XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8346

Fluxo paramétrico para avaliação e classificação do desempenho térmico conforme a NBR 15575:2025

Parametric Workflow for the Assessment and Classification of Thermal Performance According to NBR 15575:2025

Vitor Mateus Bandeira Boff
UNISINOS | São Leopoldo | Brasil | E-mail: boffvitor@gmail.com
Andrea Parisi Kern
UNISINOS | São Leopoldo | Brasil | E-mail: apkern@unisinos.br
André Canal Marques
UNISINOS | São Leopoldo | Brasil | E-mail: andrecm@unisinos.br

Resumo

O desempenho térmico de edificações no Brasil é regulamentado pela NBR 15575:2025, cuja verificação, em níveis intermediário e superior, depende de simulação computacional e interpretação dos resultados. Apesar do avanço das ferramentas paramétricas e de simulação termoenergética, a classificação normativa ainda depende, em grande parte, de pós-processamentos manuais, tornando o processo suscetível a erros e limitando sua integração ao projeto. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um fluxo automatizado, integrado ao ambiente paramétrico do Grasshopper, para avaliação e classificação do desempenho térmico conforme os critérios da norma. A metodologia consiste na modelagem paramétrica da edificação, simulação por meio do EnergyPlus via Ladybug Tools e processamento automatizado dos resultados com aplicação direta das condicionais normativas. Os resultados demonstram que o fluxo proposto realiza a classificação normativa de forma automática, rápida e integrada, reduzindo etapas intermediárias e o potencial de erros. Como contribuição, o estudo avança na integração entre simulação e avaliação normativa, ampliando o uso da simulação como apoio à tomada de decisão projetual.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Modelagem Paramétrica. Ladybug Tools

Abstract

Thermal performance of buildings in Brazil is regulated by NBR 15575:2025, whose verification, at intermediate and superior levels, depends on computational simulation and interpretation of results. Despite advances in parametric and building energy simulation tools, normative classification still relies largely on manual post-processing, making the process prone to errors and limiting its integration into the design process. This study aims to develop an automated workflow, integrated into the Grasshopper parametric environment, for the assessment and classification of thermal performance according to the standard's criteria. The methodology consists of parametric building modeling, simulation using EnergyPlus through Ladybug Tools, and automated processing of results with direct application of the standard's conditional criteria. The results show that the proposed workflow performs normative classification automatically, quickly, and in an integrated manner, reducing intermediate steps and the potential for errors. As a contribution, the study advances the integration between simulation and normative assessment, expanding the use of simulation as a tool to support design decision-making.

Keywords: Thermal performance. Parametric design. Ladybug Tools

BOFF, V.; KERN, A.; MARQUES, A. Avaliação automatizada do desempenho térmico conforme a NBR 15575:2025 utilizando um fluxo de trabalho paramétrico ENTAC 2026. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8346

INTRODUÇÃO

A avaliação do desempenho térmico de edificações habitacionais no Brasil é estruturada pela NBR 15575:2025, que estabelece critérios para a classificação do desempenho térmico das edificações em níveis mínimo, intermediário e superior. A verificação normativa envolve a comparação entre uma edificação real e uma edificação de referência, considerando indicadores como o Percentual de Horas dentro de uma Faixa de Temperatura Operativa (PHFT), as temperaturas operativas anuais máximas e mínimas (Tomáx e Tomín) e a Carga Térmica Total (CgTT). [1]

Para os níveis intermediário e superior, essa avaliação depende de simulação termoenergética, uma vez que os resultados precisam ser obtidos e interpretados a partir do comportamento horário da edificação ao longo do ano [1].

O EnergyPlus (EP) é utilizado para simulação termoenergética de edificações e permite calcular temperaturas operativas, cargas térmicas e demandas de energia a partir de modelos físicos detalhados [2][3][4].

