


INTEROPERABILIDADE BIM/BES: ESTUDO DE CASO ENTRE REVIT® E DESIGNBUILDER®, IES-VE® E E-QUEST®

Luísa Lopes de Freitas Guilherme^A, Carolina Fernandes Vaz^B, Caroline Soares da Silva^C, Ana Carolina Fernandes Maciel^D, André Luis de Araújo^E



ARTICLE INFO	RESUMO
<p>Article history: Received: April, 22nd 2024 Accepted: June, 21st 2024</p>	<p>Objetivo: Este estudo propõe um teste de interoperabilidade BIM/BES, por meio de um estudo de caso entre Revit® e três softwares BES: DesignBuilder®, IES-VE® e e-Quest®.</p>
<p>Palavras-chave: BIM; BES; Interoperabilidade; Estudo de Caso.</p> 	<p>Referencial Teórico: Para análises termo energéticas uma combinação reconhecida é o binômio BIM (<i>Building Information Modeling</i>) / BES (<i>Building Energy Simulation</i>). Para isso é necessária a transferência de dados de um software para outro. Para exportar o modelo virtual faz-se necessário gerar o modelo analítico de energia no BIM e utilizar protocolos de transferência para softwares BES. Diversas pesquisas apontam falhas neste processo.</p> <p>Método: Foi utilizado um estudo de caso para analisar a interoperabilidade entre os softwares, por meio de uma residência unifamiliar de 58m². O modelo geométrico foi elaborado com suas dimensões e camadas, dados de entrada como localização, propriedade térmica dos materiais e dados de uso, gerado o modelo analítico de energia e exportado para cada software BES. A interoperabilidade foi testada a partir da análise da transferência de dados, estabelecendo-se sete critérios.</p> <p>Resultados e Discussão: Os resultados apontaram falhas na interoperabilidade, uma vez que nenhum dos softwares exportou todos os critérios corretamente. O software BES com os melhores resultados foi o IES-VE® com 70,90% dos critérios exportados, seguido do e-Quest® (65,45%) e o DesignBuilder® (45,45%).</p> <p>Implicações da Pesquisa: Os resultados deste estudo demonstram que os desafios de interoperabilidade limitam o pontencial do binômio BIM/BES.</p> <p>Originalidade/Valor: Embora estudos nesta temática, os desafios de interoperabilidade permanecem, sendo uma lacuna a ser preenchida.</p> <p>Doi: https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i7.4845</p>

BIM/BES INTEROPERABILITY: A CASE STUDY BETWEEN REVIT®, DESIGNBUILDER®, IES-VE®, AND E-QUEST®

ABSTRACT

Objective: This study proposes a BIM/BES interoperability test through a case study involving Revit® and three BES software programs: DesignBuilder®, IES-VE®, and e-Quest®.

^A Graduada em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: luisa.guilherme@ufu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6610-832X>

^B Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: carolina.vaz@ufu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3967-8332>

^C Graduada em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: carolsoares1610@ufu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6994-7997>

^D Doutora em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: ana.maciel@ufu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1307-9291>

^E Doutor em Arquitetura. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: andre.araujo@ufu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4951-6860>

Theoretical Framework: For thermo-energy analyses, a recognized combination is the BIM (Building Information Modeling) / BES (Building Energy Simulation) pair. This requires data transfer from one software to another. To export the virtual model, it is necessary to generate the energy analytical model in BIM and use transfer protocols for BES software. Various studies have indicated failures in this process.

Method: A case study was used to analyze the interoperability between the software programs, through a 58m² single-family residence. The geometric model was created with its dimensions and layers, input data such as location, thermal properties of materials, and usage data, generating the energy analytical model and exporting it to each BES software. Interoperability was tested based on data transfer analysis, establishing seven criteria.

Results and Discussion: The results indicated failures in interoperability, as none of the software programs exported all the criteria correctly. The BES software with the best results was IES-VE®, with 70.90% of the criteria exported, followed by e-Quest® (65.45%) and DesignBuilder® (45.45%).

Research Implications: The results of this study demonstrate that interoperability challenges limit the potential of the BIM/BES pair.

Originality/Value: Despite studies on this topic, interoperability challenges remain, representing a gap to be filled.

Keywords: BIM, BES, Interoperability, Case Study.

BIM/INTEROPERABILIDAD DE BES: UN ESTUDIO DE CASO ENTRE REVIT®, DESIGNBUILDER®, IES-VE® Y E-QUEST®

RESUMEN

Objetivo: Este estudio propone una prueba de interoperabilidad BIM/BES a través de un estudio de caso entre Revit® y tres programas de software BES: DesignBuilder®, IES-VE® y e-Quest®.

Marco Teórico: Para los análisis termoenergéticos, una combinación reconocida es el binomio BIM (Building Information Modeling) / BES (Building Energy Simulation). Para ello, es necesaria la transferencia de datos de un software a otro. Para exportar el modelo virtual, es necesario generar el modelo analítico de energía en BIM y utilizar protocolos de transferencia para los programas de software BES. Diversas investigaciones señalan fallos en este proceso.

Método: Se utilizó un estudio de caso para analizar la interoperabilidad entre los programas de software, a través de una vivienda unifamiliar de 58m². El modelo geométrico fue elaborado con sus dimensiones y capas, datos de entrada como ubicación, propiedades térmicas de los materiales y datos de uso, generando el modelo analítico de energía y exportándolo a cada programa de software BES. La interoperabilidad se probó a partir del análisis de la transferencia de datos, estableciendo siete criterios.

Resultados y Discusión: Los resultados señalaron fallos en la interoperabilidad, ya que ninguno de los programas de software exportó todos los criterios correctamente. El programa de software BES con los mejores resultados fue IES-VE®, con el 70,90% de los criterios exportados, seguido de e-Quest® (65,45%) y DesignBuilder® (45,45%).

Implicaciones de la investigación: Los resultados de este estudio demuestran que los desafíos de interoperabilidad limitan el potencial del binomio BIM/BES.

Originalidad/Valor: A pesar de los estudios en esta temática, los desafíos de interoperabilidad persisten, siendo una brecha que debe ser llenada.

Palabras clave: BIM, BES, Interoperabilidad, Estudio de Caso.

1 INTRODUÇÃO

Estratégias para edificações adaptadas ao clima iniciaram-se em 1963 com Olgyay (Olgyay, 2015) através do conceito de bioclimatologia, no qual, a partir de métodos manuais o autor apontou estratégias para edificações apresentadas em cartas bioclimáticas (Olgyay, 2015). No final da década de 60, Givoni (Givoni, 1969) realizou adaptações e correções no método de Olgyay (Olgyay, 2015). No entanto, com a crise do petróleo na década de 70, os estudos

concentram-se não só na arquitetura bioclimática, mas em fontes renováveis de energia e em eficiência energética de edificações, o que resultou em normas de desempenho térmico, etiquetagem energética e certificações de edificações. Com isso, passou-se a investir em tecnologias construtivas e softwares de simulação para otimização das análises termo energéticas (Papadopoulos, 2016). Dessa forma, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) lançou softwares de simulação como BLAST e DOE-2, que posteriormente foram aprimorados e contribuíram para o lançamento do Energyplus® em 1997 (Crawley et al., 2000; Energyplus, 2022). Desde então, além do Energyplus®, diversos softwares BES (Building Energy Simulation) foram lançados para análises energéticas, como: IES-VE®, e-Quest®, ESP-r®, DesignBuilder®, GBS® e Ecotect® (Baamer et al., 2020).

Nesse contexto, plataformas BIM (Building Information Modeling), contribuem para a tomada de decisões de estratégias termo energéticas, uma vez que é possível elaborar modelos com diferentes informações para análises energéticas e permitem uma visão holística e colaborativa dos projetos (Succar, 2009). Um modelo BIM se diferencia de outros modelos em três dimensões, pois enquanto o segundo possui somente informações geométricas, o primeiro agrega outras informações relevantes como: estruturais, termo energéticas, custo, gestão, entre outros (Eastman et al., 2011). Assim, análises termo energéticas podem ser otimizadas com a integração BIM/BES através de um fluxo de trabalho que se inicia com a modelagem da edificação em um software BIM, com a inserção de dados de entrada relevantes para essa análise (geometria, localização, orientação, materiais, uso, ocupação, ganhos de calor interno e sistemas HVAC), que posteriormente é exportado para simulação em um software BES. Para que essa integração ocorra, é necessário que a interoperabilidade entre esses seja eficiente, ou seja, que as informações inseridas no BIM não sejam perdidas na exportação para o software BES.

Autores concluem que a interoperabilidade BIM/BES é pouco explorada em análises termo energéticas (Andriamamonjy et al., 2018), e pesquisas apontam que essa não se encontra resolvida (Moon et al., 2011; Utkucu & Sözer, 2020; Porsani et al., 2021). Para preencher as lacunas de interoperabilidade BIM/BES, alguns autores propõem métodos corretivos com essa finalidade (Porsani et al., 2021; Chong et al., 2019). Cabe salientar que os softwares BES estão em constante aprimoramento, em função disso, pesquisas atualizadas que apresentam resultados de interoperabilidade dos softwares BES com BIM são relevantes para melhor desempenho de análises termo energéticas.

A partir da necessidade de investigação de interoperabilidade BIM/BES, o objetivo desta pesquisa é analisar a transferência de dados entre um software BIM (Revit®) e três

softwares BES, sendo esses DesignBuilder®, IES-VE® e e-Quest®, por meio de um estudo de caso, para apontar qual software BES apresenta melhor interoperabilidade com o software BIM Revit® e proporcionar orientações para escolha de softwares nas análises termo energéticas em residências unifamiliares.

2 ESTADO DA ARTE

Diversas pesquisas investigaram a interoperabilidade BIM/BES a partir de revisão de literatura e testes de interoperabilidade. As metodologias adotadas são variadas e abordam desde testes de análise de transferência de dados à correção de protocolos abertos, assim como utilização de algoritmos para melhor transferência de informações.

A revisão da literatura foi utilizada por alguns autores (Andriamamonjy et al., 2018) para o levantamento do estado da arte. Alguns utilizaram o aplicativo Citespace® para mapear os principais tópicos abordados em BIM e concluíram que a interoperabilidade BIM/BES é um tópico menos abordado, demonstrando que o potencial do BIM com integração para análises energéticas ainda é pouco explorado. Outra pesquisa (Lilis et al., 2017) concluiu que os softwares mais utilizados na interoperabilidade BIM/BES são o Revit®, software de plataforma BIM; e os softwares BES são: Ecotec®, Energyplus®, Green Building Studio® e IES-VE®. Os autores salientam o crescimento de pesquisas sobre integração BIM/BES, e concluem que a falha de interoperabilidade entre esses ainda é assunto recorrente nas publicações.

Testes de interoperabilidade com análise dos dados de transferência (Moon et al., 2011), como apresentado nesse artigo, também foram abordados. Uma pesquisa utilizou um estudo de caso a partir da modelagem de um escritório de dois andares no Revit® com análise energética dos seguintes softwares BES: Energyplus®, e-Quest®, Ecotec® e IES-VE®. Dentre esses, o software BES que apresentou melhores resultados de entre Revit® foi o e-Quest®. Outros autores (Utkucu; Sözer, 2020) analisaram a transferência de dados entre Revit® e e-Quest®, e concluíram que a transferência é falha, sendo necessária a inserção de informações de forma manual. A fim de avaliar a transferência de dados de edifícios complexos, uma pesquisa (Porsani et al., 2021) analisou a interoperabilidade entre Revit® e DesignBuilder®, OpenStudio® e Cypetherme HE®, a partir da exportação por .gbXML e .IFC, concluindo que os materiais foram exportados em ambos os protocolos, mas houve falha na transferência das outras informações necessárias para análise energética.

Há também autores (Pereira et al., 2021) que propuseram métodos de correção de protocolos abertos, tanto em *.gbXML* como *.IFC*. Estes testaram um fluxo de trabalho para solucionar a interoperabilidade BIM/BES a partir da modelagem no Revit® com exportação pelo protocolo *.IFC*, complemento pelo SimpleBim® para limpar o arquivo e importação para o IDA-ICE para simulação energética, com a mescla desses resultados em um único arquivo *.IFC*. Os autores concluíram que esse método preenche as lacunas de interoperabilidade BIM/BES. Em outra pesquisa (Lilis et al., 2017), foi proposto um método para calibração contínua de modelos de simulação de energia (BES). Primeiro fez-se uma tradução de BIM para BES através de uma abordagem orientada a objetos com preenchimento do arquivo *.gbXML*, então esse foi exportado do BIM com as diversas informações necessárias e traduzido para o Energyplus IDF. Utilizando o BES baseado em BIM aplicou-se a contínua calibração bayesiana. Com isso, novos dados chegam e as observações já existentes não são descartadas, mas sim atualizadas ao modelo.

Outros autores (Lilis et al., 2017) apresentaram um algoritmo como solução de interoperabilidade BIM/BES denominado CBIP (Common Boundary Intersection Projection), desenvolvido a partir do arquivo *.IFC* gerado no BIM e validado com a análise de uma edificação com geometria complexa. Como resultado, o método se apresentou eficaz, já que a geometria foi exportada corretamente, assim como materiais com suas propriedades térmicas e elementos de sombreamento.

Observa-se que dos variados métodos utilizados para analisar e/ou sanar a interoperabilidade BIM/BES, no estado da arte apontado, nenhum teste de interoperabilidade foi satisfatório, sendo necessárias correções de protocolos ou criação de algoritmos para solucionar os problemas encontrados.

3 METODOLOGIA

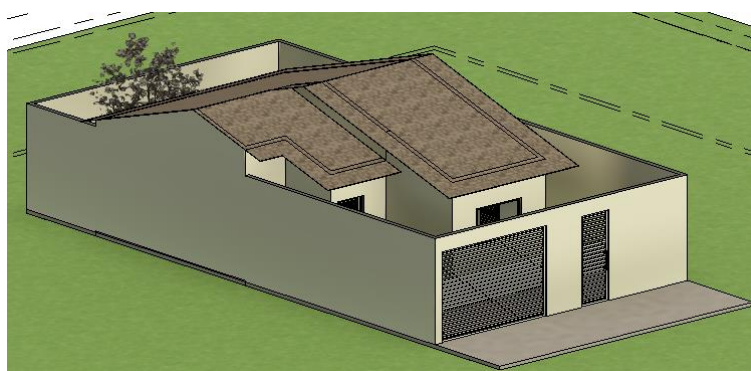
A fim de comparar o desempenho de interoperabilidade entre BIM e BES, foram realizados testes de transferência de dados a partir da modelagem paramétrica no Revit® 2022 de uma residência de 58m² em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, e exportação desta para três softwares BES. A escolha da localização da residência ocorreu por ser a cidade da instituição desta pesquisa, e a do software Revit® 2022 foi determinada pela disponibilidade da instituição na versão mais recente no período de realização do estudo. Já a seleção dos softwares BES foi pela disponibilidade de versões gratuitas como DesignBuilder® 2021 (versão *trial*), e-Quest®

3.65.7175 (software gratuito), assim como a possibilidade de aquisição da versão estudantil do IES-VE® 2021, uma vez que na versão *trial* os comandos são limitados.

O experimento teve início com a modelagem da geometria de uma residência de 58 m² no Revit® 2022 (software de plataforma BIM) e logo após, georreferenciada dentro da interface BIM em Uberlândia (MG). O modelo geométrico apresentado na Figura 1 foi elaborado com elementos construtivos com suas respectivas dimensões e camadas, assim como definidos os ambientes da construção em: sala integrada com cozinha, dois quartos e um banheiro.

Figura 1

Geometria da residência modelada no Revit® 2022.



Para dar seguimento ao fluxo de trabalho BIM/BES fez-se necessária a inserção dos dados de entrada como: localização, propriedade térmica dos materiais e dados de uso: ocupação, iluminação e equipamentos, e então criou-se o modelo analítico de energia no modo ambientes/espacos, que serão detalhados na sequência.

Após os dados serem configurados, foi gerado o arquivo para exportação segundo a necessidade de cada software BES. Com isso, os arquivos foram abertos nos três softwares de análise energética e foi testada a interoperabilidade BIM/BES a partir da análise da transferência de dados do modelo BIM para os softwares BES especificados.

3.1 DADOS DE ENTRADA

Dados de entrada são informações inseridas no modelo BIM que possibilitam a análise energética em softwares BES. Para tanto, a inserção dos dados de entrada teve como referência a pesquisa de Moon et al. (2011), na qual foram inseridas as seguintes informações: localização, geometria, propriedade térmica dos materiais, dados de uso e ocupação, ganhos de calor interno e sistemas HVAC.

O Revit® permite a inserção de propriedades térmicas dos materiais opacos, como: condutividade térmica, densidade e calor específico, que são necessários para os valores de resistência térmica. Assim como possibilita a inserção de dados de materiais translúcidos como fator solar, transmitância térmica e transmissividade de luz visível.

Como o edifício localiza-se no Brasil e o mesmo é constituído por materiais e técnicas locais, os materiais utilizados eram incompatíveis com as normas internacionais, sendo assim, utilizou-se referências brasileiras para a alimentação das propriedades térmicas (NBR 15220-2, 2005; ISO 17772-1, 2017; ASHRAE 90.1, 2016; IT 08, 2017; Weber et al., 2017). Na Tabela 1 apresenta-se os sistemas construtivos do modelo com as respectivas dimensões das camadas, assim como suas propriedades térmicas. Essa etapa demandou maior tempo de investigação, uma vez que nem todos os dados foram identificados na ABNT NBR 15220-2:2005, sendo necessária a consulta à catálogos e outras referências nacionais.

Tabela 1

Camadas dos sistemas construtivos e as respectivas propriedades térmicas atribuídas no Revit® 2022.

Camadas e propriedades térmicas atribuídas no Revit					
Sistema	Material	Espessura (mm)	λ (w/m.k)	c (kJ/kg.k)	ρ (kg/m ³)
Paredes externas¹	Argamassa	25	1,15	1	2000
	Cerâmica	13	0,9	0,92	1600
	Câmara de Ar	64	0,356	1,0035	—
	Cerâmica	13	0,9	0,92	1600
	Argamassa	25	1,15	1	2000
	Argamassa	25	1,15	1	2000
Paredes internas¹	Cerâmica	13	0,9	0,92	1600
	Câmara de Ar	64	0,356	1,0035	—
	Cerâmica	13	0,9	0,92	1600
	Argamassa	25	1,15	1	2000
	Argamassa	25	1,15	1	2000
	Cerâmica	13	0,9	0,92	1600
Muro¹	Câmara de Ar	64	0,356	1,0035	—
	Cerâmica	13	0,9	0,92	1600
	Argamassa	25	1,15	1	2000
	Cerâmica	10	0,9	0,92	1600
	Contrapiso	20	1,15	1	2000
	Radier de concreto	100	1,75	1	2300
Janelas com vidro²	vidro liso incolor	—	1	0,84	2500
Porta alumínio²	alumínio	—	230	0,88	2700
Cobertura²	Telha de barro	10	0,9	0,92	1300
Forro³	PVC	10	0,071	0,96	273

¹ Sistema construtivo equivalente a um bloco cerâmico de oito furos conforme Weber et al. (2017).

² Conforme NBR 15220:2 (2005).

³ Conforme Weber et al. (2017).

A alimentação dos dados de uso e ocupação consiste na inserção de informações de espaços e zonas térmicas. Espaços são informações de cada ambiente o relacionados à: uso, ocupação, volume, período de uso e ganhos de calor por iluminação e equipamentos. Zonas térmicas dