dez, jan. e fev.), correspondente ao período do verão e parte da primavera. Na fachada norte a incidência solar ocorre nos outros 7 meses do ano (mar., abr., mai., jun., jul., ago., set.), correspondente ao período do outono e inverno. No entanto, na fachada sul a incidência solar só ocorre nos períodos de maior temperatura (fim da manhã e início da tarde) em 3, dos 5 meses em que o sol incide na fachada, nos demais, a fachada recebe sol apenas no início da manhã e fim da tarde, período em que as temperaturas estão mais amenas. De forma geral, a fachada sul é a que recebe menor radiação solar direta ao longo do ano.

Neste contexto, verifica-se que o Modelo 5 (Sul-Leste) obteve os melhores resultados, para todas as áreas de abertura, o que é esperado, pois as duas janelas do modelo estão posicionadas em condições favoráveis no que diz respeito a incidência solar direta. Além disso, a posição das janelas coincide com a direção predominante dos ventos para o período do verão. No Modelo 6 (Norte-Oeste) ocorre o oposto, apresentando os piores resultados.

Os Modelos 3 (Sul-Oeste) e 4 (Norte-Leste) atingiram resultados intermediários, pois associam fachadas com grande incidência solar direta e fachadas com menor incidência solar. Comparando estes dois modelos observa-se que o Modelo 3

obteve os piores resultados para todos os tamanhos de janela, ocasionado pela presença da fachada oeste, que recebe sol durante todas as estações no período da tarde (12 às 18 hrs).

Analisando os modelos estudados, nota-se que as janelas médias (20%Ap.) apresentam melhor eficiência em 5, dos 6 modelos estudados. Isso, porque a perda de carga térmica devido ao aumento da área de ventilação é suficiente para superar os ganhos térmicos causados pelo aumento da área de exposição do ambiente a incidência solar direta. Para as janelas grandes (40% Ap.) ocorre o contrário, conseqüentemente, estas apresentam os piores resultados para todos os modelos.

A análise do conforto foi realizada para o modelo 5 (leste-sul), com janelas médias (20% Ap.), que apresentou o menor número de graus-hora de resfriamento. Na FIGURA 11 é apresentado o gráfico com as temperaturas operativas das 8760 horas do ano.

As temperaturas operativas acima do limite de 26°C representam o desconforto por calor no ambiente, e as temperaturas abaixo de 20°C são

responsáveis pelo desconforto por frio. Deste modo, a porcentagem de horas de conforto para a unidade habitacional é de 57,5% e o desconforto térmico anual é de 42,5% das horas. Do total de horas de desconforto, 29,8% é causado pelo frio e 12,7% devem-se ao calor. Observa-se ainda que o desconforto por calor na edificação ocorre principalmente no período do verão e primavera, durante essa época do ano a ventilação natural não é suficiente para garantir o conforto térmico dos ocupantes.

Analisando o indicador graus-hora para as temperaturas limite (20°C e 26°C) têm-se: 7889 graus-hora de resfriamento e 1664 graus-hora de aquecimento. Observa-se que a discrepância entre estes valores é muito superior a discrepância entre a porcentagem de horas com desconforto por calor e por frio. O que indica que o desconforto por calor na região é mais severo, pois as temperaturas que causam desconforto por calor distanciam-se mais do limite superior de conforto (26°C) que as temperaturas que causam desconforto por frio distanciam-se do limite inferior de (20°C).