No entanto, o uso convencional do EP tende a exigir etapas posteriores de organização e interpretação dos resultados em outros ambientes computacionais. Manuais brasileiros voltados à simulação no EP, por exemplo, indicam o uso de planilhas eletrônicas como apoio para visualização, filtragem e interpretação dos resultados obtidos [5][6]. Embora esse procedimento seja funcional, ele fragmenta o fluxo de trabalho, exige transposição manual de dados e pode ampliar o risco de erros operacionais na aplicação dos critérios normativos.

A literatura recente também evidencia o avanço do uso combinado de modelagem paramétrica e simulação termoenergética em estudos de desempenho. Almeida e Silva [7] demonstraram a aplicação de estratégias paramétricas associadas ao desempenho térmico, utilizando indicadores como PHFT e temperatura operativa para orientar decisões projetuais. Castagini, Leitzke e Krüger [8], por sua vez, exploraram a variação de tipologias, materiais e parâmetros geométricos em uma edificação residencial multifamiliar, demonstrando a capacidade do ecossistema de simulação paramétrica para avaliar múltiplos cenários e comparar alternativas arquitetônicas. Esses trabalhos reforçam o potencial da modelagem paramétrica para integrar análise ambiental e processo de projeto.

Entretanto, apesar desses avanços, os estudos existentes ainda tratam de forma parcial a relação entre simulação termoenergética, modelagem paramétrica e classificação normativa. Em geral, os fluxos paramétricos são empregados para avaliar indicadores de desempenho, comparar alternativas ou apoiar decisões projetuais, mas não necessariamente convertem os resultados da simulação em uma classificação completa segundo os critérios da NBR 15575:2025. Por outro lado, iniciativas voltadas à automatização da avaliação normativa, como a ferramenta desenvolvida por Lima Braga et al. [9], avançam na redução de erros humanos ao automatizar o cálculo de indicadores da NBR 15575:2025, mas mantêm a interpretação dos resultados em ambiente externo ao modelo paramétrico, como planilhas eletrônicas.

Diante desse contexto, identifica-se como lacuna a ausência de um fluxo integrado que conecte, em um mesmo ambiente paramétrico, a modelagem da edificação, a simulação termoenergética dos modelos real e de referência, a extração dos resultados horários, o cálculo dos indicadores exigidos pela NBR 15575:2025 e a classificação automática do desempenho térmico. Essa lacuna é relevante porque a avaliação normativa envolve uma sequência de filtros e condicionais que, quando processados manualmente ou em ambientes separados, podem dificultar a

reprodutibilidade, aumentar a dependência de pós-processamento externo e afastar a análise de desempenho das etapas de decisão projetual.

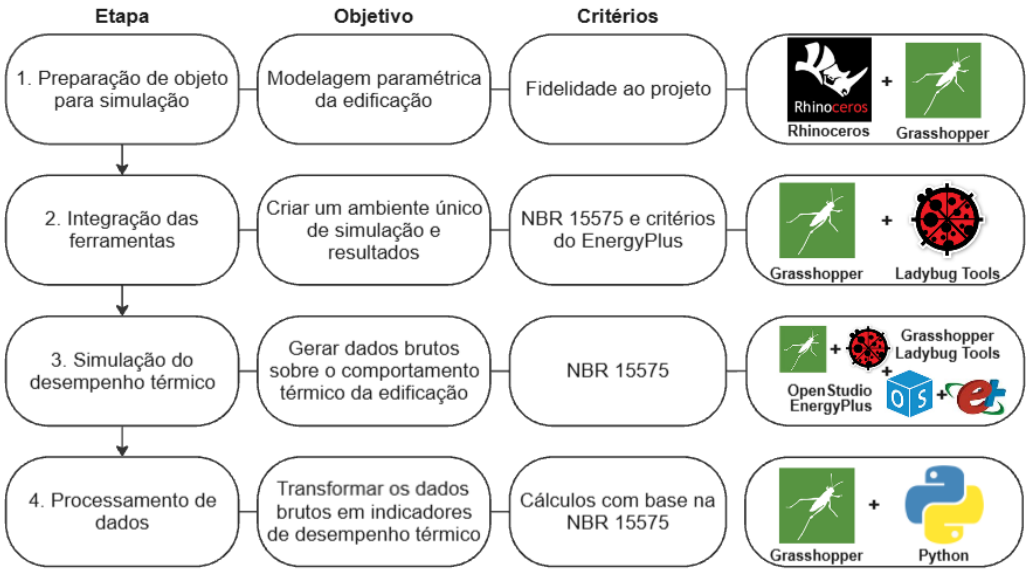
Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver e verificar um fluxo paramétrico automatizado para avaliação e classificação do desempenho térmico de uma edificação habitacional conforme os critérios da NBR 15575:2025. A proposta integra Rhinoceros, Grasshopper (GP), Ladybug Tools (LBT), OpenStudio e EnergyPlus (EP) para processar automaticamente os resultados de simulação, calcular PHFT, Tomáx, Tomín e CgTT, aplicar as condicionais normativas e retornar a classificação da edificação nos níveis mínimo, intermediário e superior. Como contribuição, o estudo formaliza computacionalmente a sequência normativa de avaliação térmica, reduzindo a dependência de pós-processamento manual e aproximando a verificação normativa do processo projetual paramétrico.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa, baseada em modelagem paramétrica e simulação termoenergética. O método foi estruturado para desenvolver e verificar um fluxo computacional capaz de integrar a modelagem da edificação, a simulação dos modelos real e de referência, o processamento dos indicadores da NBR 15575:2025 e a classificação automática do desempenho térmico.

