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.v21i1.8816

Desafios da modelagem termoenergética de edificações existentes: análise do fluxo de trabalho em *software* adotado pela IES

Challenges in building energy modeling of the existing building stock: workflow analysis of software adopted by HEI

Maurício Carvalho Ayres Torres
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | mauricio.torres@ufrgs.br
Lucas Pinzon Brauwers
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | lucas.pinzon@ufrgs.br
Helena Rahn Amaral
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | helena.amaral@ufrgs.br
Caetano de Oliveira Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | caetano.teixeira@ufrgs.br

Resumo

No Brasil, as edificações consomem 52% da oferta interna total de energia, enquanto as públicas 7,4%. As novas edificações federais deverão atingir o nível A de eficiência energética já em 2027, de acordo com a INI-C. Entretanto, essa obrigatoriedade não contempla as edificações existentes, grandes consumidoras de energia, que continuam pressionando o sistema energético. Assim, o diagnóstico energético de edificações existentes é imprescindível para a promoção de eficiência energética. O processo de modelagem termoenergética de edificações existentes é complexo, seja por escassez ou inexistência de documentação projetual, ou ainda incompatibilidade entre *softwares* de modelagem, implicando em retrabalho e tempo excessivo do processo. Este artigo analisa os impactos dos *softwares* adotados por uma IES no processo de modelagem termoenergética sob a perspectiva de eficiência temporal e redução de retrabalhos. Os resultados indicam que o *Rhinoceros 3D* permite uma modelagem tridimensional simplificada e permite maior interoperabilidade entre aplicativos do que o *Archicad*, provocando questionamentos sobre os aplicativos adotados pela IES.

Palavras-chave: Interoperabilidade. Simulação Termoenergética. Eficiência Energética. *Rhinoceros 3D.* BIM.

Abstract

In Brazil, existing building stock accounts for 52% of national electricity consumption, and public buildings 7.4% of the whole. Given that, new federal buildings will be required to achieve A-level energy efficiency rating starting in 2027, according to INI-C, while existing ones don't have to meet that requirement and continue to waste energy. In this scenario, pre-existing buildings' energy performance assessment through computer simulation is essential for the proposal of improvements that aim for energetic efficiency. However, the process of building energy modeling of existing buildings is complex, whether due to the lack or complete absence of design documentation, or incompatibility between modeling software, which leads to rework and excessive working hours. Thus, this article analyzes the impact of software embraced by a HEI on the process of thermoenergetic modeling in terms of time efficiency and the minimization of rework. The results indicate that Rhinoceros 3D provided simplified three-dimensional modeling and better interoperability between applications compared to Archicad, raising questions regarding the suitability of the software currently adopted by the HEI.

Keywords: Interoperability. Energy Simulation. Energy Efficiency. Rhinoceros 3D. BIM.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8816

INTRODUÇÃO

De acordo com dados do último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), a crise climática vem elevando as temperaturas globais [1]. Por conta disso, as edificações brasileiras, em específico, residenciais, comerciais e públicas, que já consomem cerca de 52% da oferta interna de energia elétrica, tendem a utilizar ainda mais energia para a climatização [2]. Diante disso, é fundamental que as construções sejam projetadas e construídas de modo a garantir o conforto térmico e a eficiência energética da edificação.

Sistemas de comprovação dos níveis de sustentabilidade de edificações, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) [3], o LBC (*Living Building Challenge*) [4], o AQUA (Alta Qualidade Ambiental) [5], entre outras, usam métodos baseados em simulações computacionais para aferir a eficiência energética dos objetos de estudo.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) [6] também classifica o nível de eficiência energética das edificações através de simulações computacionais, embora também exista o método simplificado, sem simulações. Os parâmetros para as simulações computacionais constam nas Instruções Normativas Inmetro para as Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e para Edificações Residenciais (INI-R).

O Anexo I da Resolução do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) Nº4, torna obrigatório que todas (exceto Rio Grande do Sul) as novas edificações federais brasileiras obtenham o nível A de eficiência energética pelo PBE Edifica, a partir de 2027 [7].

Entretanto, as edificações públicas federais existentes não são obrigadas a melhorar os seus níveis de eficiência energética, incluindo todas as edificações dos campi das universidades federais brasileiras. Dessa maneira, quem deveria liderar pelo exemplo continua pressionando o sistema de geração e distribuição de energia ao manter o consumo elevado. Além disso, também segue impactando diretamente na emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, contribuindo para a aceleração das mudanças climáticas.