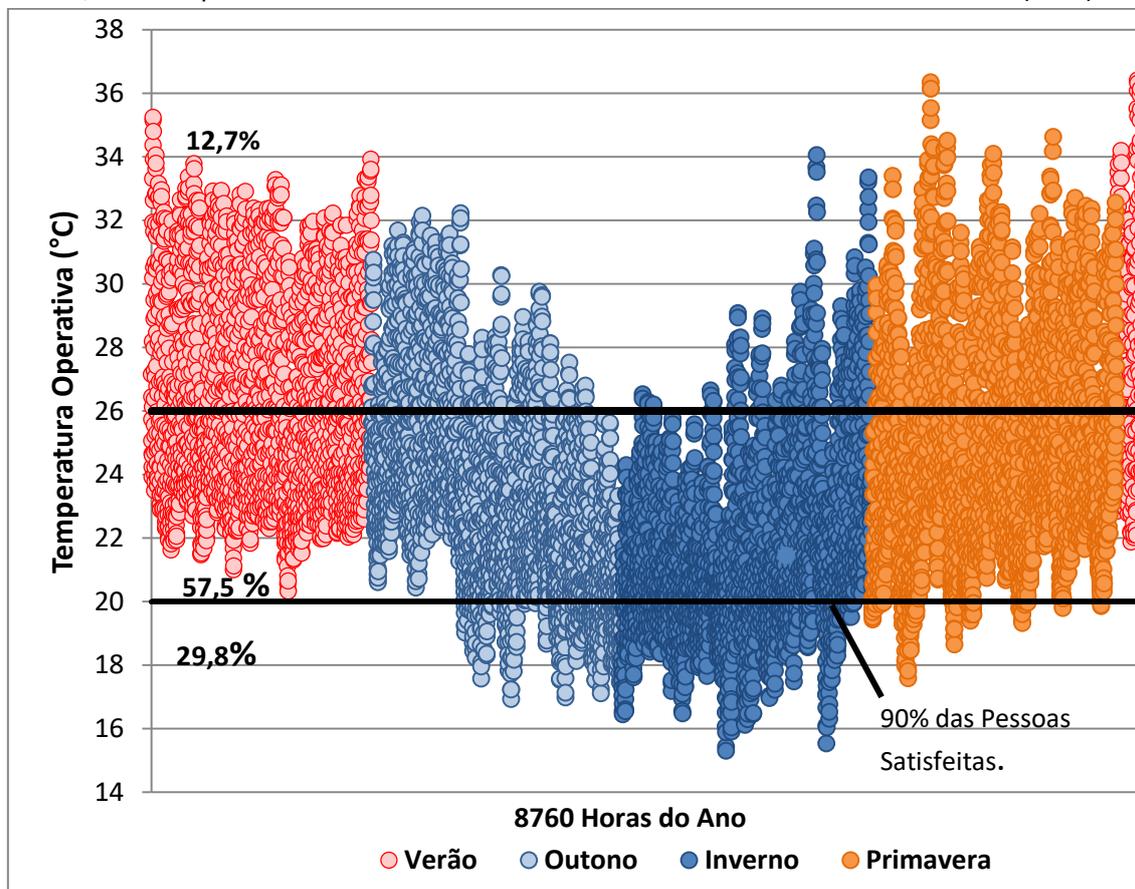


FIGURA 11: Temperatura Operativa Horária ao Longo do Ano – Modelo 5.

FONTE: Autoria Própria.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a análise do desempenho térmico de uma edificação unifamiliar, naturalmente ventilada. O objetivo principal foi avaliar a influência das posições e dimensões de aberturas no desempenho térmico da edificação e, determinar qual composição apresenta melhor eficiência no que diz respeito ao conforto térmico dos usuários. Os resultados obtidos mostraram que a melhor orientação das aberturas é na direção Leste-Sul com área de abertura para ventilação de 20% da área do piso.

Os limites de conforto foram determinados de acordo com os critérios estabelecidos pela ISO 7730 (ISO, 2005). O percentual de horas de conforto para a edificação é de 57,5% e o desconforto térmico anual é de 42,5% das horas. Do total de horas de desconforto, 12,7 % é causado pelo frio e 29,8% devem-se ao calor. Observa-se ainda que, as temperaturas que causam desconforto por calor distanciam-se mais do limite superior de conforto (26°C) que as temperaturas que causam desconforto por frio distanciam-se do limite inferior de (20°C).

Deste modo, conclui-se que a ventilação natural não é suficiente para garantir o conforto dos usuários, especialmente nos períodos de verão e primavera, devendo-se buscar outros mecanismos passivos de adequação ao clima, de forma a minimizar o número de graus-hora de resfriamento, visto que, os resultados indicaram que o desconforto térmico é causado principalmente pelo calor. Como a radiação solar é uma das variáveis que mais afeta o desempenho da edificação, a utilização de sombreamento das aberturas (brises, marquises ou beirais de telhado generosos) poderia contribuir para melhorar o desempenho térmico do modelo.

Ressalta-se que o arquivo climático elaborado por Oliveira (2016) utilizou os dados climáticos horários disponibilizados pela estação meteorológica do INMET, que está localizada próximo ao aeroporto de Teófilo Otoni, situado em uma região não urbanizada e com grande volume de vegetação. Tais características são diferentes do meio urbano, podendo causar diferenças climáticas.

