

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO NARRATIVA INCLUINDO A INFLUÊNCIA DOS FECHAMENTOS

MENDES, Vítor Freitas (*freitasv.eng@gmail.com*)^{1,3}; CARVALHO, Aldo Ribeiro de¹ (*aldo.carvalho@engenharia.ufjf.br*); CASTRO, Júlia Assumpção de¹ (*julia.castro@engenharia.ufjf.br*); MENDES, Júlia Castro² (*juliacastro.mendes@ufjf.br*)

¹Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil

²Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Brasil

³Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG – Santa Luzia), Brasil

Palavras-chave: carga térmica, graus-hora, conforto térmico, eficiência energética, sustentabilidade

Resumo

O desempenho térmico das edificações tem um papel crucial na saúde e bem-estar dos ocupantes, uma vez que as pessoas passam a maior parte do tempo em espaços construídos. Garantir um bom desempenho térmico é fundamental para proporcionar conforto e eficiência energética, agindo diretamente na sustentabilidade da edificação. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura atual sobre o tema do desempenho térmico das edificações. Busca-se explorar os principais conceitos envolvidos no tema, técnicas de avaliação de desempenho térmico e estratégias promissoras para o seu melhoramento, principalmente no que diz respeito aos fechamentos da edificação. Notou-se a tendência de avaliar o desempenho térmico por meio de simulações energéticas somadas às técnicas de carga térmica e graus-hora (ou graus-dia). Cada localização apresenta demandas específicas de aquecimento ou resfriamento, o que exige estratégias adaptadas para atender às necessidades térmicas das edificações. Essas estratégias podem variar de acordo com o clima, as características da envoltória do edifício, os sistemas de ventilação, isolamento térmico e outras soluções de projeto, tornando a análise em algo complexo. Além de fornecer informações valiosas para pesquisadores e estudiosos que estão iniciando seus estudos sobre desempenho térmico de edificações, este trabalho busca promover a qualidade das edificações, melhorando o conforto e a eficiência energética. Ao fazer isso, contribui para o bem-estar dos ocupantes e para a preservação do meio ambiente, uma vez que edificações energeticamente eficientes têm menor impacto ambiental. Em resumo, este trabalho aborda o tema do desempenho térmico das edificações, fornecendo uma visão geral abrangente e auxiliando no aprimoramento das práticas de projeto e construção para alcançar edificações mais confortáveis, eficientes e sustentáveis.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma construção refere-se à forma como ela lida com a transferência de energia entre o ambiente em que está inserida e o seu entorno (MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022). Em termos simples, o desempenho térmico diz respeito à capacidade da edificação em responder ao clima externo através das condições climáticas internas. Uma construção com bom desempenho térmico controla melhor o conforto térmico do seu interior e auxilia na eficiência energética da edificação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Outrossim, é amplamente reconhecido que as condições internas de uma edificação têm um impacto significativo na saúde, bem-estar e produtividade dos seus ocupantes. Desde 2001, estudos indicam que as pessoas passam cerca de 90% do seu tempo dentro de edifícios (KLEPEIS, NELSON, *et al.*,

2001). Essa realidade persiste até os dias de hoje, sem que tenham ocorrido incentivos significativos para mudanças. Pelo contrário, a pandemia de Covid-19, iniciada em 2019, obrigou muitos países a impor restrições de isolamento físico, limitando as saídas das pessoas apenas para atividades essenciais (JORNAL NACIONAL, 2020). Após o decreto do fim da pandemia, 2023, o trabalho remoto (dentro das próprias residências) tornou-se uma realidade cada vez mais presente na vida das pessoas (CERIBELI, LANA, *et al.*, 2023).

Contudo, é preocupante o fato de que no Brasil, por exemplo, onde é significativa a autoconstrução, geralmente falta um enfoque tanto no projeto quanto na execução para tornar as edificações menos vulneráveis às flutuações de temperatura e umidade do ambiente externo (CAU/MG, 2022). Em estudos de Avaliações de Pós-Ocupação (APOs) realizados com habitações de interesse social, como no Programa Minha Casa Minha Vida, mais de 25% dos moradores relataram insatisfação com as condições térmicas de pelo menos um ambiente de suas casas durante o inverno (DOS SANTOS, 2021). Através de medições realizadas no local, os autores observaram a presença de umidade e mofo nas paredes dessas construções feitas de forma autônoma, indicando um desempenho geral inadequado (ZANONI, DANTAS, *et al.*, 2020).

