ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Integração BIM-BEM: Interoperabilidade e gbXML na eficiência energética em edificações

BIM-BEM Integration: Interoperability and gbXML standard in energy efficiency in buildings

Luís Filipe Muta
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | luis.muta@posgrad.ufsc.br
Liége Garlet
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | liege.garlet@posgrad.ufsc.br
Thalita dos Santos Maciel
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | thalita.maciel@posgrad.ufsc.br
Ana Paula Melo
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br

Resumo

Este estudo analisa o potencial de integração entre a Modelagem da Informação da Construção (BIM) e a simulação energética para aprimorar a eficiência energética em edificações. A pesquisa focou na integração BIM-BEM (BEM – modelo de energia), usando o gbXML 7.03 e o recurso *Systems Analysis* do *Revit* 2025. Um estudo de caso foi conduzido em um protótipo de edifício educacional superior, modelado no *Revit*, com informações necessárias para a simulação energética. A conversão BIM-BEM foi realizada pelo *Systems Analysis*, seguida da análise do BEM. Os resultados destacam a precisão da conversão da geometria e dos materiais e suas propriedades, mas apontam limitações na transferência de outros dados e divergências nas áreas da envoltória e superfícies envidraçadas. Embora o *Systems Analysis* tenha automatizado a conversão do BIM para o BEM, restringiu a personalização das configurações da simulação energética. No entanto, a pesquisa evidencia a viabilidade da integração BIM-BEM, com potencial para aprimoramentos na automação e personalização das simulações, promovendo práticas construtivas mais sustentáveis.

Palavras-chave: BIM. BEM. gbXML. Interoperabilidade.

Abstract

This study examines the potential integration between Building Information Modeling (BIM) and energy simulation to enhance energy efficiency in buildings. The research focused on BIM-BEM (BEM – Building Energy Model) integration, utilizing gbXML 7.03 and the Systems Analysis feature of Revit 2025. A case study was conducted using a representative prototype of university

Como citar:
MUTA, L. F.; GARLET, L.; MACIEL, T. S.; MELO, A. P. Integração BIM-BEM: Interoperabilidade e gbXML na eficiência energética em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

buildings, modeled in Revit with necessary information for energy simulation. The BIM-BEM conversion was performed by Systems Analysis, followed by analysis of the BEM. Results highlight the accuracy of geometry and material conversion and their properties but indicate limitations in transferring other data and discrepancies in envelope and glazed surface areas. Although Systems Analysis automated the BIM-BEM conversion, it restricted customization of the energy simulation. Nonetheless, the research demonstrates the feasibility of BIM-BEM integration, with potential for improvements in automation and customization of simulations, promoting more sustainable construction practices.

Keywords: BIM. BEM. gbXML. Interoperability.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, causadas pela emissão de gases de efeito estufa, resultam em aumentos de temperatura e eventos climáticos extremos [1]. Em resposta a esses eventos, foram estabelecidas metas, como o Acordo de Paris [2], que destacam a redução do consumo de energia e das emissões de gases para minimizar esses impactos [3]. As edificações, responsáveis por 26% das emissões de gases de efeito estufa e 30% do consumo de energia global [4], representam um setor que necessita de transformações urgentes para minimizar as mudanças climáticas.

Para alcançar essas metas, a eficiência energética é uma medida essencial, pois contribui para a redução do consumo de energia e das emissões de gases [5]. Considerar a eficiência energética nas fases iniciais do projeto é fundamental, uma vez que, nessa etapa, os custos para modificar o projeto são menores e os impactos positivos são maiores [6]. Uma abordagem para integrar a eficiência energética ao projeto é a simulação energética, que visa a criação de um modelo virtual da edificação, incluindo geometria, envoltória, sistemas, equipamentos, cargas internas, padrões de uso e operação, além do clima local [7]. Por meio da simulação energética, é possível melhorar o planejamento da edificação, visando um desempenho energético mais eficiente ao longo de seu ciclo de vida.

Embora a simulação energética seja uma simplificação da realidade, pode apresentar resultados precisos se executada corretamente. No entanto, muitas vezes é negligenciada devido à falta de dados disponíveis e às mudanças no projeto [8], resultando em edifícios com baixo desempenho energético e altos custos operacionais [6]. A Modelagem da Informação da Construção (BIM) tem se destacado como uma metodologia para promover a eficiência energética [9]. O BIM melhora a comunicação e o compartilhamento de informações, permitindo modificações rápidas nos projetos e um fluxo de trabalho mais integrado [6]; permitindo a criação de modelos digitais ricos em dados semânticos, que são úteis na simulação [10]. Com o BIM, é possível reduzir o retrabalho e os processos manuais, uma vez que os dados do modelo podem ser exportados diretamente para a criação do modelo de energia (BEM) necessário para a simulação [7] [11].

A integração BIM-BEM pode apresentar falhas, como na conversão da geometria e perda de dados de materiais, propriedades térmicas, sistemas, equipamentos e agendas de uso [12]. A interoperabilidade é um desafio conhecido nessa integração [13]. Estudos mostram que, embora seja possível exportar a geometria e dados

semânticos do BIM para o BEM, a perda de dados é frequente, sendo a maior vantagem o aproveitamento da geometria [14][15]. Uma estratégia para minimizar problemas de interoperabilidade é a integração direta BIM-BEM, usando ferramentas BIM conectadas diretamente às ferramentas de simulação. Nesse método, a conversão BIM-BEM é automatizada pela ferramenta BIM. Exemplos recentes incluem o recurso *Systems Analysis* do programa *Revit*, que integra o programa *OpenStudio* e o programa *EnergyPlus* diretamente ao *Revit* [16][17].

Embora existam pesquisas sobre a integração direta entre essas ferramentas, a maioria se concentra em análises termoenergéticas. Há uma carência de estudos que investiguem a integridade do processo BIM-BEM através do *Systems Analysis* [18]. Uma limitação identificada foi a versão do esquema *Green Building XML* (gbXML) utilizado. Até 2023, a maioria dos fluxos de integração utilizava a versão 0.37 do gbXML, de 2010 [19]. No entanto, o *Systems Analysis* do programa *Revit* 2025 integrou o esquema gbXML atualizado (7.03) em novembro de 2023. O lançamento do *Revit* 2025 é muito recente, tendo sido feito em abril de 2024.

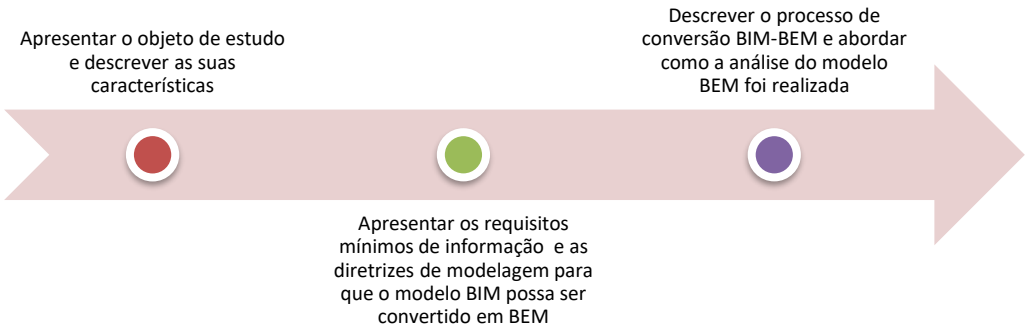
Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar o potencial de interoperabilidade da estratégia de integração direta BIM-BEM, utilizando a combinação do esquema gbXML mais recente (7.03) e do recurso *Systems Analysis* do *Revit* 2025.

MÉTODO

A pesquisa utilizou a abordagem de estudo de caso, empregando um protótipo representativo de edificações educacionais de ensino superior. A edificação foi modelada no programa *Revit*, sendo considerado além da geometria, as informações necessárias para a simulação, incluindo materiais, propriedades térmicas, cargas internas e agendas. O processo de conversão BIM-BEM foi conduzido pelo *Systems Analysis*. Posteriormente, foi realizada uma análise do modelo BEM resultante do processo de conversão, que incluiu a inspeção dos arquivos gbXML e *Input Data File*[1] (IDF), gerados pelo *Systems Analysis*. A Figura 1 ilustra o panorama geral do método de pesquisa.

[1] O IDF é um arquivo de entrada do *EnergyPlus* que contém todas as informações necessárias para realizar uma simulação energética de uma edificação.

Figura 1: Fluxograma do método

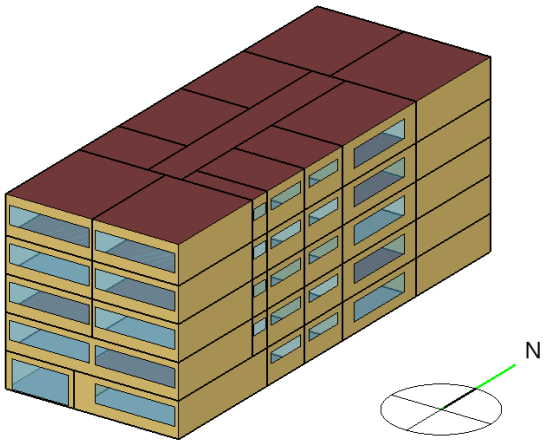


Fonte: os autores.

OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo selecionado é um arquétipo representativo de edificações educacionais de ensino superior (Figura 2), desenvolvido no projeto Desempenho Energético Operacional em Edificações (DEO), resultado da colaboração entre o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Eletrobras [20].

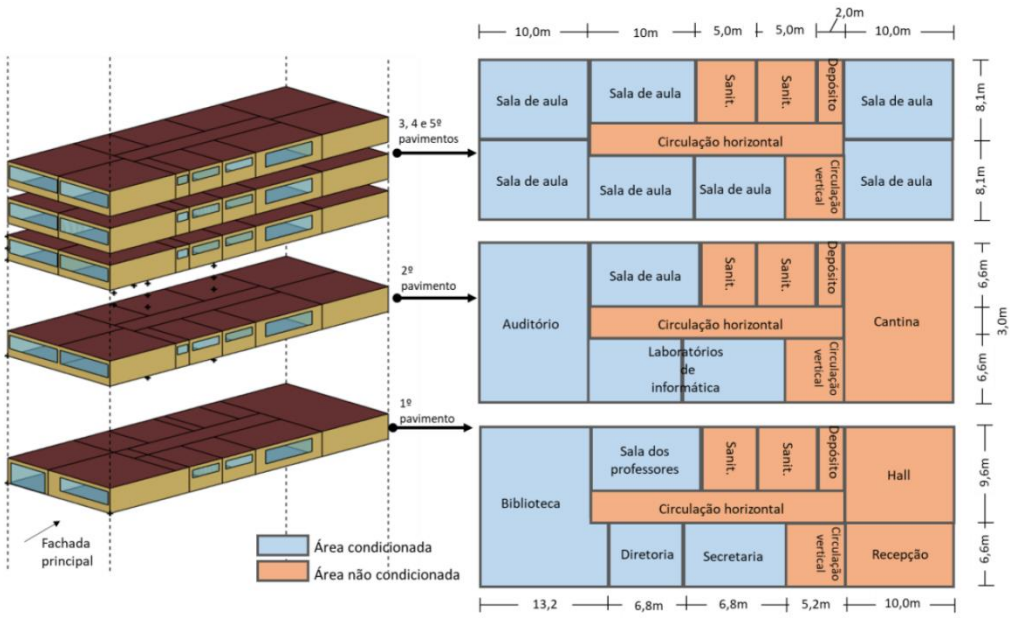
Figura 2: Protótipo de edificação educacional de ensino superior



Fonte: [20].

O arquétipo possui 56 ambientes, sendo 32 condicionados artificialmente e 24 não condicionados. A Figura 3 ilustra os ambientes e o tipo de condicionamento.

Figura 3: Plantas dos ambientes do arquétipo e tipo de condicionamento



Fonte: [20].

