

Desenvolvimento de Software Livre para Cálculo de Fechamento Equivalente e uso em Simulação Computacional Termoenergética

Jonathan Ariel Salinas Espinola,
Universidade Federal da Integração Latino
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu,
Paraná, Brasil,
jas.espinola.2022@aluno.unila.edu.br

Julia Costa Cardim,
Universidade Federal da Integração Latino
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu,
Paraná, Brasil,
julia.cardim11@gmail.com

Joylan Nunes Maciel,
Universidade Federal da Integração Latino
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu,
Paraná, Brasil,
<https://orcid.org/0000-0003-0725-6917>

Egon Vettorazzi,
Universidade Federal da Integração Latino
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu,
Paraná, Brasil,
<https://orcid.org/0000-0002-6905-3325>

Abstract— Aiming to improve the reliability and efficiency of thermal and energy performance simulations in buildings, this study presents the development of a software tool to facilitate the construction components specification in EnergyPlus. The system automates the calculation of equivalent homogeneous envelopes from heterogeneous assemblies, a currently manual and error-prone process, reducing both input errors and time consumption. The methodology involved the calculation and validation of equivalent envelopes against reference values, supported by a configured database of construction materials with thermal properties (thermal conductivity, density, and specific heat). The software was developed for Windows and Linux platforms, ensuring broad accessibility. Results indicate that the tool enhances the accuracy of EnergyPlus models and streamlines the simulation process, contributing to more reliable and energy-efficient building designs.

Keywords— equivalent closure, thermal comfort, passive architecture, energy efficiency.

Resumo— Visando aumentar a confiabilidade e eficiência na simulação de desempenho térmico e energético de edificações, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software para facilitar a especificação de componentes construtivos no EnergyPlus. O software automatiza o cálculo do fechamento homogêneo equivalente a partir de estruturas heterogêneas, processo atualmente manual e crítico, reduzindo erros e tempo de entrada de dados. A metodologia envolveu o cálculo e validação do fechamento equivalente com base em valores de referência, a partir da configuração de um banco de dados de materiais com propriedades térmicas (condutividade, densidade, calor específico). O software foi desenvolvido para as plataformas Windows e Linux, garantindo ampla acessibilidade. Os resultados indicam que a ferramenta melhora a precisão dos modelos no EnergyPlus e agiliza o processo de simulação, contribuindo para projetos mais confiáveis e energeticamente eficientes.

Palavras-chave — fechamento equivalente, conforto térmico, arquitetura passiva, eficiência energética.

I. INTRODUÇÃO

As edificações representam mais de um terço do consumo de energia no mundo [1]. No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia residencial representou 26,4% do total em 2022, menor apenas que o setor de industrial com 37,4%. O consumo de energia elétrica com aparelhos de ar-condicionado tende a crescer: segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029, passará de 19% em 2019 para 27% em 2029 [2].

Para aumentar o conforto térmico com menor gasto de energia é essencial projetar de acordo com o clima local, utilizando técnicas construtivas apropriadas. Os materiais construtivos irão variar conforme as condições climáticas, por exemplo, em um local de clima frio será necessário isolamento térmico e mínimo ventilação enquanto em um local de clima predominante quente e úmido os fechamentos da edificação poderão ser leves e permeáveis ao vento. Para auxiliar na escolha dos materiais mais adequados a cada situação climática, existem programas que simulam o desempenho térmico da edificação, sendo o mais reconhecido internacionalmente o EnergyPlus.

O EnergyPlus teve sua criação iniciada na década de 1990, em 1996, mas suas origens remontam a dois outros programas, o BLAST (*Building Loads Analysis and Thermodynamics*) e o DOE-2 (*Department of Energy*), que foram desenvolvidos com investimentos feitos por meio de universidades pelo Departamento de Defesa e pelo Departamento de Energia dos EUA, respectivamente, no final da década de 1970 [3]. O programa, que realiza análise energética e simulação de carga térmica em construções, traz uma revolução às pesquisas de eficiência energética em edifícios e se estabelece como referência fundamental para as principais pesquisas realizadas a partir de então [4].

O EnergyPlus é um software completo de simulação de energia de edifícios que engenheiros, arquitetos e pesquisadores usam para modelar o consumo de energia, para aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação e cargas de

processos e plugues, e o uso de água em edifícios. A versão atual é a 25.1.0, lançada em 31 de março de 2025 [5]. O programa é amplamente utilizado por profissionais da área e considerado uma ferramenta de referência atual para simulação térmica. Além disso, seu código-fonte está disponível e aberto para consulta, revisão e manipulação, o que representa uma grande vantagem para atividades de pesquisa.

A popularidade do *EnergyPlus* estimula a realização de diversas pesquisas e facilita a troca de informações entre pesquisadores [6]. Além disso, o *EnergyPlus* é validado pela ANSI/ASHRAE Standard 140 [7] e atende aos critérios estabelecidos pela NBR 15575-1 [8], pelo INI-R [9].

“Para a realização das simulações computacionais recomenda-se o emprego do programa EnergyPlus. Outros programas de simulação poderão ser utilizados, desde que permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e sejam validados pela ASHRAE Standard 140” [14].

Embora o *EnergyPlus* seja amplamente difundido na área de simulação computacional térmica e energética, o programa não possui uma interface gráfica amigável. A configuração da simulação é baseada em um sistema de parâmetros e tabelas editáveis, o que torna a operação mais difícil e restringe seu uso [4].

O método de cálculo utilizado pelo *EnergyPlus* para determinação do desempenho térmico considera os materiais constituintes da parede em camadas em série, o que pode levar à perda de informações importantes sobre a geometria do componente, necessárias para sua correta quantificação energética [10]. Como o *EnergyPlus* considera que os fechamentos são compostos por camadas homogêneas, é necessário criar um mesmo fechamento equivalente com as mesmas propriedades térmicas do fechamento real heterogêneo [4].

Nesse contexto, o objetivo geral é projetar, desenvolver e validar um programa computacional *open-source*, com interface gráfica intuitiva, que automatize o cálculo equivalente homogêneo de um fechamento heterogêneo de componentes construtivos, a serem utilizados no programa *EnergyPlus*. Nesse contexto, os objetivos específicos contemplam:

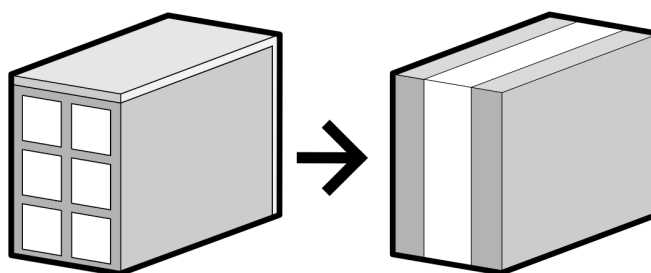
- Estudos, planejamento e definição do projeto arquitetural e tecnologias do software a ser desenvolvido;
- Implementação do software computacional para sistemas operacionais Microsoft Windows e Linux;
- Criação e configuração dos elementos construtivos e de propriedades de materiais construtivos;
- Diminuição do tempo de cálculo de fechamentos equivalentes e aumento da confiabilidade dos resultados e fornecimento de dados ao programa *EnergyPlus* [10].

II. EMBASAMENTO TEÓRICO

Para criar um fechamento equivalente homogêneo, com base em um fechamento equivalente heterogêneo, é necessário realizar um conjunto de cálculos que nem sempre são dominados pelo usuário comum, engenheiro, arquitetos e

pesquisadores. Visando facilitar o uso de materiais equivalentes homogêneos, em [10] foi construída uma biblioteca de paredes, pisos, lajes e coberturas. No entanto, o número de elementos construtivos dessa biblioteca é relativamente limitado, com aproximadamente 9 tipos de tijolos (com variações de revestimento).

Na representação equivalente, as camadas do elemento são dispostas perpendicularmente ao fluxo de calor, conforme ilustrado na Fig.1.



Modelo Real

Modelo Equivalente

Fig. 1. Exemplo de modelo real e modelo equivalente de um tijolo de 6 furos com argamassa.

