

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Franco Canani

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ROTINA DOS USUÁRIOS NO
DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Florianópolis

2020

Franco Canani

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ROTINA DOS USUÁRIOS NO DESEMPENHO
TÉRMICO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Canani, Franco

Análise da influência da rotina dos usuários no
desempenho térmico de uma residência unifamiliar / Franco
Canani ; orientador, Roberto Lamberts, 2020.

63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Desempenho térmico. 3.
Comportamento dos usuários. 4. NBR 15575. I. Lamberts,
Roberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Franco Canani

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ROTINA DOS USUÁRIOS NO DESEMPENHO
TÉRMICO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 03 de dezembro de 2020.

Prof.^a Luciana Rohde, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, PhD.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Ana Paula Melo, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Arq. Renata De Vecchi, Dra.

Dedico este trabalho aos meus avós Francisco e Claudete.

AGRADECIMENTOS

Por ocasião da finalização deste trabalho de conclusão de curso, agradeço:

À Deus, pelo dom da vida;

Aos meus avós Francisco e Claudete, pelo carinho e incentivo;

Aos meus pais Elton e Andréa, por todo amor e ensinamentos;

À minha namorada Camilla, pela parceria e cumplicidade;

Aos meus orientadores Roberto e Ana Paula, pela sabedoria e paciência;

Aos colegas Rodolfo e Letícia, pelo suporte na realização do trabalho;

Aos professores, por todo o conhecimento transmitido;

Aos meus amigos, por dividirem comigo a jornada da vida.

“Você pode ignorar a realidade, mas não pode evitar as consequências de ignorar a realidade” (Ayn Rand)

RESUMO

Na tentativa de desacelerar o crescimento do consumo energético para climatização artificial no setor residencial, destaca-se o desenvolvimento de normas e regulamentos para avaliar a envoltória das edificações residenciais quanto ao seu desempenho térmico. Além da composição da envoltória, o comportamento dos usuários exerce grande influência no desempenho térmico das edificações residenciais. Este trabalho apresenta uma análise da influência da rotina dos usuários no desempenho térmico de uma residência unifamiliar no clima de São Paulo, Brasil. Foram estabelecidas três rotinas, que representam parte do comportamento dos usuários, bem como cinco configurações de envoltórias, que representam técnicas construtivas difundidas no Brasil e alternativas com uso de isolamento térmico. Os casos foram simulados e os resultados foram analisados de acordo com a metodologia da proposta de novo método de avaliação do desempenho térmico da NBR 15.575, utilizando os indicadores carga térmica total (CgTT) e percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT). Os resultados mostram que a rotina dos usuários tem grande impacto na carga térmica de refrigeração e consequentemente na carga térmica total da edificação, com variações de até 1345% na carga térmica total e 4686% na carga térmica de refrigeração, quando comparada a rotina de maior ocupação com a rotina de menor ocupação. De acordo com os resultados, quanto maior o período de ocupação durante o dia, maior a carga térmica para refrigeração e maior a carga térmica total. A variação da rotina apresentou impacto pouco significativo na carga térmica de aquecimento. O PHFT apresentou variações de acordo com a envoltória analisada. As envoltórias com maior inércia térmica apresentaram PHFT estável entre as rotinas, enquanto as envoltórias com menor inércia apresentaram uma redução no PHFT da edificação com o aumento das horas ocupadas. A envoltória com baixa transmitância e baixa inércia térmica apresentou o maior PHFT para todas as rotinas estudadas, apresentando também a menor carga térmica total e destacando-se com o melhor desempenho entre as configurações de envoltória adotadas para as rotinas de usuário com menos horas ocupadas. A envoltória com alta inércia térmica e baixa transmitância térmica na cobertura apresentou a menor carga térmica total na rotina com mais horas ocupadas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Comportamento dos usuários. NBR 15575.

ABSTRACT

Attempting to slow down the growth of energy consumption for air conditioning in the residential sector, stands out the development of standards and regulations to assess the envelope of residential buildings in terms of their thermal performance. In addition to the composition of the envelope, the users' behavior has a great influence on the thermal performance of residential buildings. This work presents an analysis of the influence of the users' routine on the thermal performance of a single-family residence in the climate of São Paulo, Brazil. Three routines were established, which represent part of users' behavior related to schedules, as well as five configurations of envelopes, which represent constructive techniques widespread in Brazil and alternatives with the use of thermal insulation. The cases were simulated and the results were analyzed according to the methodology of the proposed new method for evaluating the thermal performance of NBR 15.575, using the indicators total thermal load (CgTT) and percentage of hours occupied within the operating temperature range (PHFT). The results show that the users' routine has a great impact on the thermal refrigeration load and consequently on the total thermal load of the building, with variations of up to 1345% in the total thermal load and 4686% in the thermal refrigeration load, when compared the routine of greater occupation with the routine of lower occupation. According to the results, the longer the occupation period during the day, the greater the thermal load for refrigeration and the greater the total thermal load. The variation of the routine had little significant impact on the thermal heating load. The PHFT showed variations according to the envelope analyzed. The envelopes with greater thermal inertia showed a stable PHFT between routines, while the envelopes with less inertia showed a reduction in the PHFT of the building with the increase in the occupied hours. The envelope with low transmittance and low thermal inertia presented the highest PHFT for all routines, also presenting the lowest total thermal load and standing out with the best performance among the envelope configurations adopted for the users' routines with less hours of occupation. The envelope with high thermal inertia and low thermal transmittance in the roof presented the lowest total thermal load in the routine with more occupied hours.

Keywords: Thermal performance. Occupants' behavior. NBR 15575.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação no consumo de eletricidade por uso final no setor residencial	19
Figura 2 – Artigos publicados na base de dados Scopus.....	22
Figura 3 – Croqui isométrico e croqui da planta baixa do modelo da edificação 1	33
Figura 4 – Ocupação, iluminação e equipamentos na rotina Noturno.....	39
Figura 5 – Ocupação, iluminação e equipamentos na rotina NBR.....	41
Figura 6 – Ocupação, iluminação e equipamentos na rotina <i>Home office</i>	42
Figura 7 – Esquema da análise horária para o cálculo dos indicadores de desempenho	46
Figura 8 – Resultados de carga térmica anual.....	48
Figura 9 – Resultados de PHFT	49
Figura 10 – Resultados de carga térmica anual por envoltória	50
Figura 11 – Resultados de PHFT por envoltória	52
Figura 12 – Resultados de PHFT por APP.....	53
Figura 13 – Indicadores de desempenho por rotina	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das características das rotinas e envoltórias estudadas	47
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição e propriedades térmicas das envoltórias	37
Tabela 2 – Carga térmica de ocupação por atividade	39
Tabela 3 – Resultados dos indicadores de desempenho	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APP – Ambiente de permanência prolongada
- APT – Ambiente de permanência transitória
- ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
- BEN – Balanço Energético Nacional
- CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
- CgTA – Carga térmica de aquecimento
- CgTR – Carga térmica de refrigeração
- CgTT – Carga térmica total
- CT – Capacidade térmica
- DOE – *Department of Energy*
- ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICF – *Insulated concrete formwork*
- IEA – *International Energy Agency*
- INI-R – Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
- NBR – Norma técnica brasileira
- PHFT – Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa
- RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
- U – Transmitância térmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.....	18
2.2	DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES	20
2.3	INFLUÊNCIA DO USUÁRIO.....	22
2.4	NORMAS E REGULAMENTOS.....	25
2.5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	29
2.6	SÍNTESE DO CAPÍTULO	32
3	MÉTODO	33
3.1	MODELO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL	33
3.2	CARACTERÍSTICAS DAS ENVOLTÓRIAS	35
3.3	COMPORTAMENTO DOS USUÁRIOS.....	37
3.3.1	Rotinas	38
3.3.1.1	Noturno.....	39
3.3.1.2	NBR.....	40
3.3.1.3	<i>Home office</i>	42
3.4	SIMULAÇÕES DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	43
3.4.1	Condicionamento artificial e ventilação natural	44
3.5	INDICADORES DE DESEMPENHO	45
4	RESULTADOS	47
4.1	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ROTINA.....	50
4.2	ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS ENVOLTÓRIAS	53

5	CONCLUSÃO.....	56
5.1	LIMITAÇÕES.....	57
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, as edificações residenciais foram responsáveis por 25,4% do consumo total de energia elétrica no ano de 2018, sendo que o consumo das residências aumentou 1,3% em relação a 2017, e 27% quando comparado a 2010 (EPE, 2019). Esse aumento não se deve somente ao crescimento populacional: o consumo de eletricidade per capita no setor residencial aumentou 18,8% entre 2010 e 2018 (EPE, 2019). De acordo com o último Balanço Energético Nacional, em 2019 o crescimento foi ainda maior, 3,5% em relação ao ano anterior, com a demanda para climatização sendo destaque nesse aumento (EPE, 2020).

De acordo com o estudo Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016), a perspectiva é que o consumo energético do setor residencial continue aumentando, devido ao crescimento populacional, ao atendimento do déficit habitacional existente, ao aumento da renda per capita e a melhor distribuição das riquezas. Estes dois últimos fatores influenciam diretamente os hábitos de consumo, levando a um aumento na posse de equipamentos: a posse média de equipamentos de ar condicionado deve aumentar de 0,23 equipamentos por domicílio em 2013 para 1,37 em 2050 (EPE, 2016). A evolução expressiva na posse desses equipamentos reflete uma busca por conforto térmico, uma vez que muitas edificações residenciais não proporcionam este conforto por não estarem adequadas às condições climáticas do local (MONTES, 2016).

O Brasil possui normas e regulamentos que buscam melhorar o desempenho térmico e a eficiência energética nas edificações residenciais. A NBR 15.220/2005 parte 3 apresenta um zoneamento bioclimático para o Brasil e diretrizes construtivas para adequar as habitações de interesse social ao clima em que estão inseridas, enquanto que a parte 1 padroniza definições, símbolos e unidades, a parte 2 padroniza métodos de cálculo de propriedades térmicas e as partes 4 e 5 padronizam métodos de medição das propriedades térmicas (ABNT, 2005). O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012) permite avaliar e classificar o nível de eficiência energética da edificação e obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de

Edificações Residenciais (INI-R) (CB3E, 2020), que está em desenvolvimento e substituirá o RTQ-R, apresenta três métodos de avaliação: método prescritivo, para residências unifamiliares de até 60 m²; método simplificado, que abrange a maioria das edificações residenciais brasileiras; método de simulação, para avaliar as envoltórias que não se encaixem nos limites dos outros métodos. No método de simulação, a unidade habitacional é modelada por inteiro, com o uso de ventilação híbrida e com a presença de usuários. A NBR 15.575/2013 (ABNT, 2013) traz os requisitos mínimos de desempenho para edificações residenciais. Para avaliar o desempenho térmico, possui um método simplificado que avalia separadamente coberturas e paredes, e um método de simulação que avalia a edificação completa. O método de simulação possui várias falhas, como apontado por Sorgato et al. (2012), sendo uma delas não avaliar a edificação em uma condição de uso realista, já que não considera a presença de usuários e equipamentos na edificação, nem o uso de ventilação natural. Como forma de melhorar o método atual, foi desenvolvida uma proposta de novo método de simulação para a NBR 15.575 (LABEEE, 2020), que está em fase de consulta pública. O novo método proposto considera os usuários da residência através de rotinas de ocupação, uso da iluminação e uso de equipamentos, semelhante ao proposto no INI-R. A edificação é simulada em duas condições, ventilada naturalmente e condicionada artificialmente. Em ambas, os usuários são representados por comportamentos padrão, interagindo com a edificação de acordo com as condições ambientais de temperatura do ar interno e externo.

Conforme mostrado por Zhang et al. (2018) e Balvedi, Ghisi e Lamberts (2018), diversas pesquisas investigam e evidenciam a importância de considerar o usuário nas simulações termo energéticas, dado o impacto que a variação do comportamento do usuário tem no resultado final das simulações e no consumo energético de edificações. No entanto, Zhang et al. (2018) citam a existência de lacunas na pesquisa atual sobre a interação do comportamento do usuário e o desempenho energético das edificações, sendo uma delas a avaliação do papel do comportamento do usuário na efetividade de políticas de eficiência energética em edificações.

Frente ao contexto exposto, destaca-se a importância do estudo da influência do comportamento dos usuários no desempenho térmico e energético das edificações residenciais. Os usuários e suas interações com os elementos das edificações devem

ser estudados de forma a compreender seu papel nas políticas de redução do consumo energético das edificações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto da variação da rotina dos usuários sobre o desempenho térmico de uma residência unifamiliar térrea com diferentes configurações de envoltória, localizada na cidade de São Paulo/SP.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar a influência da rotina dos usuários no desempenho térmico da edificação frente à proposta de novo método de simulação da NBR 15.575;
- Determinar a configuração de envoltória com melhor desempenho para cada rotina de usuários proposta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

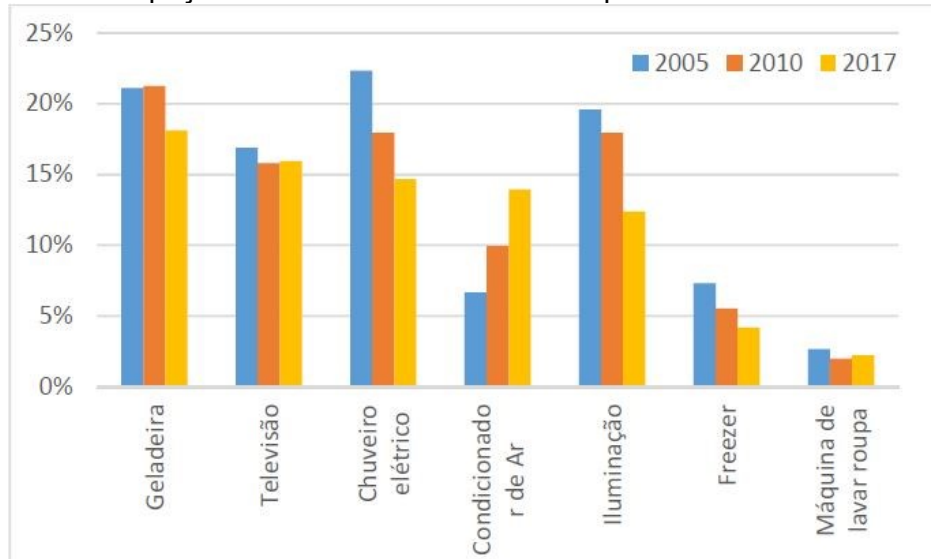
As edificações residenciais, comerciais e públicas representaram cerca de 50,5% do consumo total de energia elétrica em 2018 no Brasil. As residências são responsáveis por metade dessa fatia, 25,4% de toda eletricidade consumida no país (EPE, 2019). O consumo do setor residencial cresce ano a ano: em 2018 foi 1,3% maior que em 2017 e 27% maior quando comparado ao ano de 2010 (EPE, 2019). Em 2019, o crescimento se acentuou, 3,5% em relação ao ano anterior, de acordo com o último Balanço Energético Nacional (EPE, 2020). De acordo com o Relatório Síntese do BEN 2020, a demanda de eletricidade para climatização tem destaque nesse crescimento. No ano de 2020, devido aos efeitos da pandemia de COVID-19, em especial ao aumento do número de pessoas em regime de teletrabalho, o consumo de eletricidade nas residências aumentou ainda mais, devido ao maior uso de equipamentos de ar condicionado, computadores e televisões (CARVALHO, 2020).