A metodologia foi organizada em quatro etapas conforme a Figura 1 mostra o fluxo computacional proposto nesta pesquisa.

Figura 1: Etapas metodológicas do fluxo computacional



Fonte: o autor.

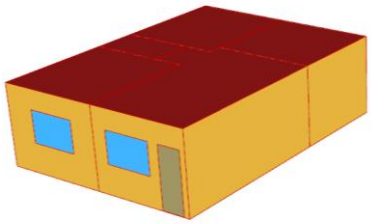
ETAPA 1: PREPARAÇÃO DO MODELO PARA SIMULAÇÃO

A unidade habitacional adotada corresponde a uma residência unifamiliar genérica, localizada na zona bioclimática 2R na cidade de Porto Alegre [10]. A edificação possui 9,5 m de comprimento, 7,0 m de largura e pé-direito de 2,8 m, sendo composta por sala, cozinha, dois dormitórios e banheiro. Conforme os critérios da NBR 15575:2025,

foram consideradas como Áreas de Permanência Prolongada (APPs) a sala e os dois dormitórios.

A geometria foi modelada no Rhinoceros 3D e parametrizada no Grasshopper, permitindo a organização dos ambientes, superfícies construtivas, aberturas e zonas térmicas. A partir dessa base, foram estruturados os modelos real e de referência, mantendo-se a coerência geométrica necessária à comparação normativa. A Figura 2 apresenta a unidade habitacional utilizada como base para o estudo.

Figura 2: Unidade habitacional considerada para o estudo.



Fonte: o autor.

ETAPA 2: INTEGRAÇAO DAS FERRAMENTAS

O Ladybug Tools foi utilizado para estruturar as informações necessárias à simulação termoenergética e estabelecer a comunicação entre o Grasshopper, o OpenStudio e o EnergyPlus. Enquanto o Grasshopper fornece a base geométrica e paramétrica, o Ladybug Tools permite atribuir propriedades construtivas, dados climáticos, rotinas de ocupação, condições de ventilação e parâmetros de climatização aos modelos simulados.

Essa integração é fundamental para converter o modelo geométrico em um modelo energético completo, no qual cada ambiente passa a possuir comportamento térmico definido.

ETAPA 3: SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

Para atender à lógica de avaliação da NBR 15575:2025, foram considerados dois modelos: o modelo real, representando a edificação analisada, e o modelo de referência, configurado conforme os parâmetros normativos. Cada modelo foi submetido a duas condições operacionais, resultando em quatro simulações: modelo real com ventilação natural, modelo de referência com ventilação natural, modelo real climatizado artificialmente e modelo de referência climatizado artificialmente.

As simulações em ventilação natural foram utilizadas para a verificação do nível mínimo de desempenho térmico, com base nas temperaturas operativas horárias das APPs. As simulações em condição climatizada foram utilizadas para a verificação dos níveis intermediário e superior, considerando também as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento. Todas as simulações foram realizadas para um ano completo.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8346

ETAPA 4: PROCESSAMENTO DOS DADOS E CLASSIFICAÇÃO NORMATIVA

Os resultados gerados pelo EnergyPlus foram lidos no Grasshopper e processados automaticamente. As principais saídas utilizadas foram as séries horárias de temperatura operativa e as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento. Esses dados foram separados por modelo, real e referência, e por ambiente, mantendo-se no processamento apenas as APPs.

Para o cálculo do PHFT, as séries anuais de temperatura operativa foram filtradas de acordo com os horários de ocupação de cada APP, removendo os períodos não considerados pela norma. Em seguida, cada hora ocupada foi comparada com a faixa de temperatura operativa correspondente à zona bioclimática adotada. Também foram extraídas as temperaturas operativas máximas e mínimas anuais.

Para os níveis intermediário e superior, as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento foram processadas para obtenção da Carga Térmica Total da unidade habitacional. Por fim, o fluxo compara os resultados dos modelos real e de referência, calcula as diferenças necessárias e aplica automaticamente as condicionais normativas para classificar o desempenho térmico nos níveis mínimo, intermediário ou superior.

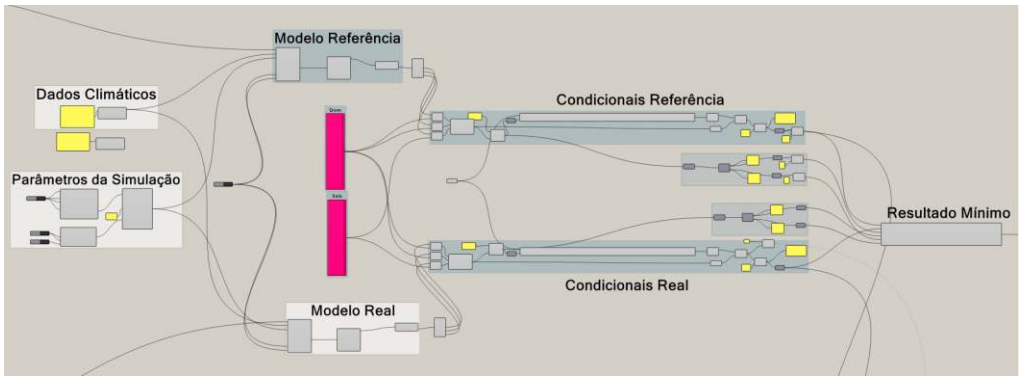
Dessa forma, o método transforma os resultados brutos da simulação termoenergética em indicadores normativos, eliminando etapas intermediárias de pós-processamento externo e permitindo que a avaliação do desempenho térmico ocorra dentro do próprio ambiente paramétrico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados tem início após a execução das simulações termoenergéticas dos modelos real e de referência, considerando inicialmente a condição de ventilação natural, utilizada para a verificação do desempenho térmico mínimo. O objetivo principal foi verificar se as saídas horárias geradas pelo EP poderiam ser lidas, organizadas e convertidas automaticamente em indicadores compatíveis com os critérios da NBR 15575:2025.

O fluxo de trabalho, desde a inserção dos dados climáticos até a aplicação das condicionais de desempenho e obtenção do resultado está representado na Figura 3.

Figura 1: Fluxograma do algoritmo para determinação do desempenho mínimo



Fonte: o autor

O EP gera os resultados da simulação em arquivo no formato .sql (Structured Query Language), posteriormente lido no Grasshopper. A partir dessa leitura, as séries horárias de temperatura operativa são separadas por modelo, real e referência, e por ambiente. Como a unidade habitacional analisada é composta por cinco ambientes, dos quais apenas três são classificados como APP.