As características da envoltória do arquétipo e as informações gerais, de uso, de ocupação, das cargas internas e outras configurações são apresentadas pela Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1: Características construtivas da envoltória do arquétipo

Elemento	**Descrição**	**Absortância solar**	**Transmitância térmica [W/m².K]**	**Capacidade térmica [kJ/m².K]**	**Fator solar**
Vidro	Vidro simples incolor (6 mm)	-	5,70	-	0,82
Parede interna/externa	Tijolo cerâmico de 6 furos (9 x 14 x 24 cm) com revestimento interno (2,5 cm) e externo (2,5 cm) em argamassa	0,50	2,27	150	-
Piso	Laje de concreto (10 cm)	0,70	4,00	220	-
Cobertura	Laje de concreto (10 cm), câmara de ar (> 5 cm) e telha de fibrocimento	0,80	2,13	233	-

Fonte: adaptado de [21].

Tabela 2: Informações gerais, de uso, de ocupação, das cargas internas e outras configurações

Parâmetro	**Valor**
Fachada principal	Sul
Percentual de abertura da fachada da edificação	20%
Horário de uso	Das 07:00 às 16:00
Período de ocupação	1º semestre: 11/02 a 13/07 2º semestre: 30/07 a 17/12
Densidade de ocupação	1,5 m²/pessoa
Ganho de calor por pessoa	120 W
Densidade de potência de iluminação	15,5 W/m²
Densidade de potência de equipamentos	15 W/m²

Setpoint de aquecimento	21 °C
Setpoint de resfriamento	24 °C
Infiltração	0,5 renovações de ar por hora
Renovação de ar por pessoa	0,0075 m³/s.pessoa

Fonte: adaptado de [20].

REQUISITOS MÍNIMOS DE INFORMAÇÃO E DIRETRIZES DE MODELAGEM BIM

Os requisitos mínimos de informação são os dados necessários para que o modelo BIM possa ser convertido em um modelo BEM e simulado em um programa de simulação computacional [22].

Os requisitos mínimos de informação nesta pesquisa contemplam a geometria, as características construtivas da envoltória, as cargas internas na edificação, as agendas de uso e ocupação e as configurações básicas do objeto *IdealLoadsAirSystem* do programa *EnergyPlus*, que possibilita a previsão de carga térmica da edificação.

As diretrizes de modelagem BIM delineiam o processo de desenvolvimento do modelo BIM e a implementação dos requisitos mínimos de informação. Inicialmente, estabeleceram-se os materiais e as propriedades térmicas dos elementos da envoltória. Em seguida, os elementos da envoltória foram modelados utilizando modelos equivalentes [23], com camadas homogêneas de materiais, uma prática comum em programas de simulação. Essa abordagem foi essencial para permitir que o programa *Revit* calculasse a transmitância e a capacidade térmica corretamente, além de exportar os materiais em camadas conforme necessário para a simulação no programa *EnergyPlus* [24]. As configurações dos elementos da envoltória são demonstradas pela Tabela 3.

Tabela 3: Configurações dos materiais dos elementos da envoltória

Elemento	**Material**	**Espessura [cm]**	**Condutividade térmica [W/m.K]**	**Calor específico [J/kg.K]**	**Densidade aparente [kg/m³]**
Parede	Reboco	2,50	1,15	1.000	2.000
	Cerâmica	1,36	0,90	920	1.600
	Ar	6,32	0,364	-	-
	Cerâmica	1,36	0,90	920	1.600
	Reboco	2,50	1,15	1.000	2.000
Piso	Concreto	10,00	1,75	1.000	2.200
Cobertura	Concreto	10,00	1,75	1.000	2.200
	Ar	25,00	1,19	-	-
	Fibrocimento	0,80	0,95	840	1.900

Fonte: Adaptado de [23].

Durante a modelagem no programa *Revit*, foi essencial simplificar a geometria, evitando superfícies curvas e elementos complexos, pois a estrutura do gbXML não suporta tais detalhes e pode causar falhas geométricas. Após concluir a geometria, Espaços foram inseridos em cada ambiente do modelo. Esses Espaços contêm informações específicas sobre cada uma das áreas em que foram inseridos (por exemplo, cargas internas e agendas). Essas informações são fundamentais para realizar análises de cargas térmicas e para a exportação de arquivos gbXML. A Figura 4 apresenta as principais informações contidas nos Espaços, configuradas conforme [20].

Figura 4: Janela de configurações da família de Espaços

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	1.500 m^2
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	15.50 W/m^2
Power Load Density	15.00 W/m^2
Infiltration Airflow per area	1.497600 $m^3/(h \cdot m^2)$
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	university-occupancy-longter
Lighting Schedule	university-occupancy-longter
Power Schedule	university-occupancy-longter
Outdoor Air per Person	0.00750 m^3/s
Outdoor Air per Area	0.000000 $m^3/(h \cdot m^2)$
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Heating Set Point	21.00 °C
Cooling Set Point	24.00 °C
Humidification Set Point	30.0000%
Dehumidification Set Point	60.0000%

Fonte: os autores.

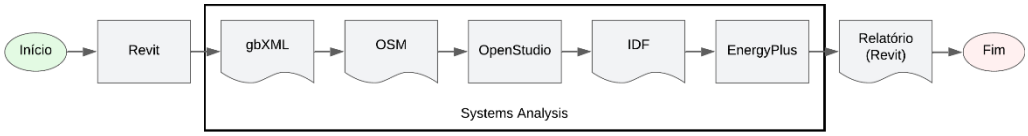
Após a conclusão da geometria e a inserção dos Espaços, é necessário gerar o modelo analítico de energia, uma representação simplificada da edificação utilizada para simulações energéticas. Este modelo é derivado do modelo arquitetônico e contém as informações essenciais para avaliar o desempenho energético da edificação. O modelo analítico de energia pode ser gerado por três módulo distintos, são estes: elementos de construção[1]; ambientes ou espaços[2]; e massas conceituais e elementos de construção[3]. Os três módulos de conversão do modelo arquitetônico para o modelo analítico de energia foram testados para compreender possíveis diferenças entre os modelos gerados pelos módulos.

CONVERSÃO BIM-BEM E ANÁLISE DO MODELO BEM

A conversão do modelo BIM para o BEM foi conduzida por meio do *Systems Analysis*. Esse recurso realiza a conversão do modelo analítico de energia do *Revit* para o formato gbXML, que posteriormente é transformado em um arquivo *OpenStudio Model* (OSM). Em seguida, o OSM é convertido em um IDF, utilizado na simulação no programa *EnergyPlus*, cujos resultados são integrados ao *Revit*. O processo ocorre em segundo plano dentro do *Revit*, e os arquivos intermediários podem ser acessados na pasta de arquivos temporários do *Windows* [25]. A Figura 5 demonstra o fluxo dos processos do *Systems Analysis*.

[1] Gera espaços e superfícies analíticos diretamente dos elementos físicos da construção (por exemplo, paredes, pisos, telhados).
[2] Usa os volumes definidos por ambientes ou espaços dentro do edifício.
[3] Combina massas conceituais, representações simplificadas e abstratas do volume e forma do edifício, com elementos detalhados da construção.

Figura 5: Fluxo dos processos do Systems Analysis



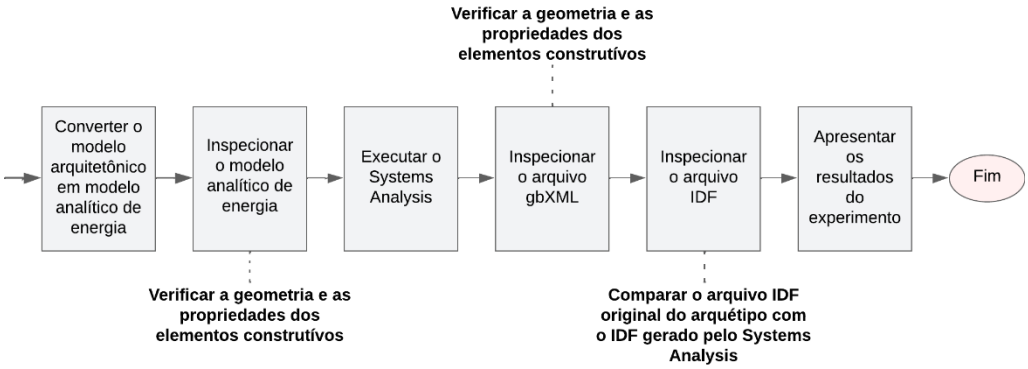
Fonte: adaptado de [25].

A análise do modelo BEM foi dividida em três etapas. A primeira etapa consistiu na inspeção do modelo analítico de energia no *Revit*. Durante essa etapa, o modelo foi examinado para garantir a presença dos materiais e propriedades térmicas esperados em todas as superfícies analíticas[1]. Além disso, foi verificado se todas as zonas térmicas estavam devidamente fechadas, sem espaços vazios entre as superfícies analíticas.

A segunda etapa envolveu a análise do arquivo gbXML gerado durante o fluxo do *Systems Analysis*. O arquivo gbXML foi inspecionado com o *Spider gbXML Viewer*, uma ferramenta gratuita que possibilita visualizar, validar e editar arquivos gbXML diretamente no navegador [26].

Na terceira etapa, procedeu-se à análise do arquivo IDF gerado pelo *Systems Analysis*. O *EnergyPlus* (versão 23.1.0) foi utilizado para comparar os dados e configurações do arquivo IDF original do arquétipo com o IDF gerado pelo *Systems Analysis*. A Figura 6 apresenta o fluxo da análise da integridade do modelo BEM.

Figura 6: Fluxo da análise da integridade do modelo BEM



Fonte: os autores.

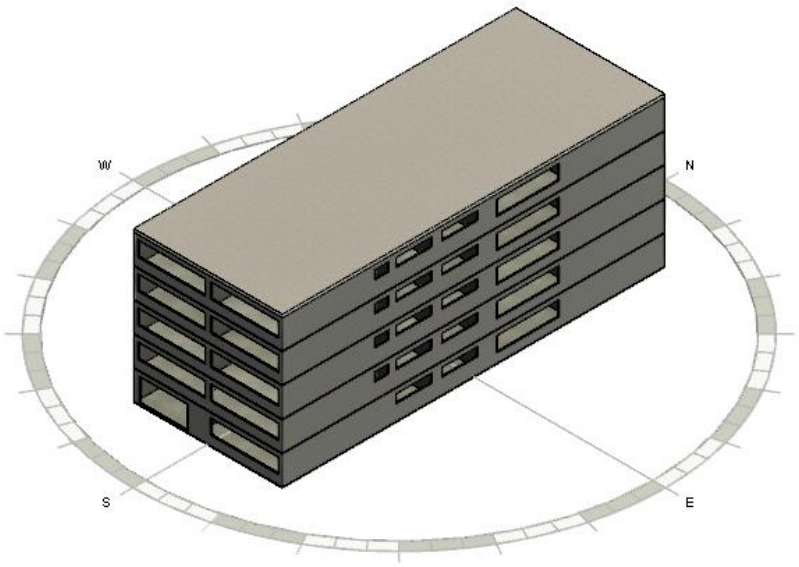
RESULTADOS

O desenvolvimento do modelo arquitetônico (Figura 7), contendo os materiais e as configurações das propriedades térmicas, cargas internas e agendas de uso e ocupação, foi realizado. No entanto, as configurações relativas aos aspectos analíticos, especialmente a infiltração, a renovação de ar e os parâmetros para a previsão de

[1] As superfícies analíticas são fronteiras entre os espaços internos e externos do modelo de energia, permitindo análises de transferência de calor e adjacência para simulações energéticas.

carga térmica disponibilizados pelo *Revit*, são limitadas em comparação com as entradas de dados do *EnergyPlus*.