Diante disso, torna-se necessário compreender o conceito de conforto térmico. Segundo a norma ASHRAE (2017), refere-se a um estado de satisfação do ocupante em relação ao ambiente em que se encontra. No entanto, assim como qualquer outra noção de conforto, há diversos fatores subjetivos envolvidos nesse termo. Piedade *et al.* (2003) abordaram os aspectos sociais, culturais e psicológicos relacionados a ele. As condições pessoais do ocupante, como vestimenta, metabolismo, estado emocional, atividade física e saúde, desempenham um papel importante na percepção que cada indivíduo tem do seu conforto térmico (PIEPADE, RODRIGUES e RORIZ, 2003).

Dessa forma, garantir o conforto térmico dos habitantes, conciliado com um consumo de energia reduzido, não apenas proporciona eficiência energética para a edificação, mas também promove a sustentabilidade. A eficiência energética das edificações, que engloba otimizações nas formas do edifício, nas ambiências e na utilização de soluções econômicas e racionais, é um componente fundamental da abordagem sustentável na construção (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Portanto, o desempenho térmico das edificações são elementos essenciais para promover a sustentabilidade no setor da construção.

Posto isso, o presente trabalho visa fazer uma revisão narrativa dos principais aspectos que permeiam a análise de desempenho térmico de edificações, como os procedimentos de simulação energética, determinação do desempenho térmico e estudos de técnicas para a melhoria do seu desempenho térmico, principalmente no que tange aos seus fechamentos. Este estudo tem como objetivo fornecer suporte inicial a pesquisadores e acadêmicos que estejam se familiarizando com o tema de desempenho térmico de edificações. Além disso, busca-se instigar a melhoria na qualidade das construções, beneficiando os aspectos econômicos, sociais e ambientais envolvidos.

2 METODOLOGIA

Adotou-se uma revisão narrativa de cunho exploratório de estudos relacionados à análise de desempenho térmico de edificações a nível mundial, conforme as diretrizes de Prodanov *et al.* (2013). Foram considerados livros, periódicos, anais de congressos e normas nacionais e internacionais. Além

disso, o período temporal da análise se deu a partir do ano de 2010 nos bancos de dados do Google Acadêmico e da CAPES. As palavras chaves adotadas para a pesquisa foram: “desempenho térmico”; “simulação energética”; “edificação” (em português e inglês). Após a análise semântica dos trabalhos mapeados, foram selecionados mais de 30 estudos publicados em periódicos ou anais de congressos que serão referenciados ao longo deste trabalho. A Figura 1 apresenta a metodologia em formato de fluxograma.

Devido à natureza e ao propósito do presente trabalho, não foi realizada uma revisão sistemática do tema, que segue critérios rígidos na seleção da literatura existente. Por isso, este trabalho traz uma revisão narrativa do assunto, fazendo uma abordagem abrangente da análise de desempenho de edificações, incluindo a influência dos fechamentos. Trata-se de uma limitação deste estudo, inerente a qualquer outra revisão narrativa, mas que permite uma relativa rapidez na execução do trabalho e contextualiza o estado geral da arte, tornando mais acessível a compreensão das principais implicações práticas do tópico abordado (PRODANOV e DE FREITAS, 2013).