Em seguida, são removidos os períodos sem ocupação de cada APP, o Grasshopper lê as horas provenientes da simulação e cruza com as rotinas de ocupação descritas pela norma, removendo períodos de inatividade.

Após a filtragem por ambiente e por ocupação, o algoritmo aplica a faixa de temperatura operativa correspondente à zona bioclimática adotada. Assim, cada valor horário de temperatura operativa é comparado ao intervalo admissível, gerando uma lista booleana em que os valores “True” representam horas ocupadas dentro da faixa e os valores “False” representam horas fora da faixa.

A Tabela 1 apresenta o resultado desse processamento para os modelos de referência e real. Observa-se que o modelo de referência apresentou 6918 horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, enquanto o modelo real apresentou 7947 horas. Esses valores resultaram em PHFT de 67,69% para o modelo de referência e 77,76% para o modelo real. Cabe salientar que o PHFT do modelo de referência foi multiplicado por 0,9, conforme procedimento previsto na NBR 15575:2025.

Tabela 1 - Resultado do PHFT

	Modelo Referência	**Modelo Real**
Resultados “True”	6918 horas	7947 horas
PHFT	67,69 %	77,76 %

Fonte: o autor.

Além do PHFT, são coletadas as Tomáx e Tomín das APPs conforme a Tabela 2. Esses valores são necessários para a verificação do desempenho mínimo.

Tabela 2 - Tomáx e Tomin em °C

	Modelo Referência	**Modelo Real**
Tomáx (°C)	31,07	28,57
Tomin (°C)	11,57	13,94

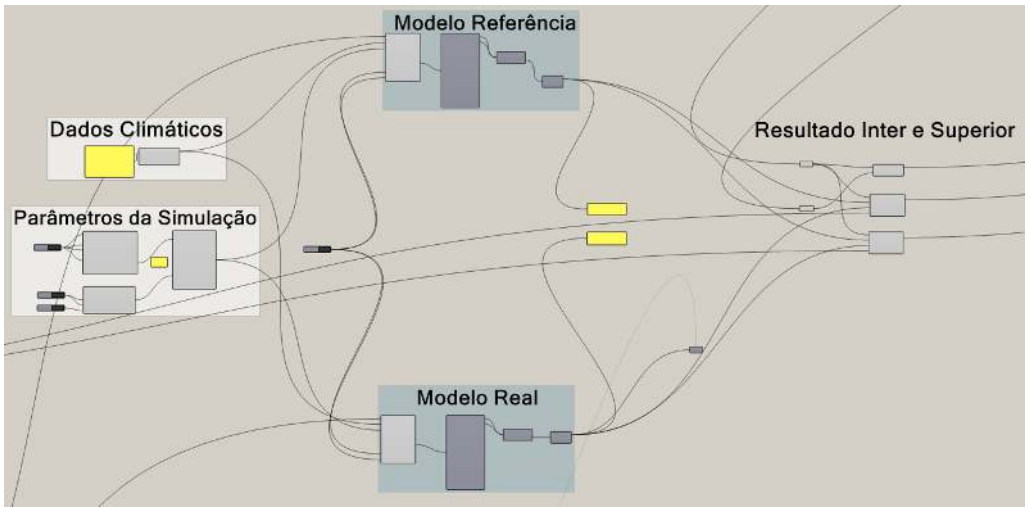
Fonte: o autor

Ao final, o resultado é interpretado pela seguinte linha de código:

$$If((PHFT_{REAL} > PHFT_{REF})\ and\ (TOmáx_{ref} \geq TOmáx_{real})\ and\ (TOmin_{real} \leq TOmáx_{ref}), "Desempenho\ Mínimo", "Não\ Atinge")$$

A determinação dos níveis de desempenho intermediário e superior baseia-se também na análise comparativa entre os modelos de referência e real, adotando-se, nesta etapa, a condição de ambientes climatizados artificialmente e sem ventilação natural, conforme as exigências da NBR 15575:2025 conforme a Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do algoritmo para determinação do desempenho intermediário e superior



Fonte: o autor

Os resultados extraídos do EP representam o consumo energético acumulado necessário para o resfriamento e aquecimento das APPs.