Dada a quantidade de componentes construtivos no mercado, é interessante que seja criado um programa para que o projetista possa, através da entrada da geometria do material que irá utilizar no fechamento da edificação, conhecer o equivalente homogêneo de forma simultânea. Dessa forma, o usuário terá cálculos automáticos das propriedades térmicas dos materiais, evitando a perda de tempo desnecessária com o cálculo manual e, conferindo maior segurança e confiabilidade na entrada de dados no programa *EnergyPlus* e evitando as chances de erros nas simulações termoenergéticas da edificação.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do software que automatiza o cálculo do fechamento equivalente contempla o uso das seguintes tecnologias e ferramentas (Tabela I):

TABELA I
FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS.

#	Descrição
1	Linguagem Python 3.8.8 com os módulos, <i>Pandas</i> e <i>Numpy</i> [11]
2	Interface gráfica e manipulação de imagens com <i>Tkinter</i> e <i>PIL</i> [11]
3	Exportação de relatório com <i>ReportLab</i> [11]
4	Ambiente de desenvolvimento <i>PyCharm Professional</i> [12]

A metodologia de desenvolvimento contemplou as seguintes etapas: (i) revisão bibliográfica, análise e definição dos requisitos funcionais da ferramenta; (ii) projeto e implementação do software por meio de casos de uso da *Unified Modeling Language* [13]; (iii) testes e validação da ferramenta computacional, versão preliminar. Estas etapas são detalhadas a seguir.

A. Revisão e Requisitos

A linguagem Python foi selecionada pelo fato de haver ampla disponibilidade de módulos e ser compatível com múltiplas plataformas de sistema operacional. Já os requisitos do sistema foram classificados em funcionais (RF) e não funcionais (RNF) [13], com base em normas técnicas e estudos da literatura, e visando o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para auxiliar na modelagem térmica de edificações no *EnergyPlus*.

Os requisitos funcionais (Tabela II) definem as funcionalidades essenciais do sistema. O RF01 exige o cálculo automático de fechamentos homogêneos equivalentes a partir de estruturas heterogêneas, conforme normas de desempenho térmico. O RF02 prevê um banco de dados configurável de materiais com propriedades térmicas (condutividade, densidade, calor específico). O RF03 estabelece a geração e exportação de relatórios detalhados com entradas, cálculos e resultados, garantindo rastreabilidade. O RF04 exige uma interface gráfica intuitiva para arquitetos e engenheiros, facilitando o uso. O RF05 define compatibilidade prioritária com Windows, com expansão futura opcional para ambientes móveis Android/iOS.

TABELA II
REQUISITOS FUNCIONAIS.

ID	Requisito Funcional (RF)
01	Criar banco de dados de materiais
02	Calcular fechamento equivalente
03	Gerar e Exportar Relatório
04	Ter interface gráfica intuitiva
05	Compatibilidade multi-plataforma
ID	Requisito Não Funcional (RNF)
06	Documentação bilíngue
07	Exemplos didáticos práticos

Entre os requisitos não funcionais, destacam-se aspectos de usabilidade e validação. O RF06 exige que a documentação técnica e de usuário seja disponibilizada em português e espanhol, ampliando o acesso em países destas línguas. O RF07 estabelece a inclusão de exemplos práticos de aplicação, com cálculos ilustrativos e comparações com simulações de referência, a fim de reforçar a confiabilidade e compreensão do usuário. Esses requisitos orientam o desenvolvimento de uma ferramenta confiável e acessível, alinhada às necessidades técnicas e práticas de profissionais envolvidos na simulação de desempenho térmico de edificações.

B. Projeto e Implementação

Um diagrama de Casos de Uso representa as interações entre atores externos e um sistema, capturando seus requisitos funcionais do ponto de vista do usuário [3]. A Fig. 2 exibe os casos de uso elicitados e desenvolvidos para o software desenvolvido.

O caso de uso central é o Calcular Fechamento e modela a simulação do desempenho térmico e inclui obrigatoriamente Configurar Propriedades de Materiais, indicando que a definição das propriedades térmicas é um pré-requisito. As funcionalidades Visualizar Relatório e Exportar Relatório dependem de Calcular Fechamento, evidenciando que a geração de resultados só ocorre após o processamento. Além disso, Exportar Relatório fornece informações que podem ser usadas diretamente no *EnergyPlus*.

O fluxo principal do caso de uso Calcular Fechamento é realizado por meio das Equações 1 a 9 [10], detalhadas a seguir para um bloco cerâmico de 6 furos.

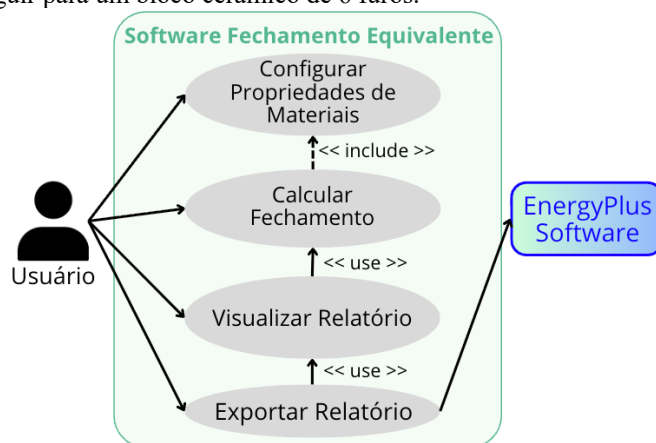


Fig. 2. Diagrama de casos de uso do software.

Resistência térmica de cada seção

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} \quad (1)$$

A determinação da resistência térmica R_1 da cerâmica considera a espessura e da camada e a condutividade térmica λ do material (Equação 1). A espessura corresponde à dimensão física do elemento na direção da transferência de calor, enquanto a condutividade térmica expressa a capacidade intrínseca do material em conduzir energia térmica. O resultado deste cálculo é a resistência térmica da cerâmica, parâmetro que quantifica a oposição da camada à passagem de calor por condução.

Resistência térmica do Módulo

$$R_{\text{módulo}} = \frac{A_{\text{arg}} + A_{\text{tijolo}}}{\frac{A_{\text{arg}}}{R_{\text{arg}}} + \frac{A_{\text{tijolo}}}{R_{\text{tijolo}}}} \quad (2)$$

O cálculo da resistência térmica do módulo ($R_{\text{módulo}}$) inclui as áreas parciais correspondentes à argamassa A e ao tijolo, bem como as resistências R térmicas individuais de cada componente (Equação 2). As áreas expressam a participação relativa de cada material na superfície do módulo, e as resistências refletem a oposição específica de cada um à condução térmica. Como resultado, obtém-se a resistência térmica efetiva do módulo, obtida por média ponderada, que sintetiza o comportamento global da parede heterogênea.

Transmitância térmica total do modelo de referência

$$U_T = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

A transmitância térmica total U_T tem como valores para cálculo a resistência térmica global R_T do sistema construtivo. Essa resistência já contempla a soma das contribuições internas, externas e do próprio módulo (Equação 3). O resultado é a transmitância térmica, definida como a taxa de fluxo de calor que atravessa o elemento por unidade de área e por diferença de temperatura, sendo um indicador normativo do desempenho térmico da envoltória.

Capacidade térmica total de cada seção

$$C_{T,1} = \sum_{i=1}^1 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot p)_{\text{cerâmica}} \quad (4)$$

Os dados para o cálculo da capacidade térmica de uma seção compreendem a espessura (e), o calor específico (c) e a densidade (p) do material (Equação 4). A espessura corresponde à dimensão física da camada, o calor específico define a quantidade de energia necessária para elevar em um grau a temperatura de uma unidade de massa, e a densidade relaciona a massa ao volume do material. O resultado consiste na capacidade térmica areolar da seção, parâmetro que expressa o potencial do material em armazenar energia térmica.

Resistência térmica total do modelo de referência

$$R_T = R_{se} + R_{módulo} + R_{si} \quad (5)$$

Os valores utilizados abrangem as resistências superficiais externa e interna (R_{se} e R_{si}), além da resistência térmica do módulo ($R_{módulo}$). As resistências superficiais consideram os efeitos de convecção e radiação nas interfaces com o meio ambiente, enquanto a resistência do módulo representa a condução no núcleo do elemento. O resultado corresponde à resistência térmica total do sistema construtivo R_T , que integra os efeitos combinados de condução, convecção e radiação (Equação 5).