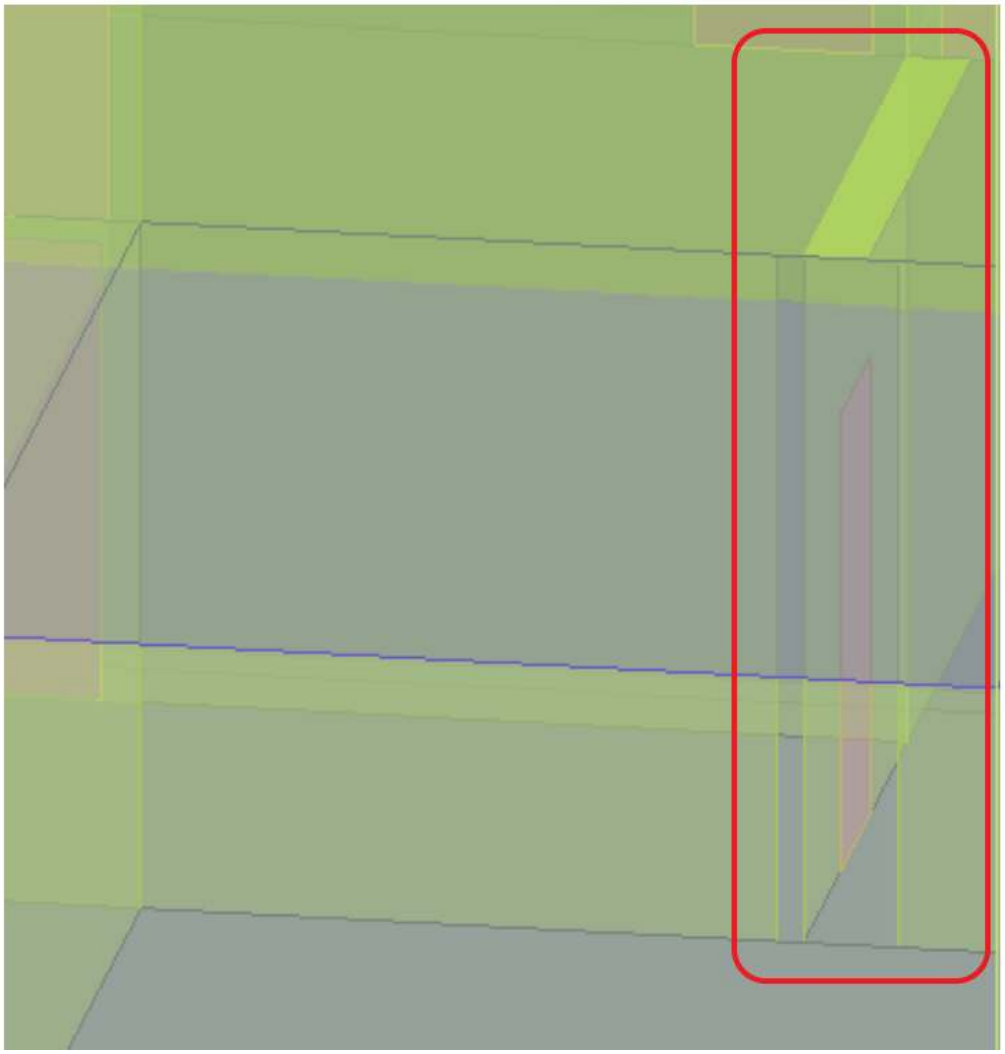
Figura 7: Protótipo modelado no Revit



Fonte: os autores.

Os modelos analíticos de energia gerados pelos módulos de “elementos de construção” e de “massas conceituais e elementos de construção”, resultaram em falhas em algumas inserções entre paredes e pisos (Figura 8). Do primeiro ao quarto pavimento, todas as paredes estão alinhadas no mesmo eixo, e todas as falhas ocorreram entre as paredes do térreo e os pisos do primeiro pavimento, indicando que a mudança de eixo das paredes gerou as falhas na geometria.

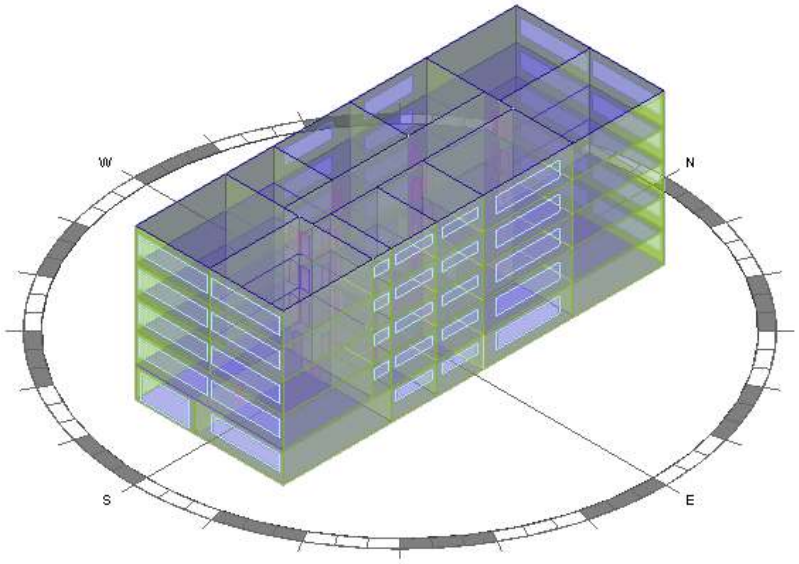
Figura 8:Falhas na geometria



Fonte: os autores.

Posteriormente, foi gerado um modelo analítico de energia utilizando o módulo de "ambientes ou espaços" (Figura 9), e este modelo não apresentou falhas na geometria.

Figura 9: Modelo analítico de energia

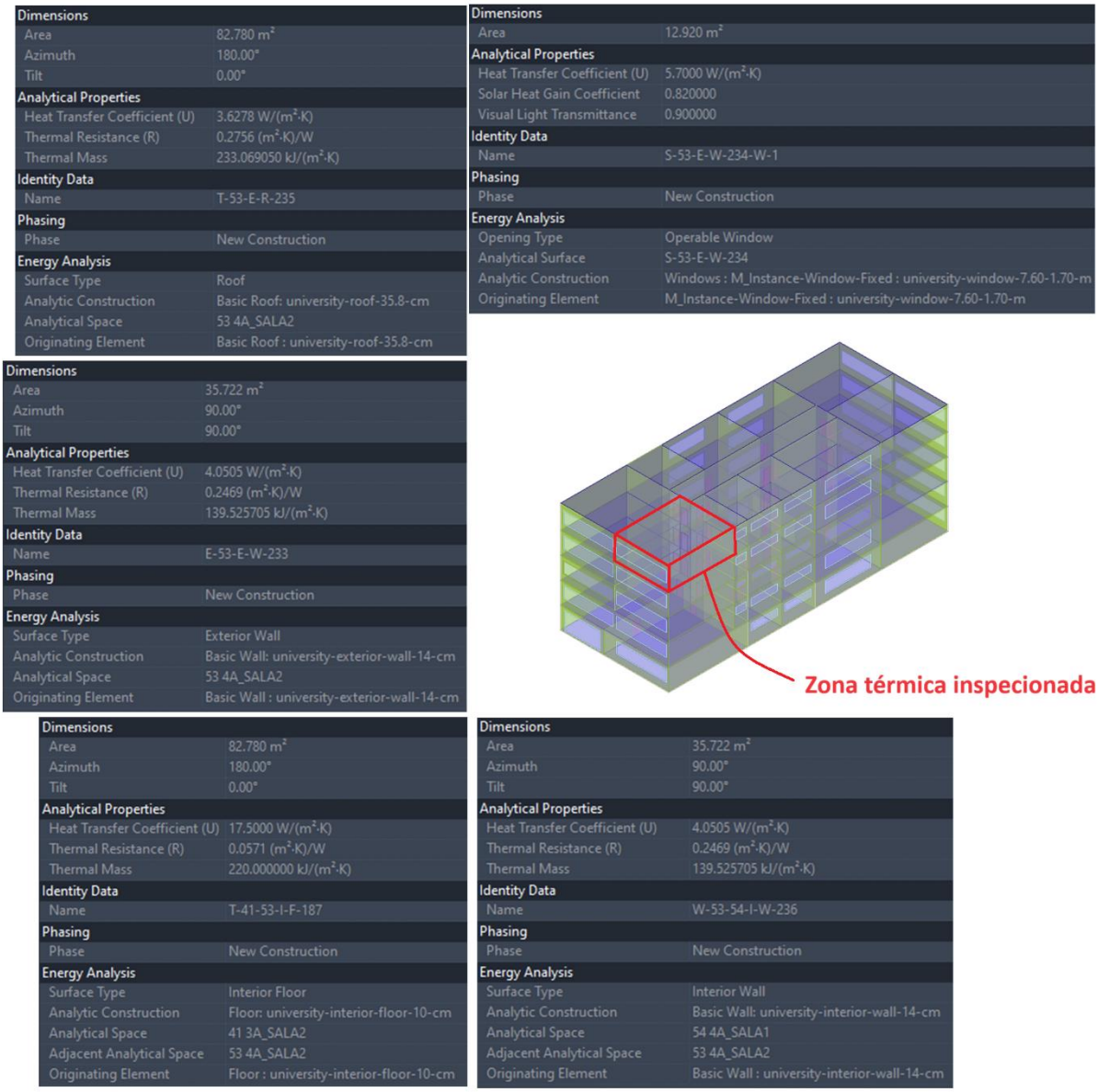


Fonte: os autores.

As propriedades das superfícies analíticas, gerada pelo módulo de “ambientes ou espaços”, também foram analisadas (Figura 10), não sendo identificados problemas nos dados semânticos. O *Revit* foi capaz de gerar um modelo analítico de energia alinhando às características do modelo arquitetônico, transpondo corretamente a geometria e os dados semânticos do modelo arquitetônico para o modelo analítico de energia. Um aspecto observado foi que a transmitância térmica calculada pelo *Revit* não considera a resistência térmica superficial interna e externa do ar, apenas a resistência térmica do elemento construtivo. A capacidade térmica foi determinada corretamente pelo *Revit*.

Foram observadas divergências entre a área da envoltória do modelo arquitetônico e do modelo analítico de energia devido à criação de superfícies analíticas a partir dos eixos centrais das paredes. O algoritmo de transformação do modelo arquitetônico para o modelo analítico de energia considera o eixo central das paredes e transforma moldura e caixilhos em vidro, resultando em diferenças nos valores das áreas superficiais. O modelo analítico de energia considerou o nível do piso acabado do térreo, ignorando a espessura do piso. Toda a espessura do piso do pavimento superior foi considerada como uma superfície analítica (parede). Esses fatores resultaram em uma diferença de 0,47% na área superficial entre o modelo arquitetônico (2.003,40 m²) e o modelo analítico de energia (1.993,96 m²). Além disso, a conversão da moldura e dos caixilhos das janelas em vidro causou uma diferença de 11,16% na área envidraçada total entre o modelo arquitetônico (408,24 m²) e o modelo analítico de energia (453,78 m²).