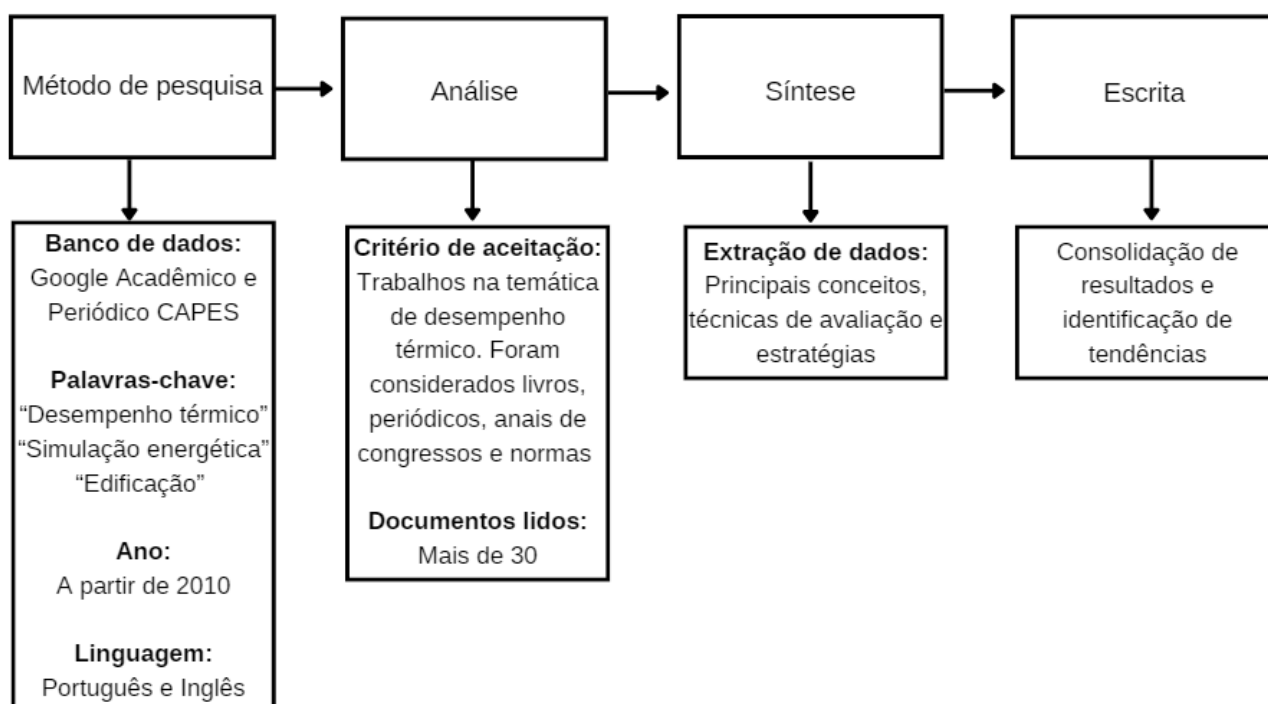


Figura 1. Metodologia utilizada no trabalho

3 RESULTADOS

3.1 Simulação energética e normas de desempenho térmico

O desempenho térmico das edificações é uma área de estudo que envolve a análise e aprimoramento das características relacionadas ao controle da temperatura interna dos ambientes. Para compreender

e otimizar esse desempenho, são, geralmente, realizados estudos prévios utilizando simulações computacionais. Essas simulações são ferramentas poderosas que permitem investigar estratégias e soluções que contribuam para a eficiência energética dos edifícios.

Por meio da utilização de simulações computacionais, é possível prever e otimizar as estratégias que visam aumentar o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações. Essas simulações fornecem informações valiosas sobre o consumo total de energia, temperaturas internas, custos energéticos (incluindo eletricidade, combustíveis fósseis e biomassa), dimensionamento dos sistemas de iluminação e Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC), emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros parâmetros relevantes para a tomada de decisão. Para obter resultados mais representativos, é recomendado executar as simulações para todo o ano de projeto (CHVATAL, 2014). Os dados climáticos anuais são frequentemente disponibilizados por meio de arquivos climáticos, e a segunda emenda de 2021 da norma brasileira NBR 15575 (2021) permite o acesso a um repositório de arquivos climáticos de diversas cidades do Brasil, contendo dados horários de todo um ano meteorológico de referência.

Com o objetivo de estabelecer diretrizes para análises energéticas, várias normas abordam o tema do desempenho térmico das edificações, detalhando os procedimentos para as simulações energéticas. Um exemplo é a própria NBR 15575 (2021). Essa norma estabelece padrões para dados como horários de ocupação, número de pessoas, características da iluminação artificial e equipamentos elétricos, além de fornecer um modelo de referência para avaliar o desempenho térmico, classificando-o em três níveis: mínimo, intermediário e superior. A norma também sugere a realização de simulações com e sem ventilação natural para as duas últimas classificações (ABNT, 2021). No entanto, a NBR 15575 (2021) não oferece métodos claros, além dessas três categorias de classificação, para avaliar o potencial de melhoria do desempenho térmico geral da edificação por meio de variações nas propriedades termofísicas dos materiais de construção. Por isso, muitos autores acabam criando seus próprios procedimentos para otimizar o desempenho térmico das edificações, a partir da seleção de estratégias construtivas (MELO, CÓSTOLA e HENSEN, 2012; MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022).