Para a determinação do desempenho intermediário, o fluxo utiliza o Python para calcular inicialmente a diferença entre o PHFT do modelo real e referência. Esse valor é comparado ao incremento mínimo exigido pela norma, definido em função do próprio PHFT de referência. Paralelamente, o algoritmo calcula a redução percentual da CgTT do modelo real em relação ao de referência, verificando se o valor obtido atende ao limite mínimo correspondente.

A verificação do desempenho superior segue a mesma lógica comparativa, porém com limites mais rigorosos para a redução da CgTT. Dessa forma, o algoritmo utiliza os mesmos dados de entrada, mas aplica condicionais específicas para identificar se a edificação atende ao nível superior.

É possível analisar o tempo que cada operação computacional demanda por meio de ferramentas nativas do Grasshopper conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Tempo consumido para simulação e resultados em segundos neste estudo.

Nó	Tempo consumido (s)
Simulação Referência (desempenho mínimo)	27,84
Simulação Real (desempenho mínimo)	24,68
Condicionais (desempenho mínimo)	1,9
Simulação Referência (desempenho intermediário e superior)	33,34
Simulação Real (desempenho intermediário e superior)	33,6
Condicionais (desempenho intermediário e superior)	0,16
TOTAL	121,52

Fonte: o autor

Observa-se que o maior tempo de processamento está concentrado nas simulações termoenergéticas executadas pelo EP, enquanto as rotinas de classificação normativa representam parcela reduzida do tempo total. As condicionais responsáveis pela verificação do desempenho mínimo consumiram 1,90 s, e aquelas associadas aos

níveis intermediário e superior consumiram 0,16 s. Em conjunto, essas etapas representam menos de 2% do tempo total registrado.

Esse resultado indica que a integração da classificação normativa ao ambiente paramétrico não acrescenta custo computacional relevante ao fluxo de simulação. A principal contribuição, portanto, não está na redução do tempo de cálculo do EP, mas na eliminação de etapas intermediárias de organização, transcrição e interpretação dos resultados em ambientes externos. Desse modo, o fluxo automatizado reduz a dependência de pós-processamento manual e permite que a classificação normativa seja obtida imediatamente após a simulação.

Em comparação com o procedimento convencional baseado na exportação de dados para planilhas, o método proposto concentra em um único ambiente a modelagem, a simulação, a leitura das saídas e a aplicação das condicionais da NBR 15575:2025. Essa integração contribui para reduzir erros associados à seleção das APPs, à filtragem das horas ocupadas, à contagem das horas dentro da faixa de temperatura operativa e à aplicação dos critérios de classificação.

Os resultados obtidos demonstram, portanto, a viabilidade do fluxo automatizado como procedimento de apoio à avaliação normativa do desempenho térmico. Embora o estudo tenha sido aplicado a uma única unidade habitacional unifamiliar, os resultados mostram que a lógica computacional desenvolvida é capaz de transformar dados horários de simulação em indicadores normativos e classificação final de desempenho, mantendo o processamento dentro do ambiente paramétrico.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um fluxo automatizado, integrado ao ambiente de modelagem paramétrica Grasshopper, capaz de realizar a classificação do desempenho térmico de edificações residenciais conforme os critérios mínimos, intermediários e superiores da NBR 15575:2025. Como principal contribuição, o estudo demonstra a viabilidade de integrar diretamente a simulação termoenergética à classificação normativa, eliminando a necessidade de pós-processamento manual e reduzindo a dependência de etapas externas ao ambiente de projeto. A proposta respondeu a uma lacuna recorrente na literatura nacional, que, embora avance na simulação termoenergética e na exploração paramétrica de alternativas projetuais, ainda depende majoritariamente de interpretações manuais para verificação normativa.