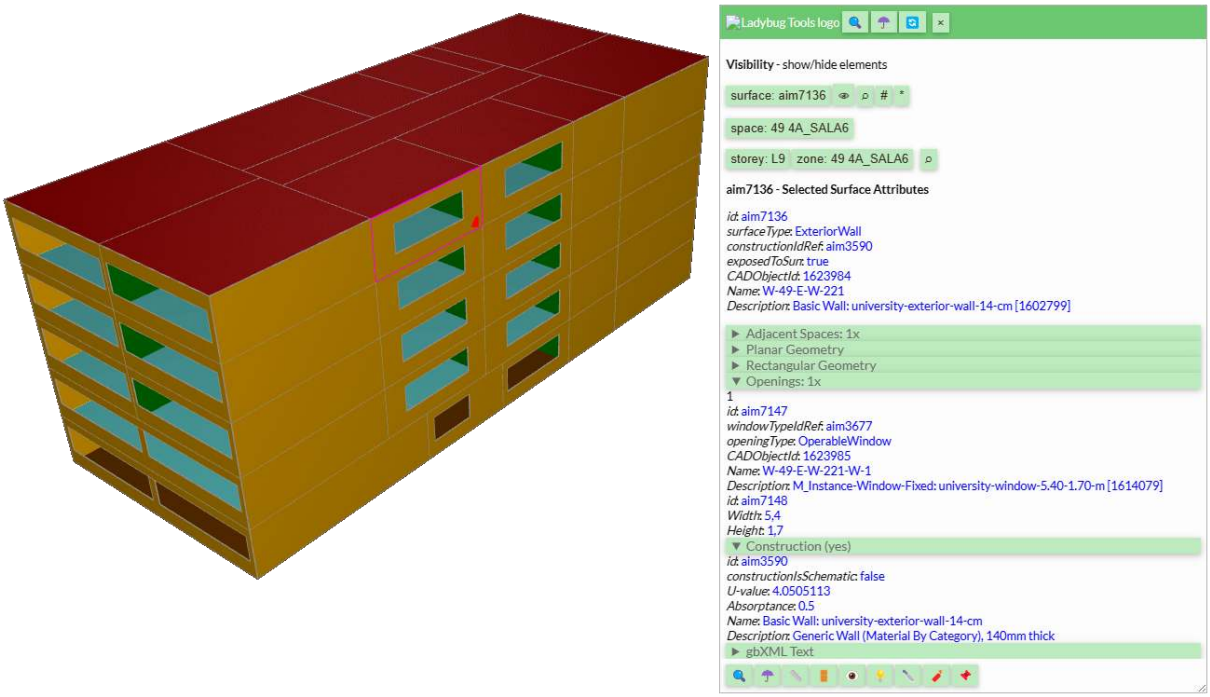
Figura 10: Inspeção dos dados semânticos de uma zona térmica do modelo analítico de energia



Fonte: os autores.

A geometria do arquivo gbXML foi analisada pelo *Spider gbXML Viewer* (Figura 11), que não identificou problemas. As descrições dos elementos construtivos e os dados semânticos das propriedades térmicas dos materiais foram inspecionados, confirmando a conversão precisa do modelo analítico de energia para o gbXML.

Figura 11: Inspeção da geometria e dos dados semânticos do arquivo gbXML



Fonte: os autores.

Foi realizada uma inspeção do IDF gerado pelo *Systems Analysis* no *EnergyPlus* e constatou-se que os requisitos mínimos de informação foram convertidos do *Revit* para o IDF. No entanto, o IDF do *Systems Analysis* apresentou algumas diferenças em relação ao IDF original, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1: Diferenças entre o IDF original e do *Systems Analysis*

IDF original	**IDF Systems Analysis**
Tipo de arquivo climático: TMYx.2007-2021	Tipo de arquivo climático: INMET
Simulação para todos os dias do ano	Simulação pelo *DesignDay*
Considera feriados (*SpecialDays*)	Não considera feriados (*SpecialDays*), mas os dias de feriados em que não ocorre uso e ocupação podem ser configurados no calendário do *Revit*
As temperaturas do solo foram calculadas pelo método *FiniteDifference*	As temperaturas do solo foram as *Default* do *EnergyPlus*
As agendas são consideradas pelo objeto *Schedule:Compact*	As agendas são consideradas pelos objetos *Schedule:Day:Interval*; *Schedule:Week:Daily*; *Schedule:Year*; e *Schedule:Compact*
O objeto para estimar a carga térmica foi o *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*	O objeto para estimar a carga térmica foi o *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem*
O objeto *ZoneInfiltration:DesignFlowRate* foi considerado para a infiltração de ar	O objeto *ZoneInfiltration:DesignFlowRate* foi considerado para a infiltração de ar, mas o valor inserido no *Revit* não foi transferido na conversão BIM-BEM, o *EnergyPlus* zerou a infiltração
Consideração da renovação de ar pelo *DesignSpecification:OutdoorAir*	Consideração da renovação de ar pelo *DesignSpecification:OutdoorAir*, mas ao inserir o valor de *Outdoor Air* no *Revit*, também foi criado o objeto *ZoneVentilation:DesignFlowRate*, que não existe no IDF original

Fonte: os autores.

LIMITAÇÕES

Uma limitação desta pesquisa para a aplicação em cenários reais é a forma como a modelagem foi executada, utilizando modelos equivalentes [23]. Essa abordagem não é convencional na indústria, exigindo a adaptação de um modelo com as características reais da edificação para um modelo equivalente, o que aumenta o tempo e o trabalho necessários para a preparação do modelo BIM para a conversão ao BEM.

Outras limitações desta pesquisa incluem o uso de um arquétipo com geometria simples. Isso significa que, apesar das atualizações do *Revit* 2025, a conversão BIM-BEM de geometrias complexas pode continuar sendo um problema. Nesse sentido, recomenda-se que novos testes sejam realizados em modelos mais complexos e que os resultados das simulações energéticas do *Systems Analysis* sejam analisados para avaliar a precisão da ferramenta.

CONCLUSÕES

A conversão BIM-BEM realizada por meio do *Systems Analysis* integrada ao *Revit*, com o esquema gbXML 7.03, gerou um modelo BEM sem falhas na geometria e foi capaz de transpor corretamente todos os materiais e propriedades térmicas da envoltória. Apesar do modelo BEM não apresentar falhas na geometria, é importante destacar que o arquétipo utilizado possuía características arquitetônicas simples.

Foram identificadas limitações na quantidade de dados de entrada no *Revit*, especialmente relacionados aos parâmetros de configuração dos Espaços. Problemas na transferência de dados, particularmente em relação à infiltração de ar, e a impossibilidade de considerar a renovação de ar sem criar um grupo de objetos de ventilação natural foram observados.

O *Systems Analysis*, via *OpenStudio*, automatizou a criação dos grupos de objetos do *EnergyPlus*, o que facilita o processo de simulação. No entanto, essa automação limita a customização de parâmetros específicos da simulação, que posteriormente precisam ser ajustados manualmente.

A versão 2025 do *Systems Analysis* proporcionou a conversão do modelo BIM para BEM sem falhas na geometria e com poucos problemas na transferência dos dados semânticos, que puderam ser facilmente corrigidos no *EnergyPlus*. Em relação à falta de customização da simulação, cabe destacar que a automação do processo de conversão BIM-BEM é executada por rotinas do *OpenStudio*, que podem ser modificadas através de programação computacional para atender a objetivos específicos [25]. Nesse sentido, recomenda-se que pesquisas sejam realizadas para criar *scripts* de rotina de processos para o *Systems Analysis*.