Consequentemente, os resultados poderiam ser diferentes, se os dados climáticos fossem coletados em área urbana mais adensada.

A principal contribuição deste artigo foi análise da utilização da ventilação natural em edificações de pequeno porte e seu impacto no conforto térmico do usuário, evidenciando a importância da utilização de simulações computacionais como ferramenta de auxílio no projeto arquitetônico. Uma vez que, definidas as variáveis que mais afetam o desempenho térmico de uma edificação é possível adotar soluções construtivas mais condizentes com o clima.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2016.

BASSO, T. M.; NOGUEIRA, C. E. C.; Eficiência energética na construção civil no Brasil. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, n. 1, p.48-56. 2015.

BORGES, D. A.; PAIVA, ED C. DE R.; SARMENTO, A. P.; RESENDE, A. A. **Análise de Condições Térmicas nos Blocos Didáticos da Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Vol.11 (3), 1-16, dez./jun. 2016.

CARLO, J. C. **Diferenças na Simulação do Consumo de Energia Elétrica em Edificações Decorrentes do Uso de Arquivos Climáticos de Sítios e Anos Distintos.** 2002. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2002.

FONSECA, Ligiana; SANTANA, Laila; CARLO, Joyce. **Limitações do Archsim para Otimização Baseada em Simulação para Etiquetagem Residencial.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

FRANZOZO, H. L.; SOUZA, H. A.; FREITAS, M. S. R. **Eficiência térmica de habitação de baixo custo estruturada em aço.** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto,

58(2): 127-132, abr./ jun. 2005.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p.51-81, out./dez. 2006.

GOULART, S. V. G. **Dados Climáticos Para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

GOULART, S. V.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2 ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

HARTOG, J. P. D. **Designing indoor climate – A thesis on the integration of indoor climate analysis in the architectural design**. (PhD). Engineering Department, Delft University, Delft, 2004. 230 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Climas**. 2002. Disponível em: http://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf Acesso em: 29 abr. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 2005.

JIN, M.; ZUO, W.; CHEN, Q. **Simulating natural ventilation in and around buildings by fast fluid dynamics, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications**, 64(4), 273-289. 2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Programa Analysis-BIO (versão 2.2)**. 2010. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>. Acesso em: set. 2015.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Programa Analysis SOL-AR (versão 6.2)**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: set. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LUKANTCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A. R. P.; SILVA, F. M. da; CARAM, R. M. **Sheds extratores e captadores de ar: influência da geometria e da dimensão das aberturas no desempenho da ventilação natural nas edificações**. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 83-104, jan./mar. 2016.

MATOS, M. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2007.

MELO, A. P.; WESTPHAL F. S.; MATOS, M. **Apostila do Curso Básico do Programa Energyplus**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis -SC, 2009.

MENDES, N.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. da. Building Simulation in Brazil. In: BUILDING SIMULATION, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2001.

MORISHITA, C. *et al.* **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas**. Relatório de Pesquisa - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2011.

OLIVEIRA, C.C. **Tratamento de Dados Climáticos da Cidade de Teófilo Otoni – MG: Conforto Ambiental e Eficiência Energética das Edificações**. Relatório de Pesquisa de Iniciação Científica. Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni - MG, 2016.

OLIVEIRA, A. C.; LEDER, S. M. **Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos**. **Cadernos PROARQ (UFRJ)**, v. 20, p. 137-165, 2013.

ORDENES, M. *et al.* **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1**. Relatório de Pesquisa - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2003.

PITTA, T. O. **Estudo de Métodos Diretos e Indiretos de Estimativa de Irradiação Solar Global Diária Horizontal a Partir de Observações Superficiais de Cobertura Total de Nuvens em Florianópolis, SC**. 2001. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2001.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto

Alegre, v. 17, n. 1, p. 289-303, jan./mar. 2017.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2009.

SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L. S. **Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações**. REM: Rev. Esc. Minas, vol.65(2), Ouro Preto, Abr./Jun. 2012.

TRINDADE, S. C.; PEDRINI, A.; DUARTE, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.37-58, out./dez. 2010.

TORRES, D.; BATISTA, J. Desempenho Térmico de Habitação Popular no Estado de Alagoas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014.

VETTORAZZI, E.; RUSSI, M.; SANTOS, J. C. P. **A Utilização de Estratégias Passivas de Conforto Térmico e Eficiência Energética para o Desenvolvimento de Uma Habitação Unifamiliar**. In: Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, Porto Alegre, 2010.