Simulações computacionais ainda não são factíveis a partir, somente, dos modelos geométricos tridimensionais das edificações, mas precisam de modelos termoenergéticos, derivados daqueles. O processo de modelagem termoenergética pode ser bastante complexo e moroso, dependendo da compatibilidade e interoperabilidade do *software* de modelagem tridimensional com o de simulação termoenergética. Baixos níveis de compatibilidade entre *softwares* podem tornar o processo lento e caro. Para viabilizar a transição de dezenas de milhares de modelos geométricos de edifícios públicos federais dos campi universitários para modelos termoenergéticos, um método claro, objetivo e confiável deve ser desenvolvido.

Dessa maneira, o presente artigo tem como objetivo analisar o processo de modelagem termoenergética de uma edificação federal em um campus universitário, a fim de viabilizar, otimizar e reduzir custos do seu diagnóstico energético. Em

segundo plano, será feita uma avaliação dos *softwares* ensinados no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

MÉTODO

A partir da compreensão de que tanto as edificações novas quanto as existentes devem ser energeticamente eficientes, surge, então, a necessidade de determinar um conjunto de *softwares* que agilizem o processo de modelagem termoenergética dos edifícios existentes com carência de informações de projeto. A figura 1 apresenta o processo típico de diagnóstico energético e de desenvolvimento de melhorias de uma edificação existente, identificando o típico problema que ocorre na transição entre os modelos tridimensional e termoenergético - o paradigma da compatibilidade total e o nível de retrabalho aceitável durante o processo.

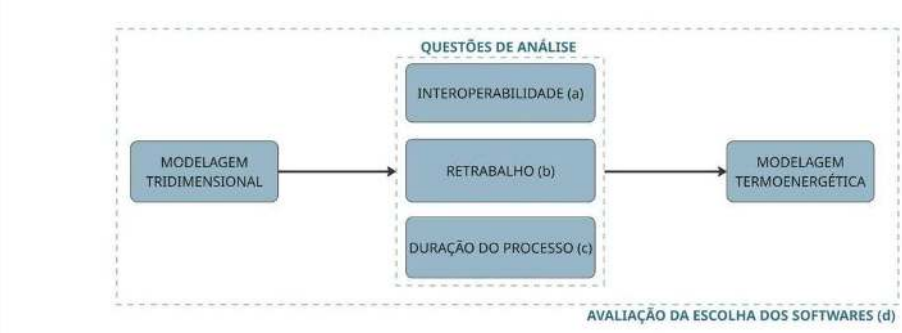
Figura 1: Fluxograma geral para simulações termoenergéticas



Fonte: os autores.

A figura 2, mostra uma ampliação do recorte destacado na Figura 1, apresentando os principais fatores para a transição de um modelo geométrico para um termoenergético, sendo este, então, o cerne deste estudo.

Figura 2: Fluxograma das análises deste estudo



Fonte: os autores.

O fluxo de trabalho envolvido na transição de um modelo geométrico digital para um modelo termoenergético será analisado em relação a algumas questões: (a) interoperabilidade entre *softwares*; (b) retrabalho na transição entre modelos digitais; (c) tempo de duração do processo de transição; e (d) avaliação da escolha

dos *softwares* que se adequem às necessidades do usuário. Portanto, o presente artigo se trata de uma análise descritiva, uma vez que descreve o processo de trabalho e os impactos de diferentes *softwares* na modelagem, através de uma abordagem qualitativa, visto os aspectos avaliados (a), (b), (c), e (d).

A MODELAGEM

Inicialmente, utilizou-se um modelo tridimensional BIM do *Archicad 28*, ainda em etapa de desenvolvimento pelo grupo Célula BIM - FA/UFRGS [8]. A edificação do modelo em questão é a da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (figura 3), inaugurado em 1958, que conta com 5 pavimentos de cerca de 1000 m² cada. Ela recebe relatos de baixo conforto térmico, tanto no inverno como no verão, devido a extensos panos de vidro nas fachadas Norte e Oeste, que resultam na incidência solar ininterrupta ao longo da manhã e da tarde, requerendo o uso intensivo de sistemas de climatização artificial. Como o modelo não estava finalizado, e o edifício da Faculdade de Arquitetura carece de outros modelos digitais ou ainda de documentação *as-built*, recorreu-se ao levantamento físico *in loco* da edificação para que o modelo fosse finalizado. Apesar deste edifício ter sido utilizado para a modelagem, é importante ressaltar que a escolha da edificação não impacta de maneira significativa os resultados do presente artigo, portanto, ela funciona apenas como um cenário para a pesquisa.

Figura 3: À esquerda, foto do edifício; ao centro, planta do terceiro pavimento (tipo); e à direita, corte perspectivado.



Fonte: os autores.

O levantamento físico, essencialmente, foi realizado com o uso de trenas manual e à *laser*. O levantamento *in loco* também aferiu informações sobre os materiais de construção, os sistemas construtivos, os programas de uso, as cargas de ocupação e de sistemas, além das características e potências dos sistemas de iluminação e climatização.

OBJETOS DE ESTUDO

Partindo de um modelo tridimensional no *software Archicad*, foi realizada uma breve revisão de literatura para compreender a relação entre este aplicativo e o *Rhinoceros 3D,* através da integração do modelo BIM do *Archicad* e da programação visual do *Grasshopper 3D*.

Para realizar uma análise termoenergética de uma edificação através de simulação computacional, a edificação deve ser modelada em *software* dedicado à simulação, ou ainda, em aplicativos que permitam a exportação ou a integração entre o modelo

geométrico e o modelo termoenergético [9]. O *Archicad* é um *software* de arquitetura com suporte a BIM desenvolvido pela empresa G*raphisoft.* Este programa de modelagem é amplamente utilizado no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, sendo seu aprendizado um componente curricular obrigatório.

A interoperabilidade BIM é a capacidade de integração entre *softwares* com o objetivo de compartilhar dados, sem perdas de informação, para garantir a multidisciplinaridade de um projeto ao longo de seu ciclo de vida [10]. Dessa maneira, a modelagem geométrica de uma edificação em *software* com suporte a BIM deveria ser compatível com *softwares* de simulação termoenergética.

O *EnergyPlus* é um motor de simulação termoenergética reconhecido globalmente pela confiabilidade dos seus resultados, mas sua interface não é amigável ou intuitiva [11]. Portanto, para utilizar este mesmo simulador, optou-se pelo conjunto *Rhinoceros 3D e Grasshopper 3D* - componentes curriculares obrigatórios do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, o que garantiu familiaridade prévia com a interface - além do *LadyBugTools.* O *Rhinoceros 3D* é um programa de desenho auxiliado por computador, no qual é possível se conectar ao *Grasshopper 3D*, uma linguagem de programação visual cuja execução se dá no aplicativo de desenho. Ainda, através do *Grasshopper 3D*, pode-se utilizar como um *plug-in* o conjunto de aplicativos de código aberto *LadyBug Tools*, os quais tornam possíveis as simulações termoenergéticas [12].

O aplicativo *LadyBug Tools* possibilita a visualização e a análise de dados climáticos, importando arquivos no formato *EnergyPlus Weather* (.EPW) e fornecendo gráficos interativos, os quais podem ser visualizados em 2D e 3D no *Rhinoceros 3D*. Já o *HoneyBee* permite a conexão com o motor de simulação *EnergyPlus,* para criar, executar e visualizar resultados de simulações da termodinâmica de edifícios [13]. Na tabela abaixo (tabela 1) observamos as informações relativas aos aplicativos utilizados ao longo da pesquisa.

Tabela 1: Informações dos *softwares* utilizados ao longo da pesquisa

Software	**Versão**	**Valor estudantil**	**Valor comercial**
Archicad	28	Licença estudantil	R$ 8.205,00[2]
Rhinoceros 3D	8	US$ 195,00[1]	US$ 995,00[1]
LadyBug Tools	1.9.0	Integrado ao *Rhinoceros 3D*[3]	Integrado ao *Rhinoceros 3D*[3]

Nota: [1] licença vitalícia; [2] licença anual; [3]*open source.* Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

OS RESULTADOS COM MODELO *ARCHICAD*

Diferentemente, do pressuposto inicial, acerca da interoperabilidade do *software Archicad*, a questão (a) do método, a qual possibilitaria um trabalho multidisciplinar sobre uma edificação, a simulação falhou. Na revisão literária realizada, foi reportado que a materialidade dos elementos e as zonas térmicas não são integrados corretamente para com o *software Grasshopper 3D*, exigindo um retrabalho, questão

(b), através da exportação de um arquivo do *Archicad* para o programa *Rhinoceros 3D,* para que o modelo tridimensional seja corrigido e a simulação seja concluída com sucesso [14].