Este trabalho representa uma contribuição cientifica à pesquisa demonstrando a viabilidade de uso de uma ferramenta BIM e de um processo de conversão BIM-BEM para auxiliar projetistas a analisarem a carga térmica de edifícios. As limitações apresentadas demonstram perspectivas para pesquisas futuras e testes em

geometrias mais complexas. Além disso, o estudo destaca a possibilidade para aprimoramento de automação e personalização de parâmetros de simulação. Recomenda-se que pesquisas futuras desenvolvam *scripts* personalizados para a otimização de processos. Em suma, este trabalho oferece uma base para o desenvolvimento de ferramentas e metodologias para integração de modelos arquitetônicos e energéticos, representando uma contribuição para o desenvolvimento de uma prática de construção mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] WMO – World Meteorological Organization. **The Global Climate 2011-2020: A decade of accelerating climate change**. Geneva: WMO, 2023. Disponível em: https://library.wmo.int/records/item/68585-the-global-climate-2011-2020. Acesso em: 11 mar. 2024.

[2] UN – United Nations. **The Sustainable Development Goals Report 2023: towards a rescue plan for people and planet**. New York: UN, 2023. Disponível em: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/?_gl=1*19v4adn*_ga*MTc3Mjc3OTU2My4xNzEwMTYwMjYy*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcxMDI0NTAyMy4zLjEuMTcxMDI0NzYyMS4wLjAuMA. Acesso em: 12 mar. 2024.

[3] UN – United Nations. **What is climate change**. 2024. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change. Acesso em: 12 mar. 2024.

[4] IEA – International Energy Agency. **Buildings**. 2024. Disponível em: https://www.iea.org/energy-system/buildings. Acesso em: 12 mar. 2024.

[5] IPCC – Intergovernmental panel on climate change. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.unep.org/resources/report/climate-change-2023-synthesis-report. Acesso em: 11 mar. 2024.

[6] GAO, H.; KOCH, C.; WU, Y. Building information modelling based building energy modelling: a review. **Applied Energy**, v. 238, p. 320-343, mar. 2019. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032.

[7] HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. 2. ed. New York: Routledge, 2019.

[8] HARTER, H.; SINGH, M. M.; SCHNEIDER-MARIN, P.; LANG, W.; GEYER, P. Uncertainty Analysis of Life Cycle Energy Assessment in Early Stages of Design. **Energy and Buildings**, v. 208, p. 109635, fev. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109635.

[9] PEREIRA, V.; SANTOS, J.; LEITE, F.; ESCÓRCIO, P. Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. **Energy and Buildings**, v. 250, p. 111292, nov. 2021. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292.

[10] SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers**. 3. ed. New Jersey: Wiley, 2018.

[11] BRACHT, M.K.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. **Automation in Construction**, v. 121, p. 103422, jan. 2021. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422.

[12] KAMEL, E.; MEMARI, A. M. Review of BIM's application in energy simulation: tools, issues, and solutions. **Automation in Construction**, v. 97, p. 164-180, jan. 2019. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008.

[13] MUTA, L. F.; GARLET, L.; MELO, A. P. BIM application in the Brazilian Building Labeling Program: a review. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 15, p. e024005, abr. 2024. https://doi.org/10.20396/parc.v15i00.8674178

[14] QUEIRÓZ, G. R.; GRIGOLETTI, G. C.; SANTOS, J. C. P. Interoperability between Autodesk Revit and EnergyPlus for thermal simulations of buildings. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. 019005, jan. 2019. http://dx.doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652852.

[15] AZEVEDO, N. C.; TAVARES, S. F. Interoperabilidade entre as ferramentas Revit e OpenStudio para simulação termoenergética. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. 020011, jul. 2020. http://dx.doi.org/10.20396/parc.v11i0.8653783.

[16] BARONE, G.; BUONOMANO, A.; FORZANO, C.; GIUZIO, G. F.; PALOMBO, A. Improving the Efficiency of Maritime Infrastructures through a BIM-Based Building Energy Modelling Approach: a case study in naples, italy. **Energies**, v. 14, n. 16, p. 4854, ago. 2021. http://dx.doi.org/10.3390/en14164854.

[17] KAMEL, E.; KAZEMIAN, A. BIM-integrated thermal analysis and building energy modeling in 3D-printed residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 279, p. 112670, jan. 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112670.

[18] RODRIGUES, C. M. A. C.; SILVA, A. C. S. B.; CUNHA, E. G. Análise da ferramenta "Systems Analysis" aplicada à simulação energética de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022.

[19] AUTODESK. **Revit Systems Analysis**. 2024. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/ENU/?guid=GUID-A262F53F-B389-4846-89EF-5855F55476A5. Acesso em: 11 abr. 2024.

[20] CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **RT2B.12: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de benchmark para a tipologia de Universidade e Instituição de Ensino Técnico**. São Paulo: CBCS, 2021.

[21] BRASIL. Portaria Nº 309, de 6 de setembro de 2022. Aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. 2022.

[22] GSA – General Service Administration. **BIM Guide 05 – Energy Performance**. Washington: GSA. 2015.

[23] LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017.

[24] MUTA, L. F.; SILVA, A. C. S. B.; CORRÊA, L. V.; SCHRAMM, F. K.; MELO, A. P. Análise do uso de BIM na extração dos dados necessários para a avaliação de eficiência energética da INI-C. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022.

[25] AUTODESK. **REVIT 2020.1 Webinar: Revit Systems Analysis for MEP**. San Francisco: Autodesk Building Solutions, 2019. P&B. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8kvSB5abVH4. Acesso em: 09 abr. 2024.

[26] LADYBUG TOOLS. **Spider gbXML Viewer**. 2020. Disponível em: https://www.ladybug.tools/spider-gbxml-tools/spider-gbxml-viewer/v-0-17-08/app-viewer/spider-gbxml-viewer.html. Acesso em: 10 maio 2024.