O crescimento da economia brasileira, a melhor distribuição de renda e o maior acesso a bens e serviços tende a elevar o consumo de energia elétrica per capita no país, que possui níveis menores quando comparado com os países desenvolvidos. Esse movimento já é realidade: o consumo de eletricidade per capita no setor residencial aumentou 18,8% entre 2010 e 2018 (EPE, 2019). Somado a isso, o crescimento da população e a redução do déficit habitacional existente tendem a elevar a demanda de eletricidade do setor residencial. De acordo com o estudo Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016) o consumo residencial de eletricidade no ano de 2050 será 2,7 vezes maior que o consumo verificado no ano de 2012.

O destino da energia elétrica consumida nas residências também está em processo de transformação, devido a mudanças no padrão construtivo das residências e dos equipamentos que as compõem (EPE, 2016). O uso de aparelhos de ar condicionado para atingir o conforto ambiental está contribuindo cada vez mais com o aumento da demanda global de energia (IEA, 2018). No Brasil, estima-se que a eletricidade consumida por equipamentos de ar-condicionado no setor residencial tenha aumentado cerca de 237% entre 2005 e 2017. No mesmo período, os condicionadores de ar também apresentaram crescimento expressivo em termos de participação no consumo total das residências, saindo da sexta posição, com uma

participação de 7%, tornando-se o quarto maior uso final, com uma participação de 14% (EPE, 2018), conforme pode ser observado na Figura 1, sendo o único uso final representado com uma clara tendência de alta no período analisado.

Figura 1 – Participação no consumo de eletricidade por uso final no setor residencial



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018).

Esse aumento é reflexo do crescimento das vendas de equipamentos novos, o que é evidenciado por um crescimento na posse média desses aparelhos. A previsão é que a posse média atinja 1,37 equipamentos por residência em 2050, índice que era 0,23 em 2013 (EPE, 2016). Somente 18% das residências brasileiras possuíam ar-condicionado em 2014, de acordo com dados da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA, 2015), e a perspectiva era de aumento das vendas nos anos seguintes. O aumento na posse e no consumo de energia de condicionadores de ar pode ser explicado também pelo fato de a maioria das edificações atuais não responderem de forma adequada às condições climáticas do ambiente onde estão inseridas, além das mudanças climáticas que estão sendo observadas, fazendo com que os usuários das edificações busquem o conforto térmico por meio de sistemas de condicionamento artificial (MONTES, 2016).

2.2 DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

O clima é o fator básico gerador de demanda de resfriamento e aquecimento. Além do clima no qual a edificação se insere, a quantidade de energia necessária para resfriar ou aquecer os ambientes também depende das características do equipamento condicionador de ar, do modo como o equipamento é operado pelos usuários e do desempenho térmico da edificação (IEA, 2018). O desempenho térmico das edificações pode ser avaliado através da carga térmica, que representa a quantidade de energia que deverá ser extraída ou fornecida ao ar do ambiente para mantê-lo em condições desejáveis de temperatura e umidade. Em uma edificação condicionada artificialmente, esta energia deverá ser retirada ou fornecida pelo equipamento de ar-condicionado e o consumo de eletricidade do equipamento é proporcional à carga térmica.

A envoltória da edificação tem um impacto significativo na geração de carga térmica, dado que é através da envoltória que ocorrem as trocas de calor entre os ambientes externo e interno (IEA, 2018). O projeto da edificação, as técnicas de construção e os materiais que compõe a envoltória são os fatores mais relevantes no seu desempenho térmico. Uma vez que o desenho da edificação é frequentemente guiado por fatores estéticos e/ou econômicos, a composição de materiais da envoltória assume enorme importância (IEA, 2018). Para se projetar edificações mais eficientes e confortáveis, é essencial considerar o clima do local da edificação, escolhendo corretamente os materiais construtivos e outras estratégias para a envoltória (INVIDIATA et al., 2016).

Materiais tradicionais e pesados, como concreto e tijolos, possuem alta inércia térmica, o que cria uma barreira entre as temperaturas interna e externa e reduz as flutuações térmicas da edificação, mantendo a temperatura por mais tempo e aumentando o conforto térmico (IEA, 2018). Materiais isolantes térmicos são elementos que, por apresentarem uma baixa condutividade térmica quando comparados a outros materiais, restringem o fluxo de calor, reduzindo tanto o ganho de calor durante os períodos quentes quanto a perda de calor nos períodos frios (MAZZAFERRO, 2015). Ambas as características acima podem ser desejáveis na envoltória de uma edificação, desde que façam parte de um projeto adequado ao clima local e ao perfil de utilização.

Mundialmente, o modelo de residência super isolada está no centro de políticas de redução de consumo energético e emissão de gases do efeito estufa associados à demanda por climatização de ambientes, principalmente nos países desenvolvidos de clima frio. Nesse contexto, Fosas et al. (2018) analisaram a influência de diversos parâmetros sobre o risco de sobreaquecimento de residências, incluindo o nível de isolamento da envoltória. Os autores concluem que o isolamento térmico se prova mais benéfico para evitar o sobreaquecimento do que não utilizar isolantes. No entanto, ressaltam que o uso de isolantes térmicos pode aumentar o risco de sobreaquecimento quando associado a equívocos de projeto, como o uso de grandes aberturas envidraçadas sem sombreamento, e baixas taxas de ventilação natural em cidades de clima quente.

Equilibrar as características da envoltória é um desafio em climas quentes e úmidos, frequentes no Brasil. Loureiro (2003) analisou o desempenho térmico de quatro residências localizadas na cidade de Manaus/AM. As quatro edificações possuíam características construtivas diferentes entre si e pertenciam a famílias com diferentes condições de renda. Apenas uma das residências era um apartamento e era a única em cujo dormitório era utilizado ar-condicionado durante a noite. Entre os dormitórios não condicionados, o que apresentou o melhor desempenho térmico durante a noite foi o pertencente à residência mais simples: uma casa localizada em um conjunto habitacional de famílias de baixa renda. Devido a sua envoltória possuir baixa resistência térmica e baixa inércia térmica, a temperatura interna se aproxima da externa no período noturno, quando a residência era ocupada. As outras residências retêm o calor absorvido durante o dia e demoram mais a esfriar a noite. Durante o dia a situação se inverte: a residência mais simples se torna a mais quente, pois sua envoltória não ameniza o ganho de calor; no entanto, os moradores não sentiam esse efeito, pois estavam no trabalho e a casa ficava desocupada.

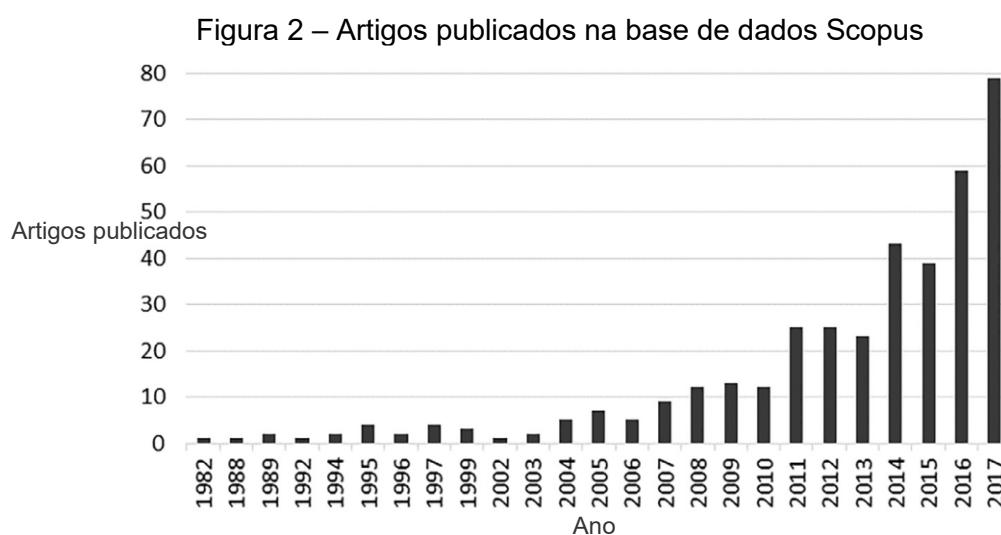
Pacheco (2013) investigou o desempenho térmico da Eko House, projeto brasileiro participante na competição *Solar Decathlon Europe 2012* e projetado para o clima da cidade espanhola de Madri, nos climas de Curitiba/PR e Belém/PA. O autor utilizou simulações no *EnergyPlus* para analisar a residência em duas condições distintas, que representam duas filosofias diferentes para obter conforto térmico: ventilação natural automática, baseada na operação otimizada e automatizada de portas e janelas e condições de conforto térmico de acordo com o modelo adaptativo da ASHRAE 55 2010; climatização artificial, baseada na estanqueidade da edificação

e com a temperatura interna mantida em um intervalo fixo, conforme o modelo estático de conforto térmico. O autor também analisou 6 configurações de envoltória e três condições de sombreamento. Em ambas as condições, os melhores resultados foram obtidos com o uso da envoltória com maior nível de isolamento térmico, desde que combinado com o sombreamento adequado.

Exemplos como esses reforçam a necessidade de estudar a interação dos elementos da envoltória com o clima e o resultado dessas interações no desempenho térmico da edificação, a fim de promover maior conforto térmico para seus ocupantes e reduzir o consumo de eletricidade utilizada para promover este conforto.

2.3 INFLUÊNCIA DO USUÁRIO

Estudos de revisão de literatura (BALVEDI; GHISI; LAMBERTS, 2018; ZHANG et al., 2018) mostram um crescente interesse da comunidade científica internacional pelo impacto do comportamento dos usuários no desempenho das edificações, como pode ser observado na Figura 2, que representa a contagem de artigos científicos na base de dados Scopus sobre o tema, realizada em 2018 por Balvedi, Ghisi e Lamberts (2018).



Fonte: Adaptado de Balvedi, Ghisi e Lamberts (2018).

De acordo com o Anexo 53 do programa *Energy in the Buildings and Communities* da Agência Internacional de Energia (IEA-EBC, na sigla em inglês) (YOSHINO; HONG; NORD, 2017), a utilização de energia em edifícios é influenciada por seis parâmetros: (1) clima, (2) envoltória do edifício, (3) equipamentos e sistemas

de energia, (4) condições ambientais internas, (5) operação e manutenção predial e (6) comportamento dos ocupantes. De acordo com os autores, os últimos três fatores, diretamente relacionados ao comportamento humano, podem apresentar uma influência significativa no consumo, semelhante aos três primeiros fatores.

Pesquisas mostram que o comportamento dos usuários é responsável por diferenças no consumo em residências semelhantes. Ao analisar o consumo de eletricidade para resfriamento em unidades de edifícios multifamiliares em Pequim, China, Jiang et al. (2008) encontraram discrepâncias significativas no consumo entre unidades do mesmo edifício, que compartilhavam a mesma envoltória e tipo de ar-condicionado. Os autores investigaram as diferenças através de simulações energéticas e questionários aplicados aos moradores, concluindo que a variação se deu principalmente pela diferença no modo que os moradores operavam os equipamentos de ar-condicionado.

Pereira e Marinoski (2010) realizaram simulações energéticas para estimar o consumo de energia elétrica na Casa Eficiente da Eletrosul, localizada em Florianópolis, sob a influência de diferentes perfis de usuários e equipamentos. As autoras utilizaram no estudo duas famílias fictícias com o mesmo tamanho, mas diferentes hábitos: “família Sbanja”, que possui hábitos de consumo de eletricidade acima da média nacional; “família Consciente”, com comportamento mais racional e econômico. Também utilizaram dois perfis de equipamentos elétricos: “equipamentos eficientes” e “equipamentos ineficientes”. A “família Sbanja” apresentou consumo 3 vezes maior que a “família Consciente” quando utilizando os “equipamentos ineficientes” e 3,6 vezes maior quando utilizando os “equipamentos eficientes”.

Além de influenciar diretamente no consumo de eletricidade, os usuários também têm papel fundamental no desempenho térmico das edificações, impactando o consumo para aquecimento e resfriamento. A presença dos usuários e suas interações com a iluminação artificial, equipamentos elétricos, equipamentos de ventilação e condicionamento, janelas e dispositivos de sombreamento têm efeito direto sobre a carga térmica (FABI et al., 2012; SORGATO, 2015).

De Meester et al. (2013) avaliaram o impacto dos usuários na demanda para aquecimento de uma residência unifamiliar no clima de Bruxelas, Bélgica. Através de simulações, os autores variaram o tamanho da família, o padrão de horários de operação e temperatura do termostato e a área ocupada, estabelecendo onze padrões de comportamento, além de variar o nível de isolamento da envoltória em sete níveis.

Os autores concluem que quanto maior o nível de isolamento, maior é o impacto proporcional do comportamento. Entretanto, quanto menor o nível de isolamento, maior é o impacto absoluto e o potencial de economia.

Sorgato (2015) investigou a influência do usuário no desempenho térmico de edificações residenciais por meio de simulações termo energéticas no clima de Florianópolis. O autor conclui que a interação do usuário com a ventilação natural e os dispositivos de sombreamento das aberturas é importante para reduzir o consumo de energia para condicionamento artificial, sendo o impacto do usuário mais relevante em edificações multifamiliares e em edificações com envoltória de alto desempenho.

O conceito de conforto térmico se refere ao “estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda” (LAMBERTS et al., 2016). Quando em desconforto térmico, os usuários tomam algumas medidas para atingir o conforto, como mudar as vestimentas, abrir as janelas, ligar ventiladores ou o condicionador de ar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para Dubrul (1988 apud SORGATO, 2015), a busca pelo conforto térmico é a motivação predominante para os usuários interagirem com os dispositivos de ventilação das edificações.

Zhang et al. (2018) aponta seis classes de fatores que influenciam o comportamento dos usuários com relação à abertura de janelas: tipo da edificação, fatores fisiológicos, fatores psicológicos, fatores sociais, fatores contextuais e fatores ambientais. A maioria dos estudos conduzidos para investigar a influência do comportamento dos usuários no desempenho das edificações relaciona as ações de controle dos ocupantes com variáveis ambientais medidas no interior ou exterior da edificação, como temperatura, umidade e velocidade do vento (SORGATO, 2015). Fatores psicológicos raramente são considerados, devido à dificuldade para quantificar e monitorar os mesmos (BALVEDI; GHISI; LAMBERTS, 2018).

De acordo com Peng et al. (2012), os dois tipos de fatores que podem ser usados para descrever quantitativamente as ações humanas nas edificações são fatores temporais e fatores ambientais. Os autores classificam o comportamento dos usuários em três categorias: ações relacionadas ao ambiente; ações relacionadas ao tempo; ações aleatórias. Os autores monitoraram um apartamento de uma família em Pequim, China, e desenvolveram um modelo quantitativo do comportamento da família, baseado na divisão acima. Esse modelo foi extrapolado para criar três comportamentos, chamados de “estilos de vida”. Por meio de simulações, os autores estimaram o consumo energético anual de cada estilo de vida, encontrando diferenças

relevantes. O consumo para climatização, por exemplo, do caso com estilo de vida mais exigente quanto à temperatura interna foi 20 vezes maior que o consumo do estilo de vida menos exigente.

Stazi, Naspi e D'orazio (2017) revisaram cerca de 150 artigos que investigam o comportamento dos usuários no interior de edifícios, com relação à interação com janelas e portas, iluminação artificial, persianas e cortinas, equipamentos de ar condicionado, termostatos e ventiladores. Os autores buscaram identificar os principais fatores motivadores das ações dos usuários, analisando-os de acordo com a divisão proposta por Peng et al. (2012). Stazi, Naspi e D'orazio (2017) concluem que as interações com janelas, portas, ventiladores e dispositivos de ar condicionado são motivadas pelas condições ambientais, principalmente as temperaturas interna e externa, enquanto que a interação com a iluminação artificial é predominantemente motivada por eventos temporais: entrada e saída dos ambientes.

Apesar do crescente número de estudos sobre o tema, Zhang et al. (2018) citam a existência de lacunas na pesquisa sobre a interação do comportamento do usuário e o desempenho energético das edificações, sendo uma delas a avaliação do papel do comportamento do usuário na efetividade de políticas de eficiência energética em edificações.