Pelo método de integração, conectou-se um arquivo *Grasshopper 3D* por um *plug-in* próprio da *Graphisoft.* A conexão dos elementos começou simples, uma vez que a ferramenta de busca e seleção do programa, além da prévia classificação em vegetais que auxilia no processo. Com este *plug-in*, é possível selecionar a face necessária, os planos que o simulador extruda virtualmente, mas a materialidade não é um dado compartilhado. Todavia, ao conectar as esquadrias ao código desenvolvido no *Grasshopper 3D*, não é possível separar a moldura do vidro e diferenciar esses materiais. Desse modo, visto que são elementos importantes para a análise termoenergética da edificação, especialmente no caso estudado, visto que, a moldura ocupa uma área significativa, chegou-se no entendimento de que de fato a interoperabilidade através da integração entre *softwares (Archicad* e *Grasshopper 3D)* não seria eficaz.

Neste cenário, a alternativa foi tentar a correção do modelo tridimensional BIM através da exportação. Neste outro método, o arquivo do projeto *Archicad* (.pla) é salvo no padrão *Rhinoceros 3D (.3dm)*, porém, esta forma também se mostrou ineficaz, uma vez que os elementos são exportados como malhas compostas onde não é possível selecionar uma face de cada elemento, fundamental para vinculação entre o componente tridimensional e o código, além dos vegetais serem perdidos.

Também foi testado o método de exportar do *Archicad* para o *Revit* (.rvt e .ifc), para então *Rhinoceros 3D*, mas muitas características são perdidas. Sendo assim, a retificação tornou-se inviável, por exigir um retrabalho proporcional ao desenvolvimento de um novo modelo tridimensional para a análise termoenergética, o que resultaria no aumento significativo da duração do processo de modelagem, questão (c).

MODELAGEM TERMOENERGÉTICA UTILIZANDO O *RHINOCEROS 3D*

Após as tentativas falhas de utilizar um modelo BIM elaborado no *Archicad,* a modelagem tridimensional para simulações termoenergéticas feita diretamente no *Rhinoceros 3D* se tornou uma alternativa em busca de solução para realizar as simulações. O aplicativo *Rhinoceros 3D* foi a alternativa imediata, pois os aplicativos *Grasshopper 3D* e *LadyBugTools* já estavam sendo utilizados, respectivamente, para realizar a programação visual da simulação termoenergética e para ter acesso ao e o motor *EnergyPlus*, seguindo então uma lógica de utilizar apenas um *software*, o *Rhinoceros 3D* surge como opção para a modelagem tridimensional a ser analisada, resolvendo a questão (a), pois se tratando de um ecossistema único não há problema de interoperabilidade. Iniciar uma nova modelagem tridimensional eliminou a questão (b), do retrabalho para funcionalidade do modelo, o que também acarreta em menos tempo no processo de transição, solucionando a questão (c).

Em um modelo no aplicativo *Rhinoceros 3D* visando a simulação computacional, trabalha-se apenas com superfícies. Não são definidos no modelo espessuras ou

parâmetros referentes à materialidade, estes são posteriormente determinados no Grasshopper 3D, através do *LadyBug Tools*, em uma programação visual que será conectada com as superfícies do modelo. Por esta razão, é de suma importância que o modelo seja produzido no *software* com uma eficiente organização de *layers*; por exemplo, diferenciando janelas pela maneira de abertura, porque serão conectados em mesmos blocos manualmente pelo usuário.

O desenho digital conta apenas com a volumetria, definida por planos, onde as esquadrias são outros planos que se sobrepõem às paredes. Para que o modelo tridimensional seja utilizado, deve-se ter um alinhamento preciso de todas as superfícies, e as adjacências devem estar bem resolvidas. Caso contrário, o modelo não é funcional para que as simulações ocorram.

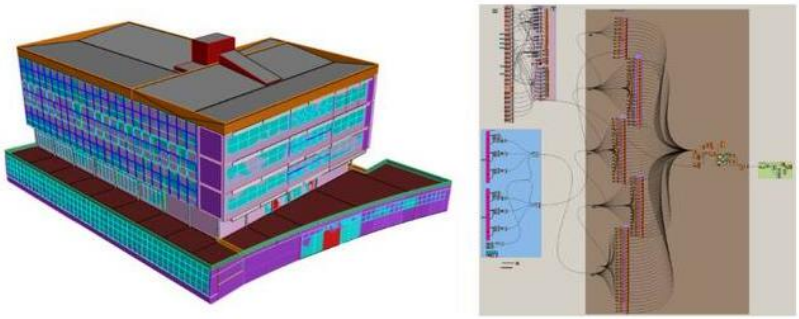
Os planos como as paredes, quando são elementos externos, devem ser desenhados no alinhamento mais externo do que seria a parede original, pois durante a simulação, o *software* assume que a espessura deve ser adicionada para dentro. Enquanto que, para os elementos interiores, deve-se assumir o eixo central pois a espessura dada na etapa de programação será dividida e acrescida dos dois lados da superfície. Esse tipo de interpretação já embutida no programa cria um obstáculo que dificulta o desenho, pois durante a etapa de modelagem é necessário que se imagine como os planos e os pontos em que eles se encontram irão ser visualizados pelo programa, exigindo, então, que o usuário se atente que "ao ganhar as espessuras" esses elementos não possam ocupar um mesmo espaço; por exemplo, paredes devem ter recortes caso haja um pilar que está um pouco a frente desta, pois o acréscimo da espessura iria faz com que esses dois elementos de alvenaria se sobreponham.

Para a modelagem das esquadrias, foi necessário criar uma lógica de simplificação, pois como o objetivo era simulação computacional, ao utilizar os aplicativos *LadyBug Tools,* é na interface do *Grasshopper 3D* que são adicionados a maioria dos parâmetros, como, por exemplo, o caixilho e o modo de abertura. Portanto, no que se refere ao modelo, apenas são necessários os desenhos dos planos que compreendem a área que engloba todo o conjunto da abertura. Com o objetivo de simplificar o código e se adequar aos blocos de programação existentes no pacote *LadyBug Tools*, alguns montantes foram desassociados de suas esquadrias, criando planos fixos de suas respectivas materialidades, dessa forma, encontrou-se módulos de repetição que facilitariam o processo e se moldaram melhor às alternativas de programação desenvolvidas no *Grasshopper 3D.*

Após a conexão com o *Grasshopper 3D*, a simulação funcionou (figura 3), e a própria interface foi capaz de expor alguns erros de modelagem, já esperados, mas simples de realizar a correção. O mais notável foram algumas poucas esquadrias que não estavam agregadas nas paredes por falta de adjacência, uma vez que essa sobreposição deve ser exata. Também haviam elementos não convexos que apontavam erro. Esses pequenos erros estão associados à curva de aprendizagem da modelagem tridimensional associada ao *software Rhinoceros 3D*. Os aprendizados demonstram que a eficácia da modelagem para *retrofit* depende da calibração

rigorosa do modelo, transformando a simulação em uma ferramenta de suporte à decisão essencial para atingir metas de eficiência e conforto no ambiente construído.

Figura 4: À esquerda, modelo tridimensional no *Rhinoceros 3D*; e à direita; código visual de caracterização no *Grasshopper 3D*



Fonte: os autores.

DESAFIO DA ESCOLHA DE *SOFTWARES* ACADÊMICOS

A partir dessa análise, repensa-se, então, em quais *softwares* devem ser ensinados no meio acadêmico. Nota-se que que o *Archicad*, base da aprendizagem BIM no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, se mostra ineficaz na interoperabilidade (a), contendo sim, métodos de análise energéticas básicas, mas, quando ocorre a necessidade de uma análise mais detalhada, para qual existem *softwares* e motores dedicados, o programa apresenta uma falha. Isso dificulta o uso do *Archicad* como uma ferramenta acadêmica e/ou de análises avançadas, justificando seu ensino no curso ao meio empresarial, limitando-se à arquitetura, como é comumente utilizado em escritórios [15]. Enquanto que, de acordo com a literatura [15][16], o *Revit,* aplicativo criado pela *Autodesk*, apresenta bons resultados de interoperabilidade com diversos programas, apesar disso, não é ensinado dentro da IES.

Além disso, é necessário que a escolha dos *softwares* seja pensada também levando em consideração o valor de aquisição, número e tipo de licenças. Na tabela 1, observa-se que o *Rhinoceros 3D* apresenta um valor 37,14% inferior em relação ao *Archicad*. Ademais, o *Rhinoceros 3D* concede ao usuário uma licença vitalícia, em contraste com a licença anual cedida pelo *Archicad*. É relevante, também, que a escolha atenda o maior número de necessidades existentes dos usuários, evitando o desperdício com ferramentas que não atendam integralmente os requisitos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um fluxo de trabalho na concepção projetual, no qual os projetistas tenham interesse na avaliação termoenergética prévia ao projeto executivo, qualquer modificação deve coincidir com o programa de modelagem e de simulação, evitando disparidades entre o projeto e a validação. De acordo com isso, é importante que se saiba utilizar a tecnologia como uma aliada, escolhendo corretamente as ferramentas.

Conclui-se então, que o uso do BIM é de extrema relevância, porém nem todo *software* é capaz de garantir a interoperabilidade entre diversas disciplinas que constituem um bom projeto arquitetônico. O *Archicad* se mostra ineficiente nas questões que se referem a troca de dados, levantando a dúvida se o programa adotado atualmente pelo curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS é condizente com a necessidade acadêmica de compatibilidade entre *softwares*.

Já o *software Rhinoceros 3D,* é um eficiente programa tanto para que seja integrado com modelos tridimensionais externos para realizar simulações, quanto para desenvolvimento de fases iniciais de projeto, como um partido arquitetônico, para ser simulado, já que o *software* é capaz de exportar seu modelo tridimensional em outros formatos de arquivo para sua continuidade, garantindo a interoperabilidade entre aplicativos com a qual o BIM se compromete.

Além disso, a literatura [15][16] aponta que o aplicativo *Revit*, da empresa *Autodesk*, apresenta eficaz interoperabilidade entre *softwares,* imprescindível para as simulações termoenergéticas. Por conta disso, é interessante a realização de estudos futuros que utilizem tal programa como motor para a execução do processo descrito no presente artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS e à PROPESQ - UFRGS pelo fomento à pesquisa, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, à Faculdade de Arquitetura e ao Laboratório de Conforto Ambiental pela infraestrutura.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Mudança do Clima 2023: Relatório de Síntese.** Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Genebra, 2023.

[2] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional 2025.** Ano base 2024. Rio de Janeiro, 2025.

[3] UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED**. Disponível em: https://www.usgbc.org/leed. Acesso em: 23 abr. 2026.

[4] INTERNATIONAL LIVING FUTURE INSTITUTE. **Living Building Challenge**. Disponível em: https://living-future.org/lbc/. Acesso em: 23 abr. 2026.

[5] FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE**. Disponível em: https://vanzolini.org.br/organizacoes/certificacoes/aqua-hqe/. Acesso em: 23 abr. 2026.

[6] PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **PBE Edifica.** Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/inicio. Acesso em: 23 abr. 2026.

[7] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resolução CGIEE nº 4**. Dispõe sobre níveis mínimos de eficiência energética de edificações. Brasília, 2025.

[8] STUMPP, M. M.; MEURER, E. O uso do BIM na documentação e gestão de edificações: o caso da Faculdade de Arquitetura da UFRGS. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM, 6., 2025. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2025. DOI: 10.46421/enebim.v6i00.7619

[9] BARROS, F .C.; MELO, H. C. Estudo sobre os benefícios do BIM na interoperabilidade de projetos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 5, ed. 1, v. 8, p. 74–91, jan. 2020. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/interoperabilidade-de-projetos

[10] CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. **Applied Energy**, v. 143, p. 395-413, fev. 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.01.023

[11] CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 4, p. 319–331, fev. 2001. DOI: 10.1016/S0378-7788(00)00114-6

[12] ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. **Rhino - Rhinoceros 3D: features**. Disponível em: https://www.rhino3d.com/features/. Acesso em: 16 abril 2026.

[13] LADYBUG TOOLS LLC. **LadyBug Tools.** Disponível em: https://www.ladybug.tools/. Acesso em: 16 abril 2026.

[14] ZANCHETTA, C.; CECCHINI, C.; BELLOTTO, C.. **BIM-Based multi-objective optimization process for energy and comfort simulation:** existing tools analysis and workflow proposal on a case study. Padova, 2018.

[15] WAAS, Lambertus; ENJELLINA. Review of BIM-Based *Software* in Architectural Design: Graphisoft Archicad VS Autodesk Revit. **Journal of Artificial Intelligence in Architecture**. Yogyakarta, v. 1, n. 2, p. 14–22, 2022. DOI: 10.24002/jarina.v1i2.6016.

[16] DENA, A. J. G.; HÍPOLA, M. D. C. G.; BANDERA, C. F. Optimization testing for the modeling and characterization of three-dimensional elements to enhance interoperability from building information modeling (BIM) to building energy modeling (BEM). **Energy and Buildings.** v. 317, n. 114394, ago. 2024.