Ou seja, embora forneçam diretrizes valiosas, as normas existentes não dispensam a necessidade de procedimentos adicionais para a otimização do desempenho térmico de edificações. Assim, essa necessidade torna-se um desafio (tanto na execução desses métodos quanto na comparação desses processos), mas também uma oportunidade para a inovação e o desenvolvimento de soluções mais eficientes. Nas seções a seguir, expõe-se essas questões.

3.2 Determinação do desempenho térmico

As pesquisas e normas atuais sobre desempenho térmico de edificações podem ser categorizadas em algumas metodologias. As duas principais serão descritas a seguir.

3.2.1. Carga Térmica

Uma abordagem comum é a análise da carga térmica, que durante a simulação energética, envolve a adição ou remoção de calor do ambiente para manter a temperatura dentro de uma faixa de conforto térmico (MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022; BADIEI, ALLINSON e LOMAS, 2019; FAJILLA, DE SIMONE, *et al.*, 2020). Essa abordagem também é recomendada pela norma NBR 15575, que sugere o uso de simulações computacionais (ABNT, 2021). Esse método simplificado de avaliação de desempenho energético considera que quanto menor a demanda de carga térmica para manter a temperatura interna dentro dos limites estabelecidos, melhor será o desempenho térmico e maior será a eficiência energética do edifício. Uma vantagem desse método é que nele é possível converter a demanda de carga térmica em custos de energia, utilizando as tarifas praticadas pelas concessionárias locais.

Geralmente, essa análise é realizada ao longo de um ano de referência (ABNT, 2021; RANA, HASAN, *et al.*; BADIEI, ALLINSON e LOMAS, 2019; MELO, CÓSTOLA e HENSEN, 2012), mas também existem autores que seguem uma análise em um período específico do ano, como uma semana de inverno ou verão (VALDISERRI e BISERNI, 2016; LIM, YIM e KIM, 2022), impossibilitando a comparação entre estudos. Além disso, a análise da carga térmica pressupõe o uso de um sistema mecânico de condicionamento de ar (estratégia ativa), com parâmetros de eficiência conhecidos (ou a opção por um sistema ideal durante as simulações). Ainda, a definição de uma temperatura operativa está relacionada à subjetividade do conforto térmico de cada ocupante (ASHRAE, 2017). A própria ASHRAE 55 (2021) explica que as faixas de temperatura estabelecidas para o acionamento do sistema AVAC são baseadas em pesquisas empíricas que buscam garantir o conforto térmico de 80% dos ocupantes. Além disso, foi verificado que os valores utilizados para a temperatura operativa variam em cada estudo e norma, o que pode enviesar os resultados obtidos nas análises. A norma brasileira, por exemplo, define um limite relativamente justo de temperatura operativa, 21 °C - 23 °C (ABNT, 2021), enquanto a norma estadunidense recomenda um limite de 20 °C – 25 °C (ASHRAE, 2017).

3.2.2. Graus-Hora ou Graus-Dia

Também é utilizada a metodologia de graus-hora ou graus-dia (degree-hour ou degree-day) para analisar o desempenho térmico, levando em consideração a temperatura do ambiente interno. Nessa abordagem, a simulação geralmente abrange todo o ano e compara a temperatura interna com a definida para o conforto (ABNT, 2021). A comparação pode ser feita somando-se as diferenças de temperatura entre o interior e a temperatura definida para o conforto na edificação a cada hora (ou a cada dia) (MCQUINSTON, PARKER e SPITLER, 2005). Por esse método, não é considerado um sistema AVAC para a edificação, podendo ela ser ventilada naturalmente (considerando janelas e portas abertas). Por isso, esse método oferece uma desvantagem, quando o assunto é avaliar a eficiência energética de uma edificação, já que não há medição de consumo de energia do sistema AVAC.

No entanto, na literatura dos últimos anos, esse método apresenta muitas variações de análise, que podem envolver temperaturas definidas para o conforto ou temperaturas externas. Por exemplo, no estudo de De Rosa *et al.* (2014) e Nurlybekova *et al.* (2021), os autores substituíram o uso dos limites de temperatura operacional de conforto pela temperatura fora do edifício no cálculo dos graus-dias. De Rosa *et al.* (2014) considera um valor fixo da temperatura externa a cada mês, sendo o valor médio mensal. Nurlybekova *et al.* (2021) considera os valores medidos a cada hora no cálculo. Esses

procedimentos divergentes adotados para apenas um método dificultam a comparação dos resultados de desempenho térmico de edificações envolvendo o mesmo método.

3.3 Bioclimatologia

Não se pode subestimar a influência do clima regional na avaliação do desempenho térmico (MENGJIE, FUXIN, *et al.*, 2018; HOU, LIU, *et al.*, 2017). Em um país de proporções continentais, como o Brasil, existem várias zonas bioclimáticas, cada uma com suas especificidades. O clima é um dos principais fatores que influenciam a avaliação do desempenho térmico das edificações, podendo inviabilizar certas estratégias (ABNT, 2021). Entretanto, é possível verificar no Brasil grandes construtoras fazendo obras em larga escala, em todo o país, negligenciando as especificidades climáticas de cada região. Estudos apontam os resultados disso: manifestações patológicas (como umidade, bolor) e falta de conforto térmico nas edificações (muito calor ou muito frio) (DOS SANTOS, 2021; ZANONI, DANTAS, *et al.*, 2020).

A norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2022) divide o território em 8 zonas bioclimáticas, agrupando cidades com características climáticas semelhantes (LAMBERTS, 2010). No entanto, a segunda emenda de 2021 da norma brasileira NBR 15575 (2021) destaca a importância de realizar a análise energética considerando o arquivo climático da localidade onde a edificação está localizada. Essa emenda corrigiu a ideia de que era possível obter dados representativos de uma edificação considerando apenas a zona bioclimática, sem levar em consideração a localidade específica. Contudo, é inegável que as zonas bioclimáticas estabelecidas pela norma brasileira proporcionam uma visão macro da diversidade bioclimática existente no país e sua influência no desempenho térmico das edificações. Além disso, vários requisitos das normas NBR 15575 (2021), incluindo a segunda emenda de 2021, e da NBR 15220 (2022) ainda dependem do zoneamento bioclimático brasileiro em vigor, especialmente para aspectos que não envolvem simulações energéticas.

3.4 Influência dos fechamentos no desempenho térmico da edificação

3.4.1. Principais propriedades termofísicas dos fechamentos

A capacidade térmica e a transmitância térmica são duas propriedades do fechamento que se mostram bastante influentes no desempenho térmico das edificações.

A capacidade térmica trata do potencial dos materiais de reter calor (ABNT, 2022). Um fechamento com alta capacidade térmica reduz as flutuações de temperatura no ambiente interno, principalmente nos horários de pico (MENGJIE, FUXIN, *et al.*, 2018). A capacidade térmica (C_T) do material pode ser equacionada com a multiplicação do calor específico (c), da espessura (e) e da massa específica aparente (ρ), segundo a equação 1 (ABNT, 2022).

$$C_T = e \cdot c \cdot \rho \quad (1)$$

O calor específico é uma medida do potencial de um material em se aquecer ou resfriar com a adição ou retirada de calor. Quanto maior o calor específico, menos suscetível o material é a mudanças de

temperatura. Essa propriedade é definida como a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de 1 kg do material em 1 K (ASHBY e JONE, 2007). Já a massa específica aparente é a relação entre a massa de um material e o volume ocupado por ele.

Por outro lado, a transmitância térmica é a taxa de transferência de calor de um material. Quanto maior o valor, pior é o isolamento térmico (DOS SANTOS, FOGIATTO e MENDES, 2017). Em resumo, quanto maior a espessura (e) ou menor a condutividade térmica do material (λ), menor será a transmitância térmica do mesmo (U), pois a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica (R). A (2) formula essas relações (ABNT, 2022).

$$U = 1 / R = \lambda / e \quad (2)$$

A resistência térmica é determinada pela espessura e condutividade térmica de um material, representando sua capacidade de resistir à transmissão de calor. Quanto maior a espessura e menor a condutividade térmica, maior será a resistência térmica. Por outro lado, a condutividade térmica é a capacidade dos materiais de conduzir o calor de forma constante entre duas superfícies com diferentes temperaturas. É determinada pelo fluxo de calor que ocorre de uma superfície com alta temperatura para outra com baixa temperatura (INCROPERA, 2007). Assim, esse fluxo de calor será proporcional à condutividade térmica do material.

É fundamental otimizar as propriedades termofísicas dos elementos construtivos para alcançar alto desempenho térmico em edificações. Contudo, as interações complexas entre essas propriedades tornam essa análise mais desafiadoras. Nem sempre a melhoria desses parâmetros vai acarretar em uma melhoria significativa do desempenho térmico da edificação (MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022), carecendo estudos com uma abordagem mais holística, apoiada nas simulações energéticas.

3.4.2. Estudos para a melhoria do desempenho térmico da edificação envolvendo os seus fechamentos

O controle do desempenho térmico das edificações pode ser alcançado através de estratégias classificadas como passivas e ativas (LAMBERTS, 2010). As estratégias ativas são aquelas que requerem o uso contínuo de energia para melhorar o desempenho térmico e, assim, prejudica a busca pela eficiência energética da edificação, influenciando negativamente na sustentabilidade da construção. A instalação de sistemas de AVAC, como ar-condicionado, ventiladores e aquecedores, são exemplos comuns de técnicas ativas adotadas em edificações (ASHRAE, 2017). Por outro lado, as estratégias passivas são aquelas que não demandam energia para funcionar.

Lamberts *et al.* (2014) elencaram algumas técnicas para o favorecer o aquecimento do ambiente interno, são elas: uso de cores escuras nos fechamentos da edificação, emprego de janelas grandes e demais fechamentos translúcidos, adoção de fechamentos com isolamento térmico, estudo de edificações subterrâneas e garantia de estanqueidade dos fechamentos. Lamberts *et al.* (2014) também comentaram sobre algumas técnicas para favorecer o resfriamento da edificação, são elas: uso de cores claras nos fechamentos, implementação de floreiras nas aberturas da edificação; sombreamento das fachadas com uso de toldos e estudo de moradias semienterradas.

Por exemplo, em um estudo de retrofit realizado por Salem *et al.* (2019) no hotel Hilton Edinburgh Grosvenor, no Reino Unido, foi observado que a utilização de vidro triplo resultou em uma redução de 7% na demanda de energia da edificação. Em outro estudo, Gijón-Rivera *et al.* (2011), analisaram o desempenho térmico do último pavimento de um prédio envidraçado de escritórios na Cidade do México e constataram que a substituição de um painel de vidro simples por vidro duplo poderia gerar uma economia de 33% nos custos de energia. Além disso, Ashraf *et al.* (2020) destacaram que a incorporação de cinzas de palmeiras na argamassa de blocos de edificação pode aumentar em até 47% a resistência térmica dos blocos, resultando em uma economia de até 7,6% de energia anual em uma edificação em Dhahran, na Arábia Saudita. Já Nematchoua *et al.* (2020) investigaram que a combinação de certos materiais com isolamento térmico (os materiais com mudança de fase, PCM) é capaz de reduzir a energia demandada para o resfriamento de uma edificação em aproximadamente 12% nas cidades de Antsiranana, Mahajanga, Tamatave e Taolagnaro, localizadas em Madagascar, as quais se distribuem em três diferentes zonas bioclimáticas. Por outro lado, Kalan *et al.* (2016), ao estudarem o uso de fachadas verdes em um edifício em Hong Kong, na China, observaram que esse sistema reduzia o consumo de energia para resfriamento em 3%, mas aumentava o consumo energético em situações de aquecimento do ambiente interno. Os autores concluíram que as fachadas verdes podem ser uma estratégia passiva mais viável em regiões de clima quente.

Assim, ao conhecer as propriedades termofísicas dos elementos construtivos das envoltórias, é importante otimizá-las para alcançar um alto desempenho térmico na edificação. No entanto, é crucial entender que essas propriedades atuam de forma interligada e o efeito combinado das técnicas pode resultar em alterações diferentes das avaliações individuais de cada propriedade dos materiais da envoltória. Além disso, é preciso considerar que a região bioclimática exerce influência nos resultados do desempenho térmico da edificação, aumentando a complexidade dessa análise.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão narrativa realizada, foi possível concluir que a análise de desempenho térmico é um campo de estudo amplo e fundamental para a construção civil. Foram explorados os principais conceitos, técnicas de avaliação e estratégias promissoras para melhorar o desempenho térmico, com foco especial nos fechamentos da edificação. Destacou-se a tendência de utilizar simulações energéticas, juntamente com métodos de carga térmica e graus-hora ou graus-dia, para avaliar o desempenho térmico, os quais não têm um padrão de utilização muito definido entre os estudos.

Além disso, é importante considerar a influência das propriedades termofísicas dos fechamentos na eficiência térmica das edificações, destacando a capacidade térmica e a transmitância térmica dos fechamentos. A otimização do desempenho térmico não é apenas uma questão de escolher os materiais mais eficientes. Também é essencial reconhecer a importância da bioclimatologia na análise do desempenho térmico adaptadas às necessidades térmicas específicas de cada localização. Isso envolve considerar o clima da região em conjunto com as características da envoltória do edifício, os sistemas de ventilação, o isolamento térmico e outras soluções de projeto. Tudo isso aumenta a complexidade da análise, exigindo abordagens integradas para garantir resultados satisfatórios. É crucial, portanto, que os profissionais da construção estejam preparados para enfrentar essas nuances e desafios.

Assim, este trabalho fornece informações valiosas não apenas para pesquisadores e estudiosos que estão iniciando seus estudos sobre desempenho térmico de edificações, mas também para profissionais da área da construção civil. Em suma, a revisão narrativa deste trabalho destaca a importância do desempenho térmico das edificações e oferece uma visão abrangente que auxilia no aprimoramento das práticas de projeto e construção, visando alcançar edificações mais confortáveis, eficientes e sustentáveis.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575** - Edifícios Residenciais - Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220** - Desempenho térmico em edificações. Rio de Janeiro. 2022.
- ASHBY, M.F.; JONE, D.R.H. **Engenharia de Materiais: uma introdução a propriedades, aplicações e projeto**. Ashrae. 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. [S.l.]. 2017.
- ASHRAF, Noman et al. Assessment of thermal and energy performance of masonry blocks prepared with date palm ash. **Materials for Renewable and Sustainable Energy**, v. 3, 2020.
- BADIEI, A.; ALLINSON, D.; LOMAS, K. J. Automated dynamic thermal simulation of houses and housing stocks using readily available reduced data. **Energy and Buildings**, v. 203, 109431 2019.
- CAU/MG. **Pesquisa Datafolha: 82% das moradias do país são obras irregulares**. Conselho de Arquitetura e Urbanismo de Minas Gerais, 2022. Disponível em: <<https://www.caumg.gov.br/pesquisa-datafolha-cau-2022/>>. Acesso em: 06 jan. 2022.
- CERIBELI, Harrison B. et al. Home office sob a perspectiva dos trabalhadores: lições do período pandêmico. **Revista Fatec Zona Sul**, v. 9, n. 18, p. 17-34, 2023.
- CHVATAL, Karin M. S. Evaluation of NBR 15575 simplified procedure for determining the thermal performance level of dwellings. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 119-134, 2014.
- DE ROSA, Mattia et al. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach. **Applied Energy**, v. 128, p. 217-229, 2014.
- DOS SANTOS, Gerson H.; FOGIATTO, Marcelo A.; MENDES, N. Numerical analysis of thermal transmittance of hollow concrete blocks. **Journal of Building Physics**, p. 1-18, 2017.
- DOS SANTOS, Lívia L. F. **Avaliação pós-ocupação e análise do desempenho térmico em habitação de interesse social com sistema de construção em concreto moldado in loco**. Universidade Federal de Ouro Preto (Pós-Graduação), Ouro Preto, p. 122, 2021.
- FAJILLA, Gianmarco et al. Assessment of the Impact of Occupants' Behavior and Climate Change on Heating and Cooling Energy Needs of Buildings. **Energies**, v. 13, p. 6468, 2020.
- GIJÓN-RIVERA, M. et al. Appraisal of thermal performance of a glazed office with a solar control coating: Cases in Mexico and Canada. **Building and Environment**, v. 46, p. 1223-1233, 2011.
- HOU, Liqiang et al. The Impacts of Energy Efficiency Design Parameters on Office Buildings Energy Consumption in Different Climate Zones in China. **Procedia Engineering**, v. 205, p. 2478-2484, 2017.
- INCROPERA, F. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 6. ed. 2007.

- JORNAL NACIONAL. **Itália, Espanha e França convivem com novas restrições para conter a pandemia de Covid.** G1, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2020/10/26/italia-espanha-e-franca-convivem-com-novas-restricoes-para-conter-a-pandemia-de-covid.ghtml>>. Acesso em: 14 ago. 2021.
- KALANI, K. W. D.; DAHANAYAKE, C.; CHOW, Cheuk L. Studying the Potential of Energy Saving through Vertical Greenery Systems: Using EnergyPlus Simulation Program. **Energy and Buildings**, v. 138, p. 47-59, 2016.
- KLEPEIS, Neil E. et al. **The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS).** Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. Disponível em: <<https://indoor.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-47713.pdf>>.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Rio de Janeiro. 2014.
- LAMBERTS, Roberto. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico.** Florianópolis. 2010.
- LIM, Taesub; YIM, Woong-Seog; KIM, Daeung-Danny. Analysis of the Thermal and Cooling Energy Performance of the Perimeter Zones in an Office Building. **Building**, v.12, n.2, p.141, 2022.
- MCQUINSTON, F. C.; PARKER, J. D.; SPITLER, J. D. **Heating, Ventilation and Air Conditioning: Analysis and Design.** John Wiley & Sons, Inc. NJ, USA. 2005.
- MELO, A. P.; CÓSTOLA, D.; HENSEN, J. L. M. Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation model using BESTEST: The case study of Brazilian regulation. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 219-228, 2012.
- MENDES, Vítor F. et al. Sensitivity analysis of coating mortars according to their specific heat, specific gravity, thermal conductivity, and thickness in contribution to the global thermal performance of buildings. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 31, p. e00381, 2022.
- MENGJIE, S. et al. Review on building energy performance improvement using phase. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 776-793, 2018.
- NEMATCHOUA, Modeste K. et al. Application of phase change materials, thermal insulation, and external shading for thermal comfort improvement and cooling energy demand reduction in an office building under different coastal tropical climates. **Solar Energy**, v. 207, p. 458-470, 2020.
- NURLYBEKOVA, Gauhar; MEMON, Shazim A.; ADILKHANOVA, Indira. Quantitative evaluation of the thermal and energy performance of the PCM integrated building in the subtropical climate zone for current and future climate scenario. **Energy**, v. 219, p. 119587, 2021.
- PIECADE, António C. D.; RODRIGUES, António M.; RORIZ, Luís F. **Climatização em edifícios: envolvente e comportamento térmico.** Alfragide. 2003.
- PRODANOV, Cleber C.; DE FREITAS, Ernani C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** [S.l.]. 2013.
- RANA, Jewel et al. Evaluation of passive design strategies to achieve NZEB in the corporate facilities: the context of Bangladeshi subtropical monsoon climate. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**. 2398-4708.
- SALEM, Radwa et al. Investigating the potential impact of energy-efficient measures for retrofitting existing UK hotels to reach the nearly zero energy building (nZEB) standard. **Energy Efficiency**, v. 12, p. 1577-1594, 2019.
- VALDISERRI, Paola; BISERNI, Cesare. Energy performance of an existing office building in the northern part of Italy: Retrofitting actions and economic assessment. **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 65-72, 2016.
- ZANONI, Vanda Alice G. et al. Hygrothermal study in a self-built house: computer simulation and field monitoring. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 109-120, 2020

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Universidade Federal de Juiz de Fora, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (PROPEC-UFOP), à Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPPI-UFOP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio e financiamento das bolsas de doutorado de Aldo Ribeiro de Carvalho, Júlia Assumpção de Castro e Vítor Freitas Mendes.