2.4 NORMAS E REGULAMENTOS

No final da década de 70 surgiram nos países desenvolvidos as primeiras regulamentações visando a eficiência energética em edificações (LIU; MEYER; HOGAN, 2010). Desde então, várias iniciativas têm sido conduzidas para reduzir o consumo de energia neste setor, incluindo o estabelecimento de padrões mínimos de desempenho para edificações e de sistemas de certificação voluntária (IEA, 2012).

No Brasil, a primeira regulamentação sobre o tema veio com a Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001), conhecida como Lei da Eficiência Energética, que criou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e que define que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”. Essa lei veio como resposta a uma grave crise de abastecimento ocorrida no ano de 2001, que forçou a população a racionar eletricidade, sob o risco da ocorrência de apagões forçados (PAMPLONA; TEREZA, 2006). Desde então, foram definidos normas e regulamentos

que buscam melhorar o desempenho térmico e a eficiência energética nas edificações residenciais brasileiras.

A NBR 15.220/2005, intitulada “Desempenho térmico de edificações”, foi a primeira normativa brasileira sobre o tema e representa um enorme avanço para o campo. A norma padroniza definições, símbolos e unidades em sua parte 1, métodos de cálculo de propriedades térmicas em sua parte 2, e métodos de medição de propriedades térmicas em suas partes 4 e 5. Além disso, a norma apresenta em sua parte 3 um zoneamento bioclimático para o Brasil e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, de forma a adequá-las aos diferentes climas brasileiros (ABNT, 2005).

Lançado em 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012) permite avaliar e classificar o nível de eficiência energética das edificações residenciais uni e multifamiliares. A avaliação da edificação através do RTQ-R permite a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que tem caráter voluntário de adesão.

A Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) (CB3E, 2020), texto que está em desenvolvimento, com a última versão publicada em novembro de 2020, substitui o RTQ-R no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem. A INI-R apresenta três métodos para avaliar a edificação: método prescritivo, método simplificado e método de simulação. O método prescritivo se aplica para residências unifamiliares de até 60 m² de área útil e baseia-se no cumprimento de cinco requisitos referentes à envoltória e ao aquecimento de água. No método simplificado, a avaliação da envoltória é feita por meio de um metamodelo baseado em redes neurais artificiais, que estima a carga térmica a partir de características geométricas e propriedades térmicas da edificação. Os limites de aplicabilidade do método abrangem a maioria das soluções arquitetônicas utilizadas em edificações residenciais brasileiras. Para avaliar as envoltórias de edificações que não se encaixem nos limites dos outros métodos, a INI-R traz um método de simulação, em que a unidade habitacional é modelada por inteiro. Nesse método, a habitação é simulada com o uso de ventilação híbrida, ou seja, alternando entre o uso de ventilação natural e condicionamento artificial. Os usuários da edificação são considerados através de comportamentos estáticos, como padrões de ocupação dos ambientes, de taxas metabólicas dos ocupantes e de uso

da iluminação artificial, bem como comportamentos de controle da ventilação natural e do condicionamento artificial através de critérios de temperatura e ocupação. Esses padrões e comportamentos buscam representar o comportamento médio dos usuários de uma residência no Brasil.

Publicada pela primeira vez em 2008 e de adoção obrigatória desde 2013, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece níveis de desempenho mínimos para as edificações habitacionais em vários aspectos da edificação, incluindo o desempenho térmico. A norma permite classificar o desempenho da edificação em três níveis: 1. Mínimo, 2. Intermediário e 3. Superior; sendo que o nível Mínimo é de caráter obrigatório. Para avaliação do desempenho térmico, a norma possui dois métodos: um método simplificado, que estabelece requisitos de características térmicas separadamente para coberturas e paredes; e um método de simulação, que deve ser usado quando a edificação em avaliação não atender algum dos critérios do método simplificado. O método de simulação avalia a edificação completa, simulada para dois dias críticos, os dias típicos de projeto de verão e de inverno.

Conforme apontado por Sorgato et al. (2012), o método de simulação da NBR 15.575 possui várias falhas, entre as quais os autores destacam duas: não avaliar a condição de uso real da edificação em análise, por não considerar cargas internas nem o uso de estratégias bioclimáticas, como a ventilação natural; não avaliar a influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico da edificação, pois utiliza somente os dias de projeto, que apresentam temperaturas extremas e não representam as condições climáticas normais de temperatura.

Como forma de corrigir o método atual da NBR 15.575, foi desenvolvida uma proposta de um novo método de avaliação do desempenho térmico, tanto para o método simplificado quanto para o método de simulação (LABEEE, 2020), que representa um grande avanço em relação ao atual método de simulação da norma. O texto da proposta, publicado em junho de 2020, encontra-se em processo de consulta pública. Na proposta, a edificação deve ser simulada em duas condições: ventilada naturalmente e condicionada artificialmente. O comportamento dos usuários com relação às variáveis ambientais e ao conforto térmico é representado por critérios de controle das esquadrias, quando naturalmente ventilada, e do ar condicionado, quando condicionada. O comportamento dos usuários com relação ao tempo e suas interações com a edificação são representados por padrões de ocupação dos ambientes, de uso da iluminação artificial e de uso de equipamentos elétricos, além

de valores padrão de taxas metabólicas dos ocupantes. Os padrões são os mesmos para todos os dias do ano, incluindo finais de semana. Nas simulações com o uso da ventilação natural, as janelas dos ambientes de permanência prolongada (APP) são abertas quando o ambiente está ocupado e dois critérios de temperatura são verdadeiros: a temperatura interna é superior a 19 °C e a temperatura interna é maior que a temperatura externa. Quando alguma dessas condições não é verdadeira, as janelas permanecem fechadas. Nos modelos com condicionamento artificial, o sistema deve ser modelado como um sistema ideal, que opere sem perdas, e deve possuir *setpoint* de 23 °C para refrigeração e 21 °C para aquecimento, com acionamento condicionado a ocupação do APP.

Soares, Adams e Ullman (2016) estudaram o desempenho térmico de uma residência de interesse social no clima de Santa Maria/RS, através do método de simulação da NBR 15.575/2013. As autoras conceberam uma arquitetura térrea com área de 67,84 m² de formato não convencional, com grande área de superfície exposta ao ambiente externo. A envoltória escolhida apresenta propriedades térmicas que respeitam os limites indicados pela NBR 15.220/2005 e pelo método simplificado da NBR 15.575/2013 para a zona bioclimática 2, onde a edificação se insere. Os dois dormitórios da residência atingiram o nível mínimo de desempenho, entretanto a sala de estar não atingiu o desempenho mínimo para o verão. Foram aplicadas as duas alterações apontadas pela norma para esse caso: aumentar a taxa de ventilação de 1 para 5 renovações por hora; inserir dispositivos de sombreamento nas esquadrias bloqueando 50% da radiação solar. O aumento na taxa de ventilação não apresentou resultados satisfatórios, enquanto que o sombreamento das esquadrias fez com que a sala atingisse o nível mínimo e um dos quartos passasse ao nível intermediário. As autoras questionam a eficácia do método simplificado, dado a divergência entre os métodos, e apontam que a análise do método de simulação é muito superficial, por considerar somente os dias de projeto, sugerindo novos estudos sobre a norma.

Silva e Ghisi (2014) analisaram comparativamente os resultados do desempenho térmico de uma residência unifamiliar por meio dos métodos de simulação da NBR 15.575 e do RTQ-R. O modelo adotado é uma habitação de interesse social fictícia de 50,2 m², localizada no clima de Florianópolis/SC. Os autores usaram a metodologia do hipercubo latino para variar as propriedades térmicas da envoltória, gerando 500 combinações, e criaram três cenários de possíveis concordâncias entre as escalas dos dois métodos. Além disso, analisaram a

sensibilidade dos parâmetros de saída de ambos os métodos com relação as características da envoltória, que são os parâmetros de entrada. Os autores descobriram que há pouca diferença entre os parâmetros mais influentes nos dois métodos, no entanto, na maioria absoluta dos casos, há uma discordância entre as classificações. Silva e Ghisi (2014) concluem que as diferenças se dão provavelmente pelas tabelas de classificação dos métodos, bem como pelo método limitado presente na NBR 15.575.

As normas e regulamentos de eficiência energética em edificações são essenciais para superar as barreiras de mercado existentes e aproveitar o potencial de redução de consumo energético do setor (LIU; MEYER; HOGAN, 2010). Conforme apresentado neste capítulo, o Brasil possui textos com essa finalidade, porém que ainda carecem de pesquisas para aperfeiçoá-los.

2.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

No mesmo contexto de criação das primeiras regulamentações sobre a eficiência energética em edificações, surgiram os primeiros programas computacionais de simulação térmica e energética voltados para edificações, que permitiram avaliar o desempenho energético e desenvolver edificações mais eficientes. Desde então, centenas de programas foram desenvolvidos com essa finalidade (BEST, 2020). Os programas de simulação energética atuais permitem avaliar o desempenho de edificações frente ao clima em diferentes alternativas de projeto, possibilitando estimar o consumo energético e o desempenho térmico antes da construção. É possível também variar diversos aspectos da edificação, tais como características arquitetônicas, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar, entre outros aspectos, analisando o impacto de cada um no desempenho final, tornando os programas de simulação em ferramentas valiosas para auxiliar a tomada de decisão na fase de projeto da edificação (MENDES et al., 2005; SORGATO, 2015).

Em 1997 foi lançado o programa *EnergyPlus*, software de modelagem energética de edifícios inteiros, financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e desenvolvido em parceria com diversos centros de pesquisa de universidades e empresas de software americanas. O *EnergyPlus* é uma ferramenta de código aberto, que incorpora o estado da arte em modelagem energética de

edificações, incluindo algoritmos detalhados de transferência de ar, umidade e calor, incluindo transferência de calor por radiação e convecção (DOE, 2020). O programa é recomendado pela NBR 15.575/2013 para a avaliação do desempenho térmico das edificações residenciais por simulação computacional, pois cumpre todas as exigências da norma, inclusive sendo validado pelo método da ASHRAE *Standard* 140 (ABNT, 2013).

O *EnergyPlus* é capaz de simular edificações condicionadas artificialmente e naturalmente ventiladas. O programa inclui um grande conjunto de modelos de sistemas de condicionamento de ar previamente configurados e suporta diversas configurações dentro de cada modelo. Para simular a ventilação natural, o programa adota uma abordagem de rede de fluxo de ar (*Airflow Network*), que consiste em um conjunto de nós de pressão conectados por elementos de fluxo de ar, como portas e janelas (GU, 2007). Com rotinas de cálculo derivadas do programa AIRNET, desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) (WALTON, 1989 apud PEREIRA et al., 2013), o modelo de rede fornece ao *EnergyPlus* a capacidade de simular fluxos de ar entre zonas térmicas, sejam elas movidas pelo vento ou sistemas de distribuição forçada de ar (GU, 2007). A principal desvantagem desse modelo é que ele não calcula a movimentação de ar dentro de uma mesma zona térmica. No entanto, é apropriado para programas de simulação de edifícios, sendo validado por estudos do *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL) e do *Florida Solar Energy Center* (FSEC), que compararam o resultado de simulações com uma série de experimentos de laboratório (GU, 2007).

Invidiata et al. (2016) utilizaram o *EnergyPlus* como ferramenta de simulação para estudar o desempenho térmico de um modelo de habitação unifamiliar de interesse social, por meio do método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Neste método, a edificação é simulada em duas condições separadamente: edificação naturalmente ventilada e edificação condicionada artificialmente. Os autores variaram entre 13 alternativas de envoltória para o clima de Curitiba e 17 alternativas de envoltória para os climas de Florianópolis e Salvador, sendo possível escolher a envoltória com melhor classificação para cada clima estudado.

Barbosa (2017) investigou a influência da orientação solar e do comportamento dos usuários no desempenho térmico de uma residência unifamiliar em Goiânia/GO por meio de simulações no *EnergyPlus*. A autora monitorou as

condições ambientais da casa para calibrar o modelo e aplicou questionários na vizinhança para elaborar os padrões de uso. A autora conclui que os casos com orientação norte obtiveram o melhor desempenho térmico, com uma redução de até 11% nas horas ocupadas em desconforto térmico. No entanto, a autora destaca que o comportamento do usuário também influencia os resultados, sendo capaz de aumentar ou diminuir a influência da orientação no desempenho térmico da edificação.

Eli (2019) utilizou o *EnergyPlus* para investigar a variação no desempenho térmico de uma residência com diferentes padrões de uso de ocupantes e com diferentes configurações de envoltórias, nos climas de três cidades brasileiras, Rio de Janeiro/RJ, Santa Maria/RS e São Paulo/SP. A autora conclui que a mudança no padrão de uso influencia diretamente no desempenho térmico da edificação, com redução de até 85% na carga térmica de refrigeração. A autora destaca também que as cidades com clima mais ameno apresentaram as maiores reduções percentuais na carga térmica com a mudança no padrão de uso e que as envoltórias com isolamento térmico apresentaram o melhor desempenho nos três climas estudados.

Sorgato, Melo e Lamberts (2016) utilizaram o *Energy Management System*, recurso de controle avançado presente no *EnergyPlus*, para simular a operação integrada de ventilação natural e condicionamento de ar em uma residência unifamiliar no clima de Florianópolis. Os autores criaram três tipos de comportamento de usuário em relação a ventilação natural: ventilação diurna, ventilação noturna e ventilação automatizada. Além disso, variaram entre quatro tipos de envoltória da edificação: Alta transmitância térmica e capacidade térmica média; Baixa transmitância térmica e capacidade térmica média; Alta transmitância térmica e baixa capacidade térmica; Baixa transmitância térmica e baixa capacidade térmica. A combinação de ventilação automatizada e envoltória com baixa transmitância térmica e capacidade térmica média apresentou o maior número de horas em conforto térmico quando naturalmente ventilado para todos os ambientes de permanência prolongada, bem como o menor consumo de eletricidade para condicionamento de ar. Os autores concluem que edificações residenciais com capacidade térmica média têm maior potencial para proporcionar conforto térmico aos usuários, desde que utilizado um controle adequado da ventilação natural.

2.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O consumo de energia elétrica do setor residencial representa grande fatia do consumo do país, e está em uma tendência de alta que deve continuar nos próximos anos, entre outros motivos, por conta da adoção cada vez maior de equipamentos de ar condicionado nas residências brasileiras. Além do aumento do poder aquisitivo da população, isso se deve ao fato da maioria das habitações não estarem adequadas às condições climáticas do local onde estão inseridas.

A envoltória da edificação tem impacto significativo no desempenho térmico e pode contribuir para melhorar o conforto térmico dos usuários, desde que seja adequada para o clima em que a edificação se insere. Os programas computacionais de simulações termo energéticas são ferramentas valiosas para projetar edificações mais eficientes, sendo utilizados com sucesso por pesquisadores para investigar diversos aspectos do desempenho térmico, como a influência da envoltória.

O Brasil, seguindo o exemplo dos países desenvolvidos, possui normas e regulamentos que buscam melhorar o desempenho térmico das edificações, contribuindo dessa forma para reduzir o consumo energético. No entanto, estudos mostram que a NBR 15.575, a norma de desempenho brasileira, no que trata do desempenho térmico ainda carece de estudos para seu aperfeiçoamento. A referida norma encontra-se em revisão, havendo uma proposta de novo método de avaliação do desempenho térmico que visa aprimorar o método antigo, entre outros pontos, incluindo a presença de ocupantes e a interação destes com a edificação.

Estudos recentes evidenciam a importância que o comportamento dos ocupantes tem no desempenho térmico e no consumo energético das edificações, provando ser essencial considerá-los nas simulações termo energéticas. Apesar do número crescente de estudos sobre o tema, há uma lacuna sobre o papel do comportamento dos usuários na efetividade de políticas de eficiência energética em edificações.

Os estudos apresentados nesta revisão bibliográfica ressaltam a importância de estudar a influência do comportamento dos usuários no desempenho térmico das edificações, especialmente sob a ótica das normativas de desempenho, de forma a entender o impacto da variação do comportamento nos resultados das avaliações.

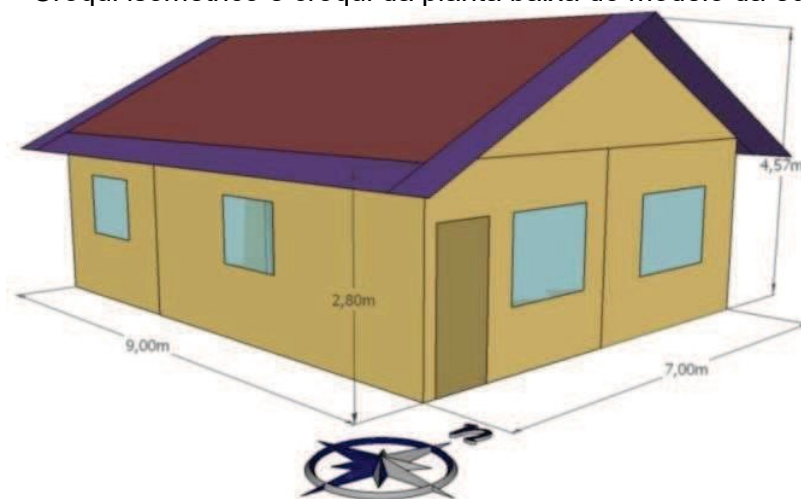
3 MÉTODO

Este capítulo apresenta o método utilizado no desenvolvimento desta pesquisa. Para atender os objetivos do trabalho, foram realizadas cinco etapas. A primeira é a definição da geometria do modelo; a segunda etapa consiste na definição de diferentes envoltórias a serem analisadas; a terceira seção estabelece o comportamento dos usuários, incluindo as rotinas que são objeto de estudo deste trabalho; na quarta etapa, são definidos os demais parâmetros necessários para a elaboração das simulações térmicas, incluindo a ventilação natural e condicionamento artificial; por fim, a quinta etapa consiste na definição dos indicadores utilizados para analisar os resultados.

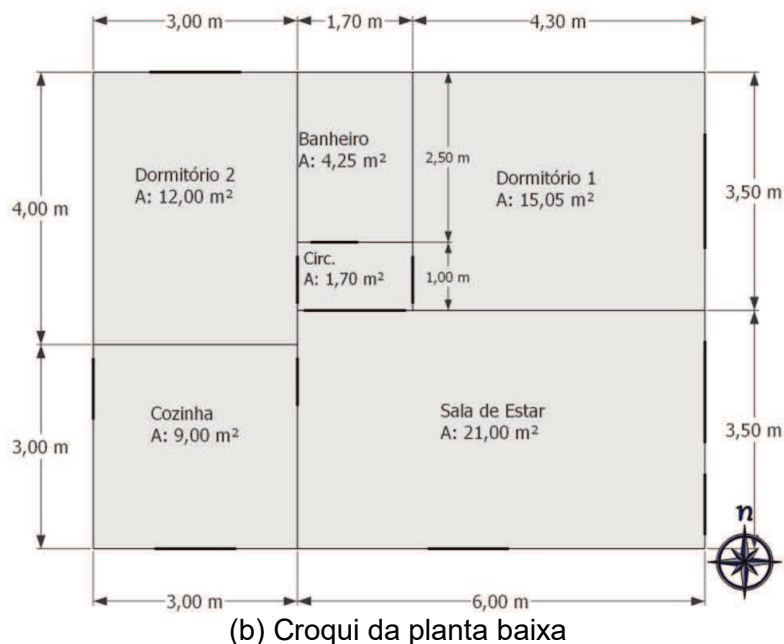
3.1 MODELO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

Para a elaboração das simulações térmicas, adotou-se o modelo da edificação 1 proposto por Sorgato (2015), que representa uma edificação residencial unifamiliar térrea. Este modelo foi escolhido pela sua representatividade, dado que no Brasil cerca de 85,6% das habitações são residências unifamiliares (IBGE, 2019). A Figura 3 apresenta os croquis da edificação.

Figura 3 – Croqui isométrico e croqui da planta baixa do modelo da edificação 1



(a) Croqui isométrico



(b) Croqui da planta baixa

Fonte: Sorgato (2015).

A residência apresenta uma área de 63 m², distribuída entre dois dormitórios, um banheiro, sala, cozinha e área de circulação. O pé-direito é de 2,8 m e o beiral é de 0,60 m. O modelo possui o piso em contato com o solo e a fachada dos quartos virada para o Norte. Conforme a proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), são considerados ambientes de permanência prolongada (APPs) a sala de estar e os dormitórios.

As áreas de janela dos APPs foram definidas conforme as características de referência da proposta de novo método (LABEEE, 2020), possuindo área de elementos transparentes de 17% da área de piso do ambiente, sendo a área de abertura para ventilação natural de 45% da área de janela, ou 7,65% da área de piso. Os ambientes de permanência transitória – a cozinha e o banheiro – possuem área de janela de 10% da área de piso do ambiente, conforme Sorgato (2015). A circulação foi modelada como parte da sala de estar, dada a ausência de separação física entre os ambientes, porém sua área de piso não foi considerada para o cálculo da área de janela.

As demais características necessárias para a simulação do modelo de acordo com a metodologia da proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020) – propriedades térmicas da envoltória, ocupação dos ambientes, iluminação artificial, cargas internas, ventilação natural, condicionamento artificial – são especificadas nos próximos itens.

3.2 CARACTERÍSTICAS DAS ENVOLTÓRIAS

Para permitir a avaliação do desempenho de diferentes envoltórias, foram modelados três tipos de paredes e quatro tipos de coberturas, que foram combinados em cinco modelos de envoltória, com características construtivas e propriedades térmicas distintas. Estes modelos buscam representar as técnicas construtivas mais comuns no Brasil, bem como alternativas baseadas no uso de isolamento térmico.

As características do piso, das aberturas e de absorvência solar das superfícies foram consideradas as mesmas para todos os modelos, seguindo as características do Modelo de Referência da proposta de novo método (LABEEE, 2020). O piso foi modelado como sendo composto por uma camada de concreto de 10 cm de espessura, com condutividade térmica de 1,75 W/m.K. As janelas foram modeladas com vidro simples de fator solar 0,87 e transmitância térmica de 5,7 W/m²K. Os componentes opacos das paredes e das coberturas foram modelados com absorvência solar de 0,5 e 0,6, respectivamente. As portas, tanto internas como externas, não tem sua composição especificadas no método e foram modeladas como sendo compostas por uma lâmina de 3 cm de madeira.

Os valores de densidade, condutividade térmica e calor específico, quando não especificados pela proposta de novo método (LABEEE, 2020), foram adotados de acordo com a Tabela B.3 da NBR 15.220 parte 2 (ABNT, 2005). Em todas as envoltórias, a câmara de ar do ático foi modelada como uma câmara de ar horizontal com largura muito maior que a espessura, adotando-se uma resistência térmica equivalente de 0,21 m²K/W, conforme especificado no texto da proposta de novo método de simulação (LABEEE, 2020) e na tabela B.1 da NBR 15.220 parte 2 (ABNT, 2005).

A Envoltória A representa a envoltória do Modelo de Referência da proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), que por sua vez representa uma técnica construtiva muito difundida nos últimos anos no âmbito dos programas habitacionais: paredes de concreto moldadas in loco. A principal característica dessa envoltória é a alta capacidade térmica, proporcionada pelo concreto maciço. Na Envoltória A, as paredes são superfícies de concreto maciço de 10 cm de espessura, enquanto a cobertura é composta por telhas de fibrocimento de 8 mm de espessura, câmara de ar e laje de concreto maciço de 10 cm de espessura.

A Envoltória B é quase idêntica à Envoltória A, porém com a substituição da telha de fibrocimento por uma telha sanduíche, que adiciona isolamento térmico ao sistema da cobertura. A telha sanduíche é composta de duas folhas de metal de 1 mm de espessura, preenchidas por uma camada de poliuretano de 4 cm.

A Envoltória C apresenta as mesmas paredes que as envoltórias A e B, porém com uma cobertura leve, composta de telha sanduíche, idêntica à da Envoltória B, combinada com um forro de gesso acartonado de 12,5 mm de espessura. Essa cobertura apresenta isolamento térmico semelhante à cobertura da Envoltória B, porém não conta com a laje de concreto para adicionar inércia térmica.

A Envoltória D representa uma residência construída em *Light Steel Frame*, sistema muito utilizado nos países desenvolvidos de clima frio, porém ainda pouco comum no Brasil. As paredes externas são compostas por uma placa de fibrocimento de 1 cm de espessura, lã de rocha de 7,5 cm de espessura e gesso acartonado de 12,5 mm de espessura. A cobertura é idêntica à da envoltória C, sendo composta por telhas sanduíche, câmara de ar e forro de gesso acartonado de 12,5 mm de espessura. Nesse modelo de envoltória, as paredes internas são diferentes das paredes externas, possuindo gesso acartonado em ambas as faces. Essa envoltória possui baixa inércia térmica, porém apresenta alta resistência térmica, conferida pelos materiais isolantes em sua composição, o poliuretano e a lã de rocha.

A Envoltória E representa a composição apontada por Triana, Lamberts e Sassi (2015) como sendo a envoltória mais comum em projetos de habitação social do programa Minha Casa Minha Vida para a tipologia estudada neste trabalho, a residência unifamiliar térrea. A envoltória apresenta paredes de alvenaria de tijolo cerâmico com reboco interno e externo, e cobertura composta de telhas de barro, câmara de ar e forro de PVC de 1 cm de espessura. As paredes de alvenaria foram modeladas de forma equivalente, conforme modelo desenvolvido por Weber et al. (2017) para permitir a aplicação no programa EnergyPlus.

A Tabela 1 sintetiza as informações sobre as envoltórias estudadas.

Tabela 1 – Composição e propriedades térmicas das envoltórias

Envoltória	Paredes externas		Cobertura	
	Composição	Propriedades térmicas	Composição	Propriedades térmicas
A	Concreto	U = 4,40 W/m ² K CT= 240 kJ/m ² K	Telha de fibrocimento e laje de concreto	U = 2,06 W/m ² K CT= 233 kJ/m ² K
B	Concreto	U = 4,40 W/m ² K CT= 240 kJ/m ² K	Telha sanduíche e laje de concreto	U = 0,55 W/m ² K CT= 230 kJ/m ² K
C	Concreto	U = 4,40 W/m ² K CT= 240 kJ/m ² K	Telha sanduíche e forro de gesso	U = 0,56 W/m ² K CT = 14 kJ/m ² K
D	Fibrocimento, lã de rocha e gesso acartonado	U = 0,53 W/m ² K CT = 32 kJ/m ² K	Telha sanduíche e forro de gesso	U = 0,56 W/m ² K CT = 14 kJ/m ² K
E	Alvenaria com reboco	U = 2,43 W/m ² K CT= 132 kJ/m ² K	Telha de barro e forro de PVC	U = 1,75 W/m ² K CT = 21 kJ/m ² K

Fonte: Autor.

3.3 COMPORTAMENTO DOS USUÁRIOS

O comportamento dos usuários refere-se às interações dos ocupantes com a edificação e seus sistemas, podendo ser descrito através da ocupação e de ações de controle de dispositivos e sistemas, tais como iluminação, janelas e climatização artificial (BALVEDI; GHISI; LAMBERTS, 2018). Conforme explicitado no item 2.3 deste trabalho, a interação dos usuários com a edificação tem impacto direto sobre o seu desempenho térmico e consumo energético.

Neste trabalho, chamou-se de “rotina” a parte do comportamento dos usuários relacionada ao tempo, ou seja, aos horários, que na proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020) compreende a ocupação dos ambientes, as taxas metabólicas dos ocupantes, o uso da iluminação artificial e o uso de equipamentos elétricos. Para avaliar o impacto da variação dessa componente do comportamento humano no desempenho térmico, foram estabelecidas três rotinas: Noturno, NBR e *Home office*.

Na metodologia apresentada na proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), a edificação é simulada em duas condições: com o uso da ventilação natural e sem o uso da ventilação natural. A proposta estabelece um comportamento padrão para ambas as condições, que são condições de controle dos sistemas de ventilação natural e de condicionamento de ar e representam a parte do

comportamento dos ocupantes relacionadas às condições ambientais. Nas simulações com o uso da ventilação natural, não há condicionamento artificial e as janelas são abertas quando três critérios são verdadeiros: o APP está ocupado; a temperatura de bulbo seco interna do APP é superior a 19 °C; a temperatura de bulbo seco interna é maior que a temperatura de bulbo seco externa. Quando alguma dessas condições não é verdadeira, as janelas permanecem fechadas. Nas simulações sem o uso da ventilação natural, há condicionamento artificial e as portas e janelas permanecem fechadas. O sistema de condicionamento artificial é ligado quando o APP estiver ocupado e a temperatura ambiente estiver acima da temperatura de *setpoint* de resfriamento, 23 °C, ou abaixo do *setpoint* para aquecimento, 21 °C.

3.3.1 Rotinas

Em todas as rotinas, considerou-se que a residência é habitada por uma família de 4 pessoas, sendo 2 por dormitório, conforme a proposta de novo método (LABEEE, 2020). A diferença entre as rotinas é a ocupação e uso da iluminação e equipamentos na sala de estar. Os horários de ocupação e uso da iluminação dos dormitórios são iguais em todas as rotinas. Não foi considerada ocupação no banheiro e na cozinha, uma vez que esses ambientes são de permanência transitória e foram considerados como não condicionados, conforme a proposta de novo método de simulação (LABEEE, 2020).

A intensidade das cargas térmicas internas de pessoas e de iluminação são iguais para todos os casos, sendo fixadas de acordo com a proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), variando apenas os horários de utilização de acordo com as rotinas. Foram consideradas cargas internas de pessoas e iluminação na sala e nos dormitórios. A carga térmica proveniente do sistema de iluminação foi modelada como uma densidade de potência de 5 W/m² de área de piso, com fração radiante de 0,32 e fração visível de 0,23. Para a carga térmica de pessoas, considera-se níveis de atividade metabólica diferentes, de acordo com a atividade predominante no ambiente. A Tabela 2 mostra as diferentes atividades e respectivas taxas metabólicas, bem como o calor produzido por pessoa, considerando que cada ocupante possui em média 1,8 m² de área de pele.

Tabela 2 – Carga térmica de ocupação por atividade

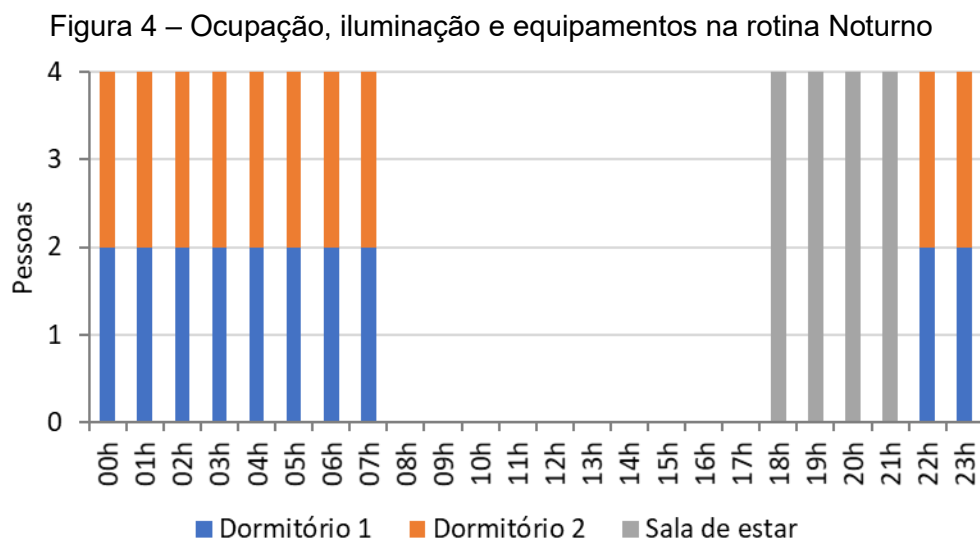
Ambiente	Atividade	Taxa metabólica (W/m ²)	Calor produzido (W/pessoa)
Sala	Sentado ou assistindo televisão	60	108
Dormitório	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: Adaptado de LabEEE (2020).

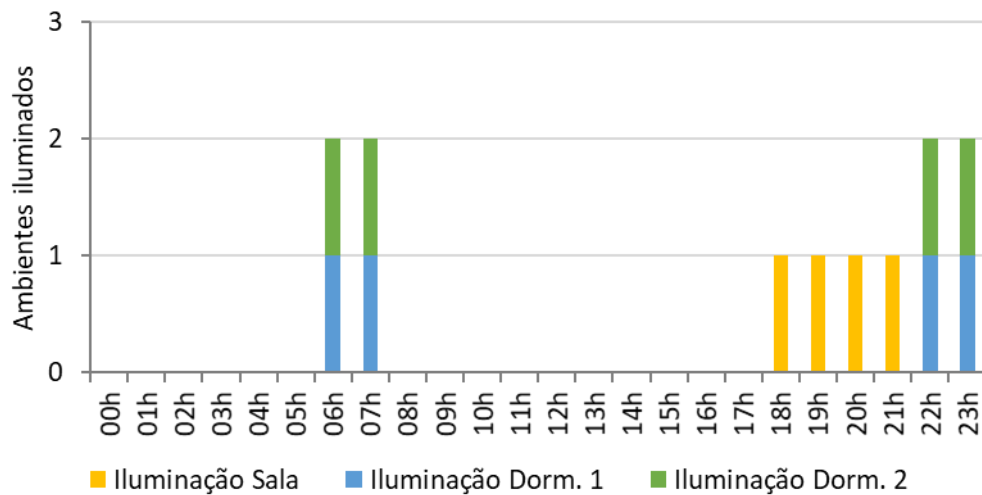
Em todos os cenários, foram consideradas cargas internas de equipamentos somente na sala e fração radiante de 0,3 para os equipamentos elétricos.

3.3.1.1 Noturno

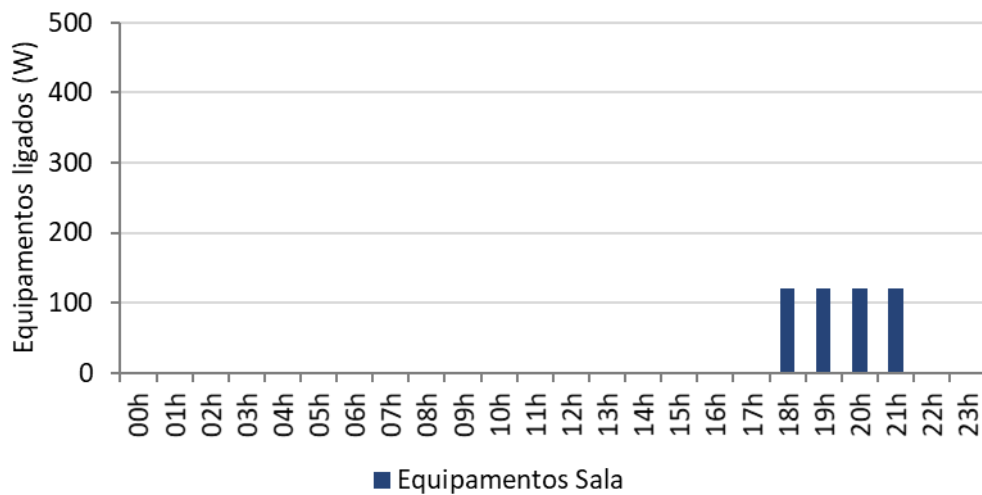
Na rotina Noturno, os habitantes passam o dia fora de casa realizando suas atividades e a edificação só é ocupada no período noturno, entre 18:00 e 7:59. Os dormitórios são ocupados entre 22:00 e 7:59 por duas pessoas cada, enquanto a sala é ocupada entre 18:00 e 21:59 por 4 pessoas, como pode ser observado na Figura 5a. A sala é iluminada em todo o período de ocupação, enquanto os dormitórios são iluminados nas duas primeiras e nas duas últimas horas de ocupação, entre 22:00 e 23:59 e entre 6:00 e 7:59, respectivamente. O funcionamento da iluminação é mostrado na Figura 5b. Durante as horas de ocupação da sala, há uma carga de equipamentos elétricos de 120 W, conforme ilustrado na Figura 5c.



(a) Ocupação dos ambientes na rotina Noturno



(b) Uso da iluminação na rotina Noturno



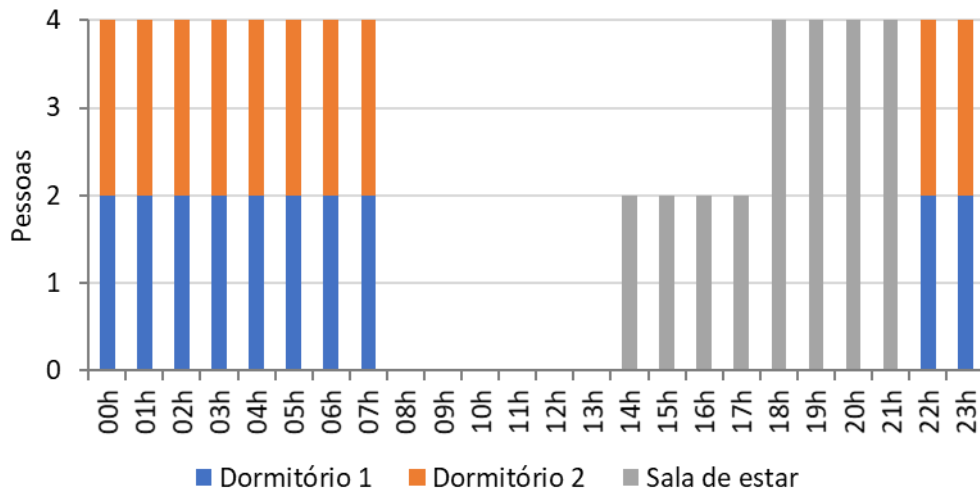
(c) Uso dos equipamentos elétricos na rotina Noturno

Fonte: Autor.

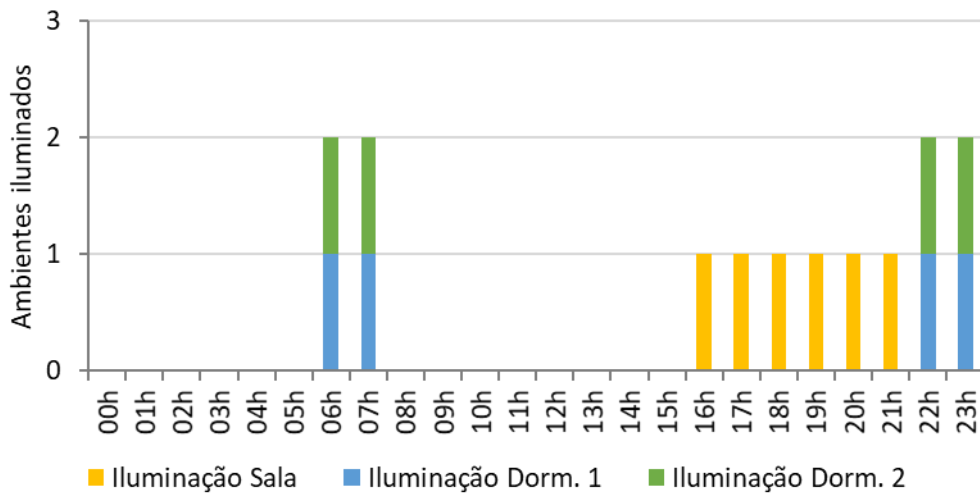
3.3.1.2 NBR

A rotina NBR é a rotina apresentada na proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), sendo intermediária às outras duas rotinas propostas neste trabalho. A sala é ocupada por duas pessoas entre 14:00 e 17:59 e por 4 pessoas das 18:00 às 21:59, conforme Figura 6a. A iluminação artificial da sala é ligada às 16:00 e desligada ao final da ocupação do ambiente, conforme Figura 6b, enquanto os equipamentos elétricos permanecem ligados durante todo o período de ocupação, conforme a Figura 6c.

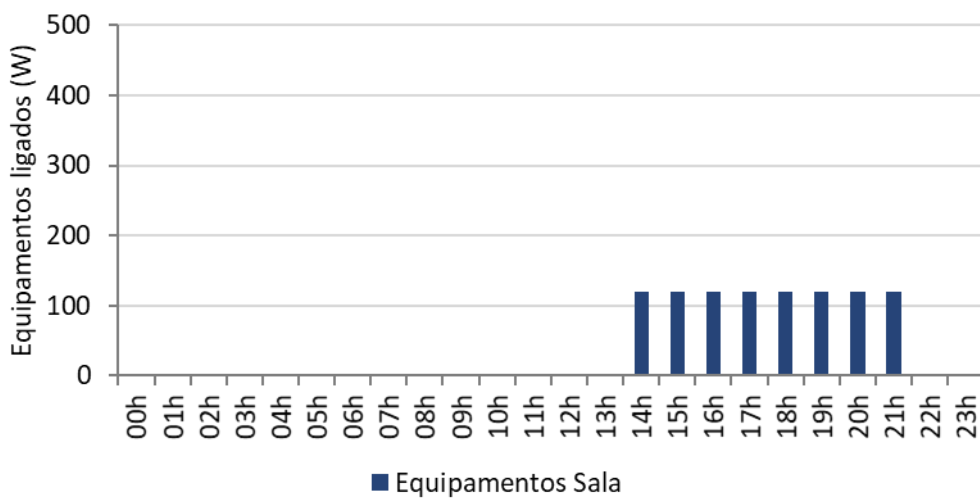
Figura 5 – Ocupação, iluminação e equipamentos na rotina NBR



(a) Ocupação dos ambientes na rotina NBR



(b) Uso da iluminação na rotina NBR



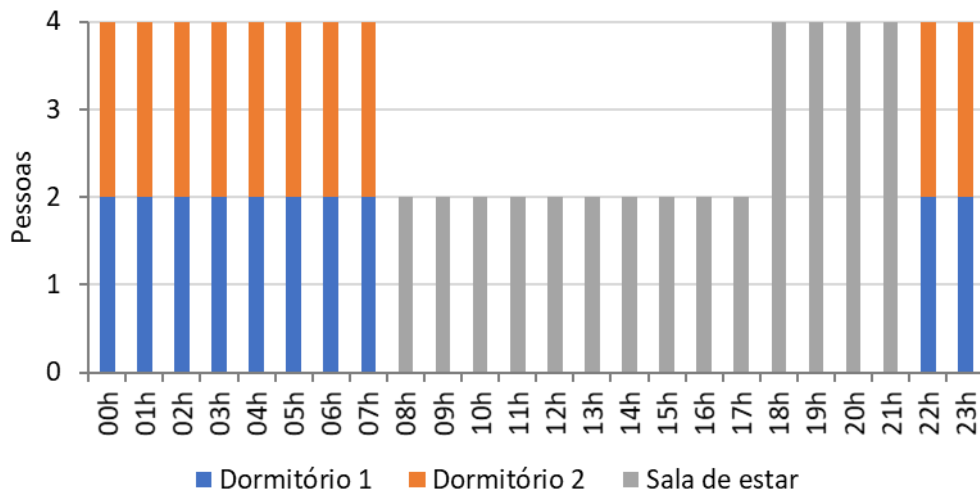
(c) Uso dos equipamentos elétricos na rotina NBR

Fonte: Autor.

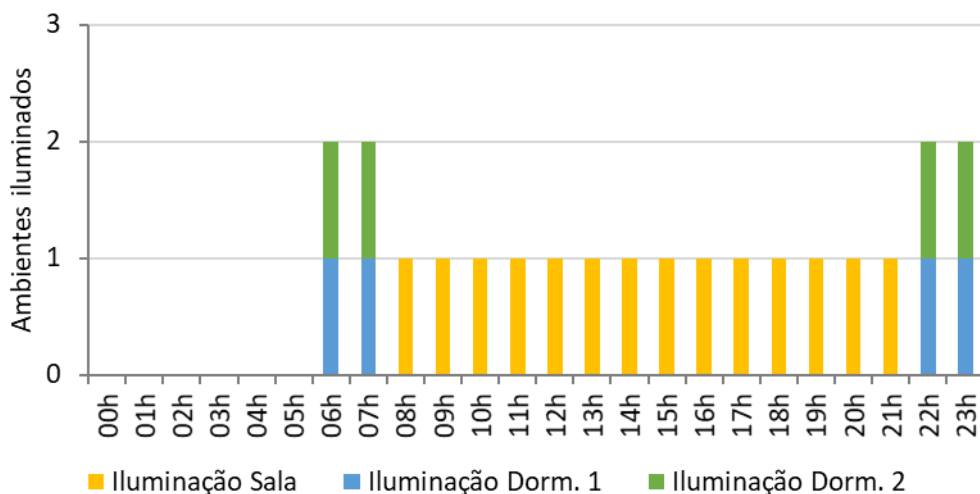
3.3.1.3 Home office

Na rotina *Home office*, a residência é ocupada durante todo o dia. A sala é ocupada por duas pessoas entre 8:00 e 17:59, período que representa o horário de trabalho, e por 4 pessoas entre 18:00 e 21:59, como mostrado na Figura 7a. A iluminação da sala e dormitórios segue a mesma lógica da iluminação na rotina Noturno, como pode ser observado na Figura 7b. Durante o período diurno, no qual a sala é ocupada por duas pessoas, há uma carga interna de equipamentos elétricos de 500 W, simulando o uso de dois computadores. Durante as demais horas de ocupação, a carga de equipamentos elétricos é de 120 W, conforme as demais rotinas. Essas variações podem ser observadas na Figura 7c.

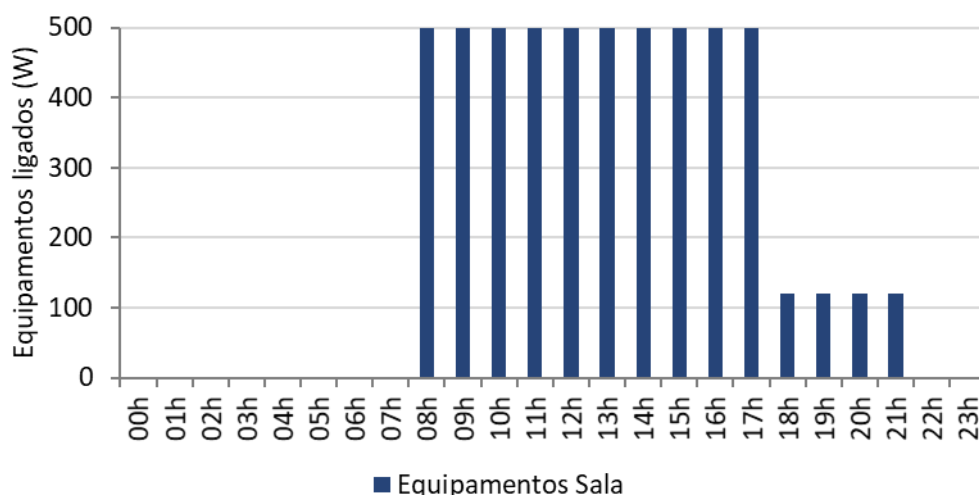
Figura 6 – Ocupação, iluminação e equipamentos na rotina *Home office*



(a) Ocupação dos ambientes na rotina *Home office*



(b) Uso da iluminação na rotina *Home office*



(c) Uso dos equipamentos elétricos na rotina *Home office*

Fonte: Autor.