Os resultados demonstram que o fluxo desenvolvido interpreta diretamente as saídas horárias do EP, filtra as horas ocupadas, calcula automaticamente os parâmetros PHFT, CgTT e Tomáx e Tomín e executa as condicionais normativas, retornando ao projetista uma classificação objetiva de desempenho. Essa integração elimina etapas intermediárias, reduz o potencial de erros humanos e concentra todo o processo de avaliação em um único ambiente computacional. Os resultados indicam que o método pode ser incorporado ao fluxo de projeto, contribuindo para uma prática projetual mais integrada e orientada por desempenho.

Observou-se ainda que o tempo adicional de processamento associado às rotinas de classificação é praticamente desprezível quando comparado ao tempo de simulação, reforçando a viabilidade do uso do método em fases iniciais de projeto e em estudos comparativos. Dessa forma, o fluxo não apenas facilita o atendimento à norma, mas também amplia o potencial do Grasshopper como ferramenta de apoio à tomada de decisão projetual orientada por critérios normativos.

Ao incorporar a lógica normativa diretamente no ambiente de modelagem paramétrica, o fluxo proposto contribui para uma mudança na prática projetual, aproximando a simulação computacional do processo decisório e ampliando o papel do projetista como mediador entre desempenho, norma e forma arquitetônica.

Como trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade de expansão do método para identificar as diferentes condições possíveis tais como: edificação multifamiliar térreo, tipo e/ou cobertura presentes na NBR 15575:2025, bem como sua integração a rotinas de otimização, permitindo que a classificação normativa deixe de ser apenas um critério de verificação final e passe a atuar como objetivo ativo no processo de projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a iniciativa PROSUC (Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Educação Superior) da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou o GPT-4o para a melhoria de coesão e aumento da qualidade de imagens do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2025:** Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2025.

[2] PEREIRA, H.; Melo, A.; Sorgato, M.; Versage, R.; Matos, M.; Lamberts, R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa energyplus versão 8.0.** 1 ed. Florianópolis, 2013.

[3] Brito, B.; Silva, F.; Checcucci. Estudo comparativo entre ferramentas de projeto paramétrico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. **Proceedings [...].** Porto Alegre: ANTAC; 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.1228

[4] SANTOS, Ana Carolina dos; LIMA, João Victor de Souza; FARIA, João Roberto Gomes de; FONTES, Maria Solange Gurgel de Castro. USO DO ENERGYPLUS EM PESQUISAS BRASILEIRAS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018. **Proceedings [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 555–568. DOI:

10.46421/entac.v17i1.1384. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1384.

[5] Sousa, F. (Ed.). **Manual de Introdução à Simulação do Desempenho de Edifícios: Um curso para iniciantes no software EnergyPlus.** 1 ed. Campo Grande; Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2021.

[6] Silva, J.; Reyes, J.; Velasco, R.; Almeida, T. **Manual EnergyPlus**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2023.

[7] Almeida, V.; Silva, F. Projeto baseado no desempenho térmico por meio da modelagem paramétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2024. **Proceeding [...].** Porto Alegre: ANTAC; 2024. p. 1–12. doi:10.46421/entac.v20i1.5912

[8] Castagini, A.; Leitzke, R.; Krüger, E. Avaliação paramétrica compositiva para uma edificação residencial multifamiliar em Curitiba-PR. **International Journal Of Professional Business Review**. v. 9, n. 7, p. 1-15, jun. 2024. DOI: 10.26668/businessreview/2024.v9i7.4746

[9] Lima Braga, J.; Machado, R.; Dutra, A.; Cunha, L.; Monteiro, G.; Almeida. P.; Reis, M.; Zemero, B.; Barata, M.; Arruda, E. Desenvolvimento de Ferramenta Automatizada para Avaliação do Desempenho Térmico conforme a NBR 15575:2021. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2025. Proceedings [...]. [S. l.], 2025. DOI: 10.46421/encacelacac.v18i1.7223

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:2024:** Desempenho térmico de edificações parte 3: zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2024.