Capacidade térmica total – tijolo

$$C_{T,tijolo} = \frac{A_{tijolo}}{4 \frac{A_1}{C_{T,1}} + 3 \frac{A_2}{C_{T,2}}} \quad (6)$$

Este cálculo utiliza a área ocupada por esse componente no módulo, as subáreas representativas de diferentes seções do material e as respectivas capacidades térmicas. A área expressa a proporção superficial do tijolo, enquanto as capacidades associadas às subáreas refletem o potencial diferenciado de armazenamento de calor em regiões específicas do bloco (Equação 6). O resultado é a capacidade térmica efetiva do tijolo, obtida por ponderação, que representa sua contribuição média para o comportamento térmico do módulo.

Capacidade térmica total – módulo

$$C_{T,módulo} = \frac{A_a + A_{tijolo}}{\frac{A_a}{C_{T,a}} + \frac{A_{tijolo}}{C_{T,tijolo}}} \quad (7)$$

O cálculo inclui valores das áreas do tijolo e da argamassa, juntamente com as capacidades térmicas (C_T) de cada um. As áreas refletem a proporção relativa dos componentes, enquanto as capacidades expressam a habilidade de cada material em armazenar calor. A saída corresponde à capacidade térmica global do módulo, parâmetro que sintetiza a contribuição conjunta do tijolo e da argamassa na inércia térmica da parede (Equação 7).

Espessura equivalente cerâmica

$$e_{eq,cerâmica} = \frac{C_{T,módulo}}{2 \cdot (c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}}} \quad (8)$$

A determinação da espessura equivalente de cerâmica ($e_{eq,cerâmica}$) utiliza como valores de cálculo a capacidade térmica global do módulo e as propriedades térmicas da cerâmica, representadas pelo produto entre calor específico e densidade. Esses parâmetros caracterizam a aptidão da cerâmica para armazenar calor (Equação 8). Como resultado, obtém-se a espessura equivalente de cerâmica, definida como a espessura de uma camada homogênea capaz de reproduzir a mesma capacidade térmica do módulo real.

Espessura equivalente ar

$$e_{eq,ar} = b - 2 \cdot e_{eq,cerâmica} \quad (9)$$

Neste cálculo, os valores são a espessura total do bloco e a espessura equivalente de cerâmica. A espessura total corresponde à dimensão global do módulo, enquanto a espessura cerâmica representa a fração relativa ao material sólido. O resultado é a espessura equivalente de ar, obtida pela diferença entre esses valores, permitindo representar o sistema como a associação simplificada de duas camadas homogêneas: uma cerâmica e outra correspondente ao ar (Equação 9).

Conjuntamente, essas equações permitem automatizar o cálculo do fechamento equivalente dos blocos, eliminando a necessidade de cálculos manuais e aumentando a segurança e confiabilidade para engenheiros e arquitetos para uso do *EnergyPlus*.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo apresentou as etapas desenvolvidas para criação de um software que está em fase final de documentação. A interface gráfica do usuário foi projetada para facilitar a usabilidade e fornecer informações relevantes ao profissional. Por ser disponibilizado de modo *open-source*, o projeto está disponível para a comunidade e pode receber novas melhorias e funcionalidades adicionais. Ao ser executado, o software carrega informações previamente configuradas em um arquivo .ini, conforme mostrado na Fig. 3.

Estas informações do arquivo .ini as informações de inicialização contemplam valores constantes referentes a argamassa e à cerâmica, todas empregadas no processamento das fórmulas do caso de uso Calcular Fechamento. Esse arquivo pode ser, opcionalmente, editado pelo usuário conforme suas necessidades.

Adicionalmente, a Fig. 4 ilustra o exemplo de tela da interface gráfica principal do software desenvolvido. O usuário inicialmente seleciona o tipo de bloco e, posteriormente, fornece as informações de entrada, tais como o tipo de bloco, largura, altura, comprimento, espessura horizontal, espessura da face e espessura da argamassa.



Fig. 3. Arquivo de configuração inicial editável .ini.

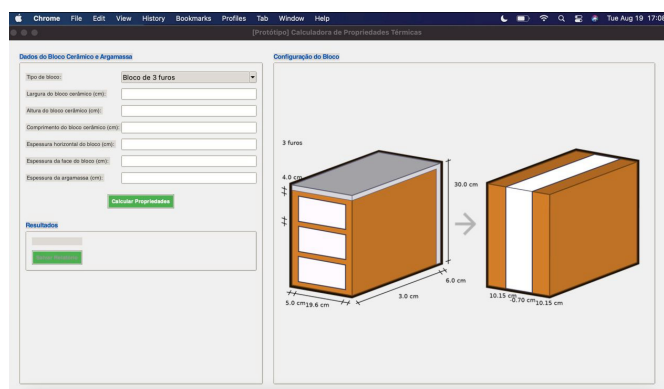


Fig. 4. Tela da interface gráfica principal do usuário.

Após o fornecimento dessas informações, o software está apto a realizar o processamento das Equações 1 a 9 e fornecer os resultados de dois modos: numéricos e visuais, onde a representação gráfica virtual do bloco selecionado é exibida a partir de uma imagem, incluindo os valores dos parâmetros indicados e do bloco equivalente. Portanto, além de calcular e fornecer os dados de modo automatizado, o software desenvolvido exibe graficamente as informações, promovendo maior compreensão e possibilidade de eventuais correções, à partir da análise visual.

A Fig. 5 ilustra o relatório gerado e fornecido pelo software em formato portátil (pdf). Esse relatório pode ser utilizado para entrada de dados no programa *EnergyPlus* e também como memorial de cálculos. No *EnergyPlus* serão utilizadas as seguintes configurações de cada material:

- *Thickness* (espessura em metros);
- *Conductivity* (condutividade térmica, $W/m \cdot K$);
- *Density* (densidade, kg/m^3);
- *Specific Heat* (calor específico, $J/kg \cdot K$).

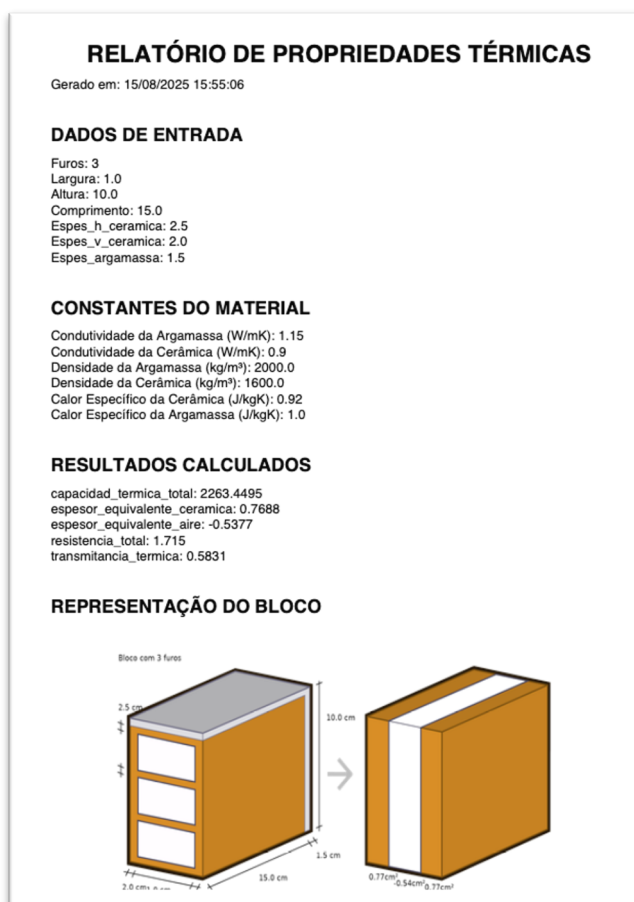


Fig. 5. Amostra de relatório gerado pelo software.

A ferramenta encontra-se desenvolvida e validada. Os manuais e expansão para o idioma espanhol estão em fase de desenvolvimento. No entanto, o software já atende aos seus principais requisitos funcionais identificados.

V. CONTRIBUIÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

A ferramenta computacional desenvolvida neste estudo está sendo documentada e será gratuitamente publicizada (*open-source*) para a comunidade. A principal conclusão deste trabalho é a possibilidade de disponibilizar um software livre, capaz de calcular de forma automatizada o fechamento homogêneo equivalente a partir de fechamentos heterogêneos. Embora existam softwares internacionais (*OpenStudio*, *Trnsys*, *DesignBuilder*) utilizados na área e a partir da necessidade identificada por profissionais, destaca-se que não se observou soluções contemplando os diferenciais da ferramenta proposta (foco no cálculo automatizado de fechamentos equivalentes heterogêneos / homogêneos, integração simplificada ao *EnergyPlus*, interface didática e banco de dados adaptável ao contexto brasileiro). Portanto, a presente solução beneficia e assegura maior qualidade, agilidade e confiança na construção civil.

O uso da ferramenta é facilitado para pesquisadores, arquitetos e engenheiros ao se oferecer uma interface gráfica amigável, documentação didática, banco de dados de materiais e elementos construtivos, relatórios detalhados e exportação de informações úteis ao software *EnergyPlus*. Dessa forma, promove-se maior precisão, transparência e acessibilidade na simulação energética de edificações, além de

estimular a disseminação científica e tecnológica por meio de uma solução aberta e bilíngue.

Como trabalhos futuros, pretende-se validar a ferramenta em estudos de caso reais e com profissionais da área, assim como ampliar a compatibilidade multi-plataforma (incluindo versões móveis), integrar novos módulos de cálculo que considerem outras propriedades térmicas e de conforto ambiental, além de validar o desempenho da ferramenta em estudos de caso reais com diferentes tipologias de edificações. Além de novas funcionalidades, outro avanço previsto é o desenvolvimento do portal web de suporte, incorporando tutoriais interativos e uma comunidade colaborativa de usuários, fortalecendo assim a evolução contínua do software livre por meio da contribuição da própria comunidade acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e ao Tecnológico (CNPq) e Fundação Araucária (FAPPR) pelo apoio financeiro para realização deste projeto de pesquisa. Além disso, agradecemos ao Laboratório de Computação Aplicada (LACA) da UNILA pela infraestrutura e apoio ao projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] WBCSD, “Energy Efficiency in Buildings,” 2020. [Online]. Available: <https://www.wbcsd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Energy-Efficiency-in-Buildings>. [Accessed: Jun. 15, 2020].
- [2] EPE, “Plano Decenal de Expansão de Energia 2029,” 2020. [Online]. Available: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [3] D. B. Crawley et al., “EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program,” *Energy and Buildings*, 2001.
- [4] E. Vettorazzi, “Contribuições das estratégias do conceito Passive House para edificações energeticamente mais eficientes na Região Sul-Brasileira,” Ph.D. dissertation, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, UFRGS, Porto Alegre, 2019.
- [5] EnergyPlus, “EnergyPlus,” [Online]. Available: <https://energyplus.net/>. [Accessed: Apr. 10, 2023].
- [6] A. Figueiredo, J. Kämpf, R. Vicente, R. Oliveira, and T. Silva, “Comparison between monitored and simulated data using evolutionary algorithms: Reducing the performance gap in dynamic building simulation,” *Journal of Building Engineering*, 2018.
- [7] Ashrae, “ANSI/ASHRAE Standard 140: Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs,” Atlanta, 2014.
- [8] ABNT, “NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações - Resistência e transmitância térmica - Métodos de cálculo,” Rio de Janeiro, 2022.
- [9] INMETRO, “Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais,” 2020.
- [10] F. S. Weber, A. P. Melo, D. L. Marinoski, S. Guths, and R. Lamberts, “Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para uso no programa EnergyPlus” 2017.
- [11] G. van Rossum, “Python 3.9.0 documentation”, Python Software Foundation. [Online]. Disponível em: <https://docs.python.org/3>
- [12] JetBrains S.R.O., “PyCharm: The Python IDE for Professional Developers”. Acesso em: 22 de abril de 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.jetbrains.com/pycharm>
- [13] R. S. Pressman e B. R. Maxim, *Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional*. AMGH, 2016.
- [14] ABNT, “NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho,” Rio de Janeiro, 2021.