3.4 SIMULAÇÕES DO DESEMPENHO TÉRMICO

Para prever o desempenho térmico dos modelos, utilizou-se o software de simulação térmica e energética *EnergyPlus* versão 9.1.0 (DOE, 2019a), programa reconhecido internacionalmente por sua confiabilidade e que cumpre com todos os requisitos da proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020). Para conduzir as simulações, são necessárias algumas configurações do programa, as quais foram definidas de acordo com a proposta de novo método. Para as configurações que não são especificadas no texto da proposta e não são mencionadas neste trabalho, foram adotadas as configurações *default* do *software*.

Para esta pesquisa, utilizou-se o clima de São Paulo, cidade mais populosa do Brasil. Adotou-se os arquivos climáticos do INMET atualizados em 2018, disponíveis para download no site do LabEEE¹. A cidade de São Paulo está localizada na latitude 23,8° S e longitude 46,6° O, a uma altitude de referência de 792 metros acima do nível do mar. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da cidade é classificado como subtropical úmido (Cwa), caracterizado por inverno seco e verão chuvoso, com temperaturas moderadas tanto no verão quanto no inverno (IAG-USP, 2013). De acordo com Richards et al. (2019), regiões com clima subtropical abrigam cerca de 23% das áreas urbanas do planeta.

¹ <http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>

Para simular as trocas de calor do piso da edificação com o solo, foi utilizado o modelo *Ground Domain: Slab*, presente no *EnergyPlus*. Não é recomendado utilizar diretamente as temperaturas do solo fornecidas nos arquivos climáticos, uma vez que estas representam o solo na condição “não perturbada”, o que pode gerar distorções nos resultados, sendo especialmente relevante para aplicações residenciais e edificações pequenas (DOE, 2019b), como é o caso deste trabalho. O modelo foi configurado de acordo com o manual desenvolvido por Eli et al. (2019), utilizando o modelo *Finite Difference* para o cálculo das temperaturas do solo.

3.4.1 Condicionamento artificial e ventilação natural

Conforme explicado no item 3.3 deste trabalho, todos os casos foram simulados em duas condições: com o uso da ventilação natural e sem o uso da ventilação natural. Conforme a metodologia da proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), nos modelos sem o uso da ventilação natural, todas as portas e janelas são mantidas fechadas o ano todo, com infiltração por frestas, com exceção da janela do banheiro que é mantida aberta constantemente. Nos modelos com o uso da ventilação natural, as portas externas da residência e as janelas dos APTs são mantidas fechadas, com infiltração por frestas, com exceção da janela do banheiro que é mantida sempre aberta. As portas internas são mantidas sempre abertas, com exceção da porta do banheiro, que é mantida fechada.

Nos modelos sem o uso da ventilação natural, os APPs possuem um sistema de climatização artificial, representado por “um sistema de cálculo da carga térmica sensível de refrigeração que seja considerado ideal, ou seja, que opere sem perdas de energia” (LABEEE, 2020). O mesmo vale para o cálculo da carga térmica de aquecimento. Para isso, o condicionamento artificial foi modelado por meio do objeto *Ideal Loads Air System*, que simula um sistema de condicionamento ideal, fornecendo ar aquecido ou resfriado em quantidade suficiente para atender a carga térmica do ambiente (DOE, 2019c). O *setpoint* de temperatura utilizado no sistema de condicionamento é de 23 °C para resfriamento e 21 °C para aquecimento, com utilização condicionada à ocupação do APP. Ou seja, sempre que o ambiente estiver ocupado:

- Se a temperatura interna do ambiente ultrapassar os 23 °C, o sistema é ligado para mantê-la em 23 °C, sendo desligado quando a temperatura volta a ser inferior a 23 °C ou quando o ambiente é desocupado;
- Se a temperatura interna ficar abaixo dos 21 °C, o sistema é ligado para aquecer o ambiente, mantendo-o em 21 °C, sendo desligado quando a temperatura ultrapassar 21 °C ou quando o ambiente for desocupado.

A ventilação natural foi modelada pelo modelo de rede, calculada pelo modelo *Airflow Network* em sua configuração *Multizone Without Distribution*, que permite o cálculo de fluxos de ar entre o interior e exterior e entre os ambientes, gerados pela força do vento (DOE, 2019c). Os coeficientes de pressão do vento foram calculados automaticamente, adotando-se a configuração *Surface Average Calculation*. Os parâmetros de fluxo de ar por frestas seguiram os especificados na proposta de novo método (LABEEE, 2020), enquanto o coeficiente de descarga utilizado para janelas abertas foi 0,6. A operação das janelas é descrita no item 3.3.

3.5 INDICADORES DE DESEMPENHO

A proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020) apresenta 4 indicadores para avaliar o desempenho térmico das edificações: Percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT); Temperatura operativa anual máxima; Temperatura operativa anual mínima; Carga térmica total (CgTT). Neste trabalho, serão utilizados o PHFT e a CgTT da unidade habitacional como indicadores de desempenho térmico.

Para o cálculo do PHFT, são necessários os dados horários de ocupação e de temperatura operativa interna de cada APP, obtidos da simulação com o uso da ventilação natural. O PHFT é uma porcentagem, calculado como a “razão entre as horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa estabelecida, e o total de horas ocupadas do ambiente” (LABEEE, 2020). Soma-se o número de horas em que o APP está simultaneamente ocupado e com a temperatura operativa dentro da faixa, e divide-se pelo total de horas ocupadas do APP. Há três faixas de temperatura, variando de acordo com a temperatura média anual da cidade analisada. Para o clima de São Paulo, a faixa de temperatura operativa é entre 18 °C e 26 °C. O indicador é calculado separadamente para cada APP, sendo o PHFT da habitação calculado pela

média aritmética dos valores de todos os APPs. O PHFT é um indicador do desempenho térmico da edificação quando naturalmente ventilada.

A carga térmica é um indicador de desempenho da edificação condicionada artificialmente. No entanto, na proposta de novo método de simulação da NBR 15.575 (LABEEE, 2020), a carga térmica é calculada com os resultados das duas simulações, com e sem uso da ventilação natural. Para obter o valor da carga térmica de refrigeração do APP ($CgTR_{APP}$), deve-se somar os valores horários de carga térmica sensível de refrigeração do modelo sem ventilação natural para as horas em que o APP estiver ocupado e a temperatura do APP no modelo com o uso da ventilação natural estiver fora da faixa de temperatura operativa, ou seja, maior ou igual a 26 °C. O mesmo procedimento é feito para a carga térmica de aquecimento do APP ($CgTA_{APP}$), mas para temperaturas operativas menores ou iguais a 18 °C. A carga térmica anual total ($CgTT$) da habitação é obtida pela soma das cargas térmicas de aquecimento e refrigeração de todos os APPs.

A Figura 7 ilustra a análise detalhada nos dois parágrafos acima.

Figura 7 – Esquema da análise horária para o cálculo dos indicadores de desempenho

Hora do ano	Horário	Ocupação do APP	Modelo com o uso da ventilação natural		Modelo sem o uso da ventilação natural	
			To APP	PHFT _{APP}	CgTR _{APP}	CgTA _{APP}
1	00:00 – 00:59	Sim	18°C < To < 26°C	Sim	Não	Não
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6	05:00 – 05:59	Sim	To ≥ 26°C	Não	Sim	Não
7	06:00 – 06:59	Sim	To ≥ 26°C	Não	Sim	Não
8	07:00 – 07:59	Não	To ≥ 26°C	Não	Não	Não
9	08:00 – 08:59	Não	To ≥ 26°C	Não	Não	Não
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4345	00:00 – 00:59	Sim	To ≤ 18°C	Não	Não	Sim
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8760	23:00 – 23:59	Sim	18°C < To < 26°C	Sim	Não	Não

Fonte: LabEEE (2020).

4 RESULTADOS

A combinação das três rotinas, apresentadas no item 3.3.1, com as cinco envoltórias, apresentadas no item 3.2, deu origem a um total de 15 casos. Conforme mencionado anteriormente, cada caso foi simulado duas vezes, uma com uso da ventilação natural e outra com climatização artificial, possibilitando o cálculo dos indicadores de desempenho. O Quadro 1 resume as características das rotinas e envoltórias estabelecidas, facilitando o acompanhamento dos resultados apresentados neste capítulo.

Quadro 1 – Resumo das características das rotinas e envoltórias estudadas

Rotinas				
Noturno		NBR		<i>Home office</i>
Ocupação somente à noite Sala: 18:00 até 21:59 Dormitórios: 22:00 até 07:59		Ocupação à tarde e à noite Sala: 14:00 até 21:59 Dormitórios: 22:00 até 07:59		Ocupação o dia todo Sala: 08:00 até 21:59 Dormitórios: 22:00 até 07:59
Envoltórias				
A	B	C	D	E
Parede de concreto; Cobertura telha de fibrocimento e laje de concreto	Parede de concreto; Cobertura de telha sanduíche e laje de concreto	Parede de concreto; Cobertura de telha sanduíche e forro de gesso	Parede de <i>steel frame</i> ; Cobertura de telha sanduíche e forro de gesso	Parede de alvenaria; Cobertura de telha de barro e forro de PVC

Fonte: Autor.

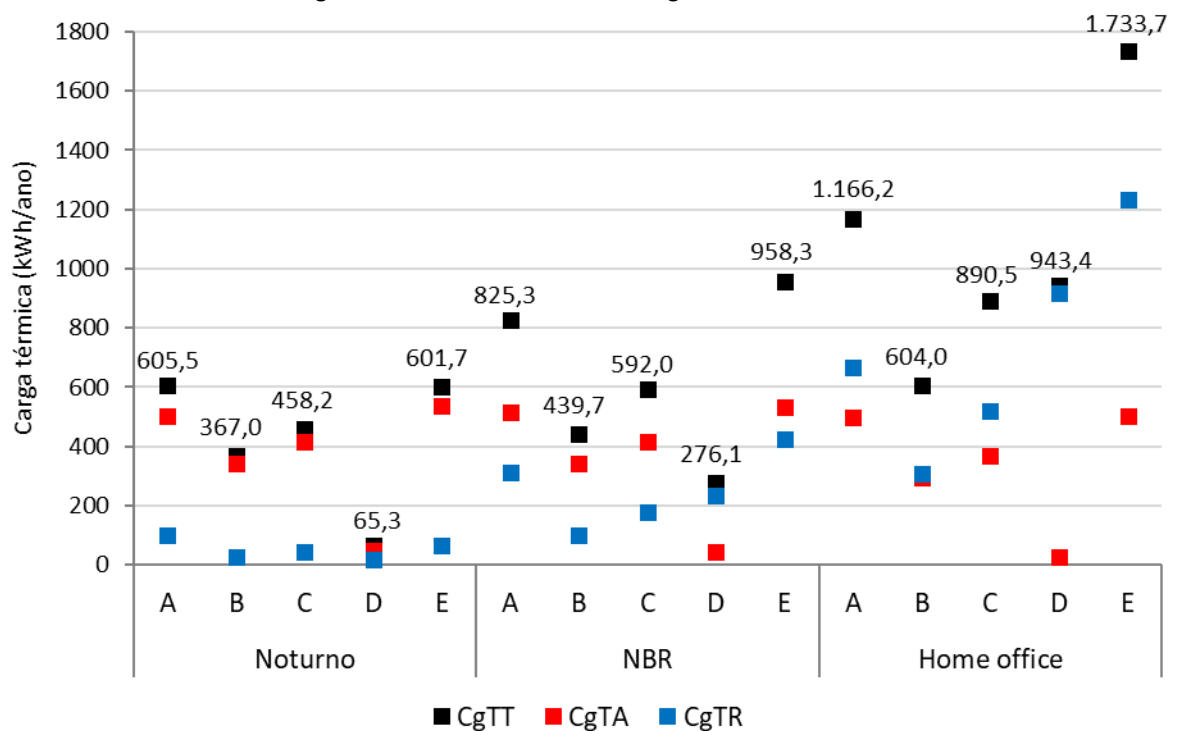
A Tabela 3 apresenta os resultados de carga térmica de aquecimento (CgTA), carga térmica de refrigeração (CgTR) e carga térmica total (CgTT) da edificação para os 15 casos simulados, bem como o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) da edificação. A Tabela 3 também apresenta a carga térmica total dividida pela área condicionada (CgTT/m²) em kWh/ano.m², permitindo a comparação com outros resultados. Os resultados de CgTA, CgTR e CgTT podem ser visualizados graficamente na Figura 8, com destaque para os valores de CgTT, enquanto os resultados de PHFT podem ser visualizados na Figura 9.

Tabela 3 – Resultados dos indicadores de desempenho

Rotina	Envoltória	CgTA (kWh/ano)	CgTR (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	CgTT/m ² (kWh/ano.m ²)	PHFT
Noturno	A	503,8	101,6	605,5	12,2	85,9%
Noturno	B	341,3	25,7	367,0	7,4	89,8%
Noturno	C	415,9	42,3	458,2	9,2	87,3%
Noturno	D	46,1	19,2	65,3	1,3	96,3%
Noturno	E	534,9	66,8	601,7	12,1	83,3%
NBR	A	514,9	310,5	825,3	16,6	84,8%
NBR	B	341,2	98,4	439,7	8,8	89,5%
NBR	C	413,8	178,2	592,0	11,9	86,7%
NBR	D	42,7	233,5	276,1	5,6	93,8%
NBR	E	532,8	425,5	958,3	19,3	81,0%
Home office	A	498,1	668,1	1.166,2	23,4	85,1%
Home office	B	294,6	309,4	604,0	12,1	90,0%
Home office	C	369,4	521,1	890,5	17,9	86,9%
Home office	D	25,7	917,7	943,4	19,0	92,5%
Home office	E	502,7	1.231,1	1.733,7	34,8	80,1%

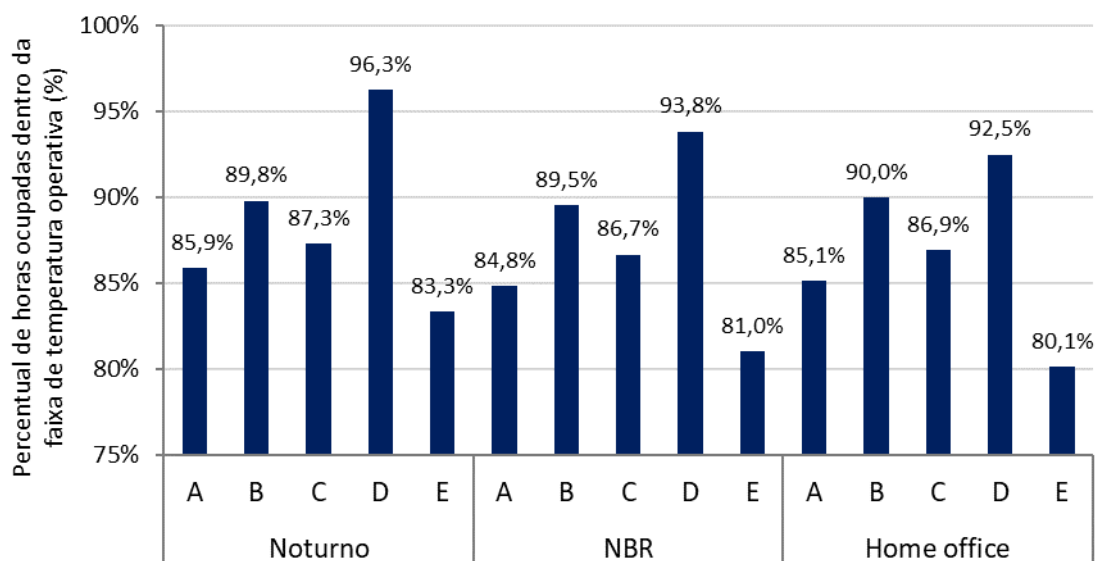
Fonte: Autor.

Figura 8 – Resultados de carga térmica anual



Fonte: Autor.

Figura 9 – Resultados de PHFT



Fonte: Autor.

Os resultados de CgTT variaram de 65,3 kWh/ano no caso com rotina Noturno e envoltória D, até 1733,7 kWh/ano no caso com rotina *Home office* e envoltória E. Nos casos com rotina Noturno e NBR, a carga térmica de aquecimento representou a maior parcela da CgTT em quase todas as envoltórias; a única exceção é o caso com rotina NBR e envoltória D. Nos casos com rotina *Home office*, a CgTR é superior à CgTA em todas as envoltórias, devido à maior ocupação no período diurno.

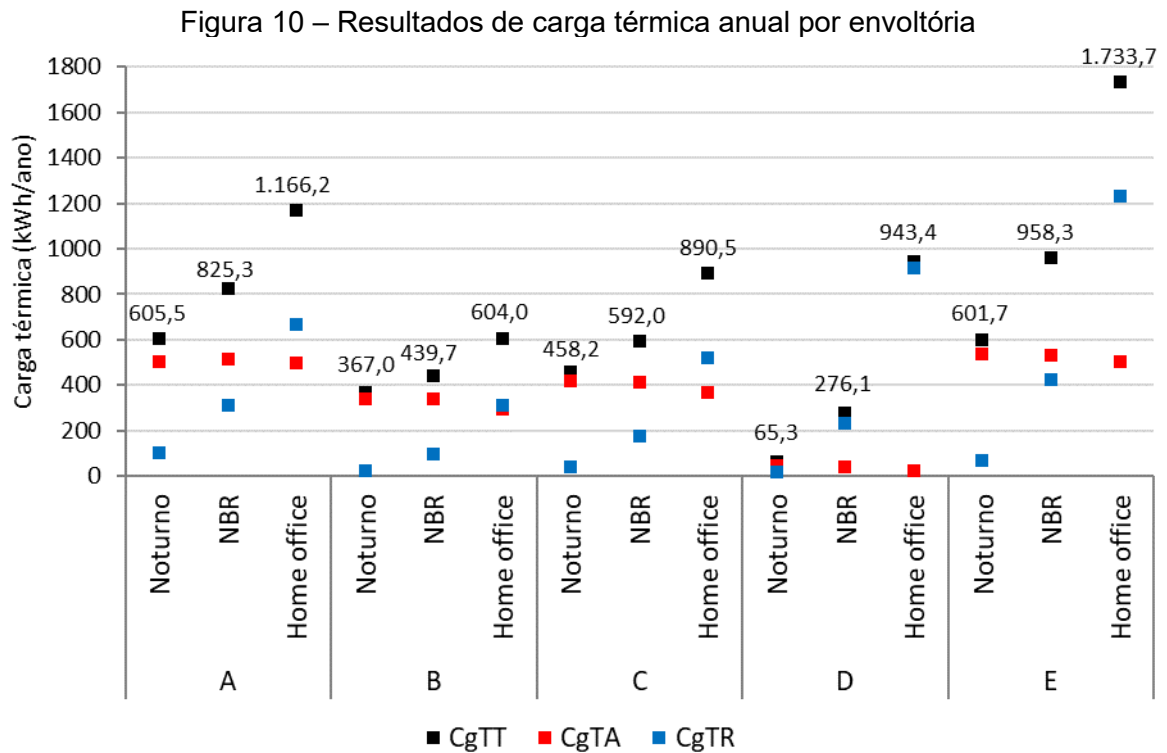
Nas três rotinas, os casos com envoltória D apresentaram a menor CgTA entre as envoltórias analisadas, com valor significativamente inferior às demais. Devido à menor transmitância térmica das paredes e cobertura, esta envoltória retém mais calor dentro da edificação, reduzindo a necessidade de aquecimento nos períodos frios.

Nas rotinas NBR e *Home office*, com mais horas ocupadas durante o dia, a envoltória B apresentou a menor CgTR. A utilização de isolamento térmico na cobertura reduz o ganho de calor durante o dia, enquanto a grande inércia térmica do concreto armazena o calor, liberando-o para o ambiente durante a noite, reduzindo a carga térmica a ser retirada pelo ar condicionado.

Todos os casos simulados apresentaram PHFT superior a 80%. A envoltória D apresentou o melhor resultado de PHFT nas três rotinas, sendo que somente os três casos com envoltória D apresentaram PHFT superior a 90%. A envoltória E apresentou o pior resultado em todas as rotinas.

4.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ROTINA

A Figura 10 apresenta os resultados de carga térmica agrupados por envoltória, para evidenciar a influência da variação da rotina. De acordo com os resultados, quanto maior o número de horas de ocupação, maior a carga térmica total.



Fonte: Autor.

Em todas as envoltórias, os casos com rotina *Home office* apresentaram o maior resultado de CgTT, seguidos pelos casos com rotina NBR, e por último os casos com rotina Noturno. A variação na CgTT entre as rotinas se deve ao maior número de horas ocupadas na sala de estar, nos horários mais quentes do dia, aumentando a necessidade de refrigeração do ambiente, o que é evidenciado pelo resultado de CgTR, conforme observado na Figura 10. Esse resultado concorda com o estudo de Eli (2019), segundo o qual quanto maior o período de ocupação da sala, maior o valor da carga térmica de refrigeração.

As maiores variações na CgTT, absolutas e relativas, foram nas envoltórias D e E, que possuem baixa inércia térmica. Dos casos com envoltória D, o caso com rotina *Home office* apresentou CgTT 242% superior ao caso com rotina NBR e 1345% superior ao caso com rotina Noturno. Na envoltória E, a rotina *Home office* resultou

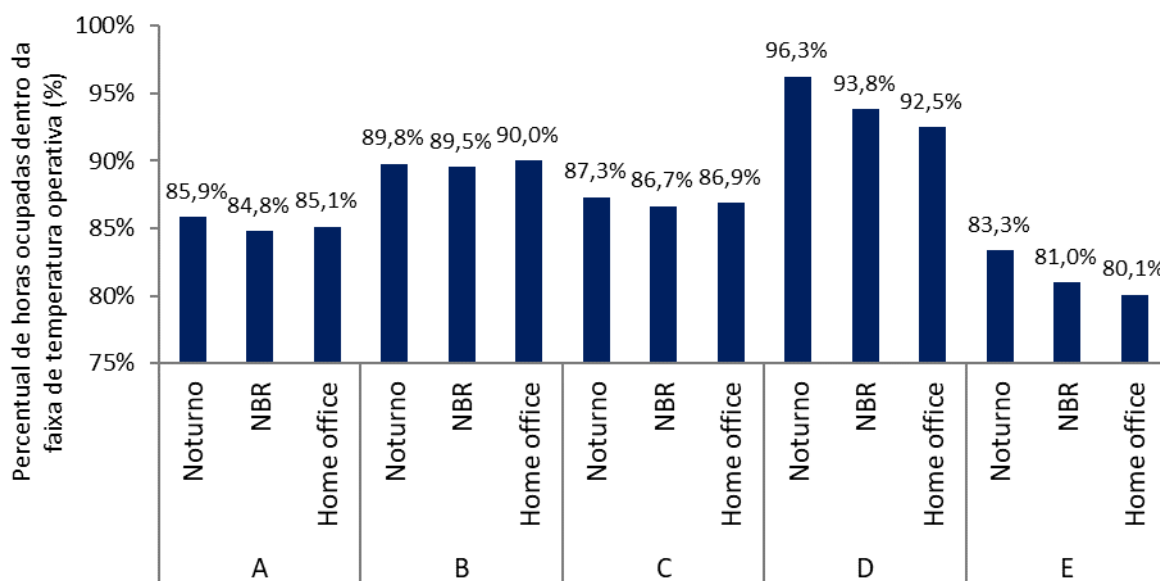
em CgTT 81% superior à rotina NBR e 188% superior à rotina Noturno. As menores variações foram observadas na envoltória B, que possui grande inércia térmica na envoltória e isolamento térmico na cobertura, considerando que a rotina *Home office* apresenta CgTT 37% superior à rotina NBR e 65% superior à rotina Noturno.

As maiores variações na CgTR foram observadas nas envoltórias D e E, enquanto as menores variações ocorreram na envoltória B. Nos casos da envoltória D, a rotina *Home office* apresentou CgTR 684,2 kWh superior à rotina NBR e 898,5 kWh superior à rotina Noturno, um aumento de 293% e 4686%, respectivamente. Nos casos com envoltória E, a rotina *Home office* apresentou CgTR 805,5 kWh superior à rotina NBR e 1164,3 kWh superior à rotina Noturno, aumentos de 189% e 1744%, respectivamente.

A CgTA apresenta uma tendência inversa da CgTR, reduzindo levemente conforme aumenta o número de horas ocupadas. Isso se deve ao fato de todas as rotinas possuírem o mesmo número de horas ocupadas nos dormitórios durante a noite, quando ocorre a maior necessidade de aquecimento dos ambientes, no entanto o período maior de ocupação na sala durante o dia aumenta o calor armazenado na edificação, reduzindo a necessidade de aquecimento no período noturno. Para todas as envoltórias, as variações absolutas na CgTA foram pouco significativas. A maior variação relativa ocorreu na envoltória D, com a rotina *Home office* apresentando CgTA 40% inferior à rotina NBR e 44% inferior à rotina Noturno.

Na Figura 11 é possível observar os resultados de PHFT agrupados por envoltória. Nas envoltórias A, B e C, o PHFT apresentou uma tendência de estabilidade, com variações pouco significativas entre as rotinas, menores que 1 ponto percentual. Nas envoltórias D e E, o PHFT apresentou valor inferior nas rotinas com mais horas ocupadas. Nos casos com envoltória D, a rotina *Home office* apresentou PHFT 1,3 pontos percentuais inferior à rotina NBR e 3,8 pontos percentuais inferior à rotina Noturno, enquanto nos casos com envoltória E, a rotina *Home office* apresentou PHFT 0,9 pontos percentuais inferior à rotina NBR e 3,3 pontos percentuais inferior à rotina Noturno.

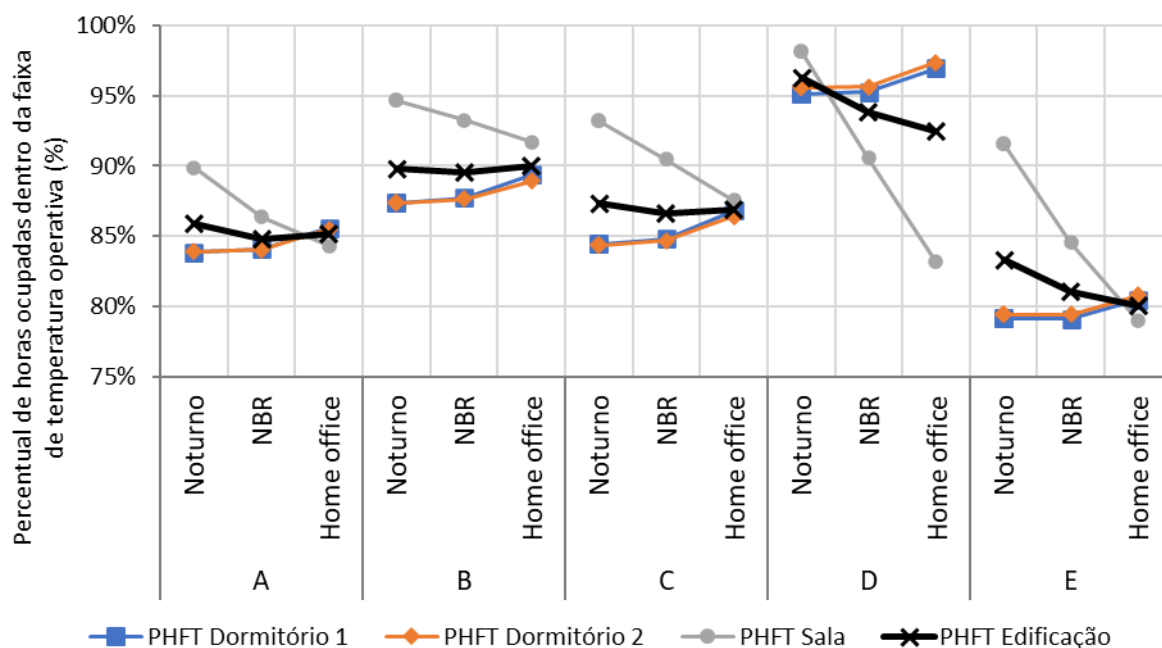
Figura 11 – Resultados de PHFT por envoltória



Fonte: Autor.

Para entender esse comportamento, é necessário analisar o PHFT desdobrado por APP, apresentado na Figura 12. Nos casos com rotina *Home office*, o valor de PHFT do APP Sala de estar é inferior ao das outras rotinas, pois essa rotina possui mais horas ocupadas durante o dia, apresentando mais horas ocupadas com desconforto por calor. O mesmo ocorre com a rotina NBR em relação a rotina Noturno. No entanto, os dormitórios apresentam maior PHFT nos casos com rotina *Home office*, seguidos pelos casos com rotina NBR. Provavelmente, o maior número de horas ocupadas no APP Sala, que permite mais horas de ventilação natural nos períodos quentes e maior acúmulo de calor nos períodos frios, melhora o desempenho térmico da edificação como um todo, afetando positivamente o desempenho dos dormitórios. Nos casos com envoltórias A, B e C, de maior inércia térmica, o aumento de PHFT nos dormitórios se equilibra com a redução de PHFT da sala, mantendo o PHFT da edificação com variações pouco significativas. Nas envoltórias D e E, a redução do PHFT da sala é mais significativa, reduzindo o PHFT da edificação nos casos com mais horas ocupadas.

Figura 12 – Resultados de PHFT por APP



Fonte: Autor.

Tendo em vista que o PHFT é uma fração cujo denominador é o total de horas ocupadas, a comparação de resultados de PHFT entre rotinas deve ser analisada com cautela, dado que as rotinas possuem diferentes números de horas ocupadas na sala, portanto diferentes denominadores.

4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS ENVOLTÓRIAS

Para analisar o desempenho das envoltórias como um todo, permitindo escolher a envoltória com melhor desempenho para cada rotina, os resultados dos indicadores CgTT e PHFT são exibidos no mesmo gráfico, agrupados por rotina, conforme exibido na Figura 13.

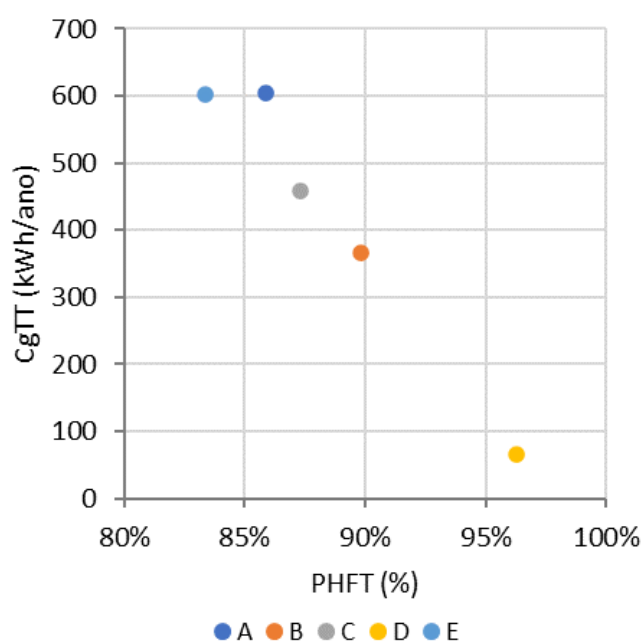
Na rotina Noturno, a envoltória D, com alto isolamento e baixa capacidade térmica nas paredes e cobertura, apresentou o melhor desempenho, com PHFT de 96,3% e CgTT de 65,3 kWh/ano, superiores aos resultados da envoltória B, segunda envoltória com melhor desempenho, com 89,8% de PHFT e CgTT de 367 kWh/ano.

A rotina NBR apresentou resultados semelhantes, onde a envoltória D também apresentou o melhor desempenho. Com PHFT de 93,8% e CgTT de 276,1 kWh/ano, a envoltória D apresenta desempenho superior à envoltória B, que apresentou PHFT de 89,5% e CgTT de 439,7 kWh/ano.

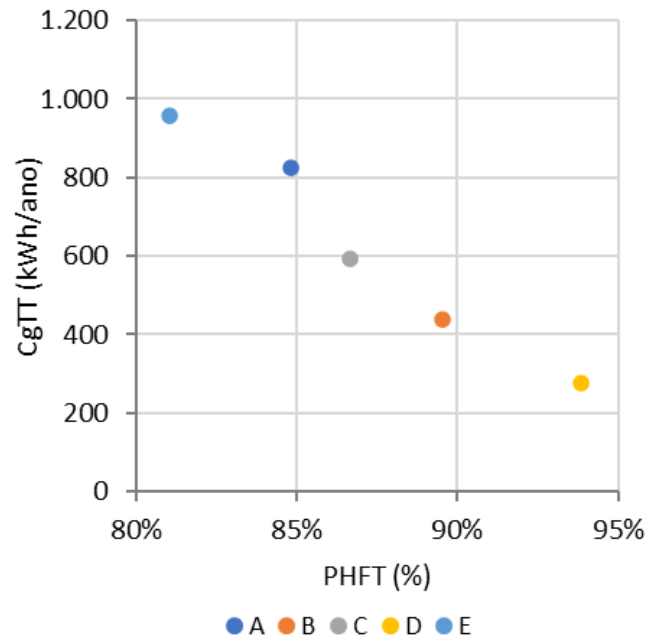
Para a rotina *Home office*, não há um consenso entre os indicadores. A envoltória D apresenta o maior PHFT, com 92,5%, porém apresenta a terceira menor carga térmica total, com 943,4 kWh/ano. A envoltória B, por sua vez, apresenta a menor CgTT, com 604 kWh/ano, e o segundo maior PHFT, com 90% das horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa estabelecida. Com base nesses resultados, podemos dizer que para a rotina *Home office*, a envoltória D possui o melhor desempenho quando ventilada naturalmente, enquanto a envoltória B possui o melhor desempenho quando condicionada artificialmente.

Os resultados de desempenho das envoltórias concordam com os resultados de Eli (2019), no qual a envoltória com baixa transmitância e baixa inércia térmica obteve os melhores resultados de PHFT em 8 dos 9 casos simulados para o clima de São Paulo. No referido estudo, a autora também encontrou discordância entre o resultado dos indicadores nos casos em que a edificação é ocupada o dia todo no clima de São Paulo. Nesses casos, a envoltória de baixa transmitância e baixa inércia térmica apresentou melhor desempenho de PHFT, enquanto a envoltória de baixa transmitância e alta inércia térmica apresentou melhores resultados de carga térmica, resultado semelhante ao deste trabalho.

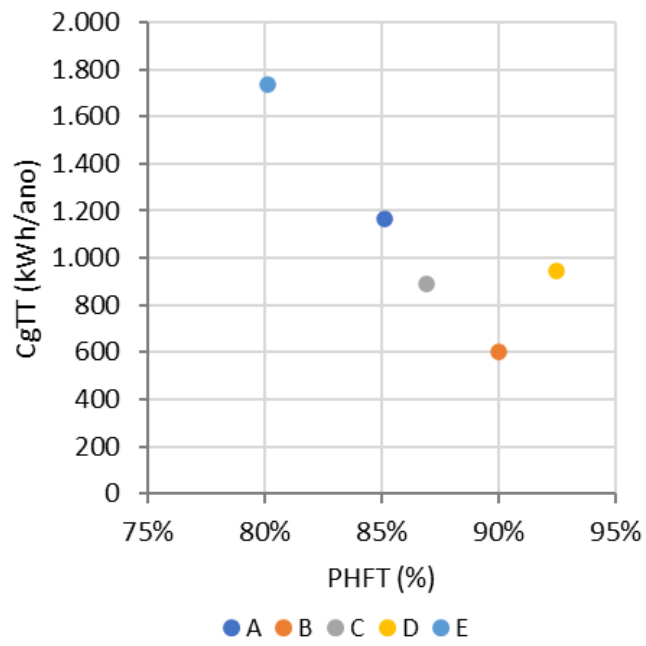
Figura 13 – Indicadores de desempenho por rotina



(a) Casos com rotina Noturno



(b) Casos com rotina NBR



(c) Casos com rotina Home office

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a analisar a influência da variação da rotina dos usuários, que representa a parte do comportamento dos usuários relacionada aos horários, no desempenho térmico de uma residência unifamiliar térrea no clima de São Paulo/SP. Para isso, foram estabelecidas três rotinas de ocupação da edificação. Foram analisadas também cinco opções de envoltórias, que buscam representar as envoltórias mais difundidas no Brasil e alternativas baseadas no uso de isolamento térmico. O modelo da residência foi simulado com base na metodologia do novo procedimento de simulação computacional de avaliação do desempenho térmico proposto para a NBR 15.575 (LABEEE, 2020). O desempenho térmico foi avaliado por meio da carga térmica total (CgTT) e do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), indicadores de desempenho da edificação condicionada artificialmente e ventilada naturalmente, respectivamente.

Os resultados da pesquisa mostram que a variação da rotina dos usuários tem impacto significativo no resultado da carga térmica de refrigeração e, por consequência, da carga térmica total. Notou-se uma tendência de aumento da carga térmica de refrigeração conforme aumenta o número de horas ocupadas durante o dia. O impacto da variação da rotina foi maior nas envoltórias com baixa inércia térmica, em especial na envoltória D, que possui baixa inércia e baixa transmitância térmica, na qual a variação nos resultados representou um aumento de 1345% na carga térmica total e 4686% na carga térmica de refrigeração quando comparada a rotina *Home office* (mais horas ocupadas) com a rotina Noturno (menos horas ocupadas).

A carga térmica de aquecimento foi pouco influenciada pela variação da rotina dos usuários, devido a todas as rotinas possuírem o mesmo período de ocupação durante a noite, nas horas em que o aquecimento se faz mais necessário. No entanto, é possível identificar uma leve tendência de redução da carga térmica de aquecimento conforme aumenta o período de ocupação.

A variação da rotina apresentou impactos diferentes no PHFT de acordo com a envoltória estudada. Nas envoltórias com alta inércia térmica (A, B e C) o PHFT apresentou variações pouco significativas entre as rotinas, enquanto nas envoltórias com baixa inércia (D e E) o PHFT diminuiu conforme o aumento das horas ocupadas.

Essa redução chegou a 3,8 pontos percentuais na envoltória D e 3,3 pontos percentuais na envoltória E.

Os resultados dos indicadores de desempenho mostram que a envoltória D, que representa uma edificação construída em *Light Steel Frame*, com baixa transmitância e baixa capacidade térmica, apresenta o melhor desempenho quando ventilada naturalmente, resultando no maior PHFT para as três rotinas estudadas. A envoltória D também apresentou o melhor desempenho quando condicionada artificialmente em duas rotinas, apresentando a menor carga térmica nas rotinas Noturno e NBR. Na rotina *Home office*, a envoltória B, com alta inércia e baixa transmitância térmica, apresentou o melhor resultado de carga térmica. Esses resultados mostram a importância do uso de isolamento térmico na envoltória, mesmo em climas amenos como o da cidade de São Paulo/SP.

Dessa forma, os objetivos estipulados para este trabalho foram cumpridos, com destaque para a análise da influência da rotina dos usuários nos indicadores de desempenho térmico, que provou ser significativa. Esse tema deve ser estudado considerando outros dados de entrada e cidades, de forma a garantir a efetividade das políticas públicas de eficiência energética em edificações.

5.1 LIMITAÇÕES

As limitações encontradas no desenvolvimento deste trabalho foram:

- Os resultados encontrados são válidos somente para o modelo de edificação e clima estudados;
- As simulações termo energéticas apresentam incertezas relacionadas às simplificações nos seus algoritmos e nos dados do arquivo climático;
- Os limites da zona de conforto térmico foram definidos com base em temperaturas estáticas, não sendo considerados umidade relativa do ar ou velocidade do vento;
- O ático foi modelado como uma câmara de ar equivalente, não sendo considerado como uma zona térmica.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para estudos futuros, sugere-se:

- Replicar a metodologia deste estudo em outros climas brasileiros, em especial climas mais quentes e úmidos;
- Analisar a influência da rotina em envoltórias inovadoras e de alto desempenho, como envoltórias com alto nível de isolamento térmico ou envoltórias de ICF (*insulated concrete formwork*);
- Analisar o impacto de adotar controles da ventilação natural e do condicionamento artificial baseados em condições de conforto adaptativo;
- Replicar a análise deste estudo para outras tipologias, como edificações multifamiliares;
- Adicionar elementos de sombreamento das aberturas, como venezianas;
- Analisar outras opções de rotinas, estudando comportamentos menos usuais, tais como pessoas que trabalham à noite e ocupam a edificação durante o dia;
- Analisar as rotinas de forma estocástica, considerando as pesquisas mais recentes sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABRAVA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Panorama HVAC-R: Brasil 2014**. ABRAVA, 2015. Disponível em: <http://abravanoticias.com.br/arquivos/3/e8e2853ea890c4ef72bf9ca0c3e41142.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

BALVEDI, Bruna Faitão; GHISI, EneDir; LAMBERTS, Roberto. A review of occupant behaviour in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 495–505, 2018.

BARBOSA, Kácia Henderson. **A avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BEST – BUILDING ENERGY SOFTWARE TOOLS DIRECTORY. **Software listing**. 2020. Disponível em: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software-listing>. Acesso em: 29 de maio de 2020

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília: 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm. Acesso em: 29 de maio de 2019.

CARVALHO, Monica et al. Effects of the COVID-19 pandemic on the Brazilian electricity consumption patterns. **International Journal of Energy Research**, e5877, 2020.

CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Florianópolis, 2020. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2020.11.09-INI-R_V1.pdf. Acesso em: 23 de novembro de 2020.

DE MEESTER, T. et al. Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 313–323, 2013.

DOE - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus 9.1.0**. 2019a. Disponível em: <https://energyplus.net/downloads>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

DOE - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Auxiliary Programs: EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation**. 2019b. Disponível em:

https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/AuxiliaryPrograms.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2019.

DOE - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Engineering Reference: EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation**. 2019c. Disponível em:

https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/EngineeringReference.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2019.

DOE - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus**. Washington, 2020.

Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>.

Acesso em: 29 de maio de 2020.

ELI, L. G. **O impacto do padrão de uso no desempenho térmico de edificações unifamiliares no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ELI, L. G. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa Energyplus – versão 9.0.1**. Florianópolis, 2019. Disponível em:

http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_GroundDomain_E+versao9.0.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2020.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia 2050: Nota Técnica DEA 13/15**. Rio de Janeiro: 2016.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética: Nota Técnica EPE 030/2018**. Rio de Janeiro: 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2019: ano base 2018**. Rio de Janeiro: 2019.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020: Relatório Síntese / Ano Base 2019**. Rio de Janeiro: 2020.

FABI, V. et al. Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. **Building and Environment**, v. 58, n. 0, p. 188–198, 2012.

FOSAS, Daniel et. al. Mitigation versus adaptation: Does insulating dwellings increase overheating risk? **Building and Environment**, v.143, p. 740-759, 2018.

GU, Lixing. **Airflow Network Modeling in EnergyPlus**. 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition. Beijing, China, 2007.

IAG-USP – INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Informações sobre as Estações do Ano na Cidade de São Paulo**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.estacao.iag.usp.br/seasons/index.php>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019**. IBGE. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707_informativo.pdf. Acesso em: 19 ago. 2020.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Perspectives: Technology Roadmap**. Paris, 2012.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning**. OECD/IEA: Paris, 2018.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012. Brasília: 2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2019.

INVIDIATA, Andrea et al. Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XVI, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 554 - 563.

JIANG, Yi; LI, ZhaoJian; QIN, Rong. **What are the major factors on energy consumption for cooling in Chinese residential buildings?** Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge – 5th Windsor Conference. Windsor, UK: Network for Comfort and Energy Use in Buildings 2008.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Desenvolvimento da proposta de novo método de avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais pela NBR 15575: Relatório interno – versão junho de 2020**. Florianópolis: 2020.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho Térmico de Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. (Apostila).

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: 2014.

LIU, Feng; MEYER, Anke S.; HOGAN, John F. **Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries**. Washington, D.C: The World Bank, 2010.

LOUREIRO, Kelly Cristina Gonçalves. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MAZZAFERRO, Leonardo. **Análise das recomendações da ASHRAE Standard 90.1 para a envoltória de edificações comerciais**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MENDES, Nathan et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68. 2005.

MONTES, Maria Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. 2016. 473 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PACHECO, Miguel Teixeira Gomes. **Ventilação natural e climatização artificial: crítica ao modelo superisolado para residência de energia zero em Belém e Curitiba**. 2013. 292 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PAMPLONA, Nicola; TEREZA, Irany. Em 2000, o jeito foi racionar para não ter apagão. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 26 junho 2006. Arquivado do original em 24 de maio de 2011. Disponível em: https://web.archive.org/web/20110524011155/http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/cl_pesquisa.php?pg=cl_abre&cd=mlndef4~BPhd. Acesso em: 29 de maio de 2019.

PENG, Chen et al. Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings. **Building Simulation**, v.5, p. 85-94, 2012.

PEREIRA, Cláudia Donald; MARINOSKI, Ana Kelly. Experimentos de consumo de energia elétrica. In: LAMBERTS, Roberto et al. (Ed.). **CASA EFICIENTE: Consumo e Geração de Energia**. Florianópolis: UFSC/LABEEE, v.2, 2010. Cap. 5, p.63 – 73.

PEREIRA, Helena Aviz da Costa et al. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0**. Florianópolis, 2013. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Manual_Ventilacao_v8.0.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2019.

RICHARDS, D. et al. Global Variation in Climate, Human Development, and Population Density Has Implications for Urban Ecosystem Services. **Sustainability**, v.11, 2019.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.14, n. 1, p.213-230, 2014.

SORGATO, Marcio José. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. 260 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SORGATO, M.J. et al. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Florianópolis: 2012.

SORGATO, M.J.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1–13, 2016.

STAZI, F.; NASPI, F.; D’ORAZIO, M. A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings. **Building and Environment**, v.118, p. 40-66, 2017.

TRIANA, Maria Andrea; LAMBERTS, Roberto; SASSI, Paola. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524–541, 2015.

WEBER, F.S.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017. 52p.

YOSHINO, Hiroshi; HONG, Tianzhen; NORD, Natasa. IEA-EBC Annex 53: Total Energy Use in Buildings - Analysis and Evaluation Methods. **Energy and Buildings**. v.152, p. 124–136, 2017.

ZHANG, Yan et al. Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review. **Energy and Buildings**, v. 172, p. 279–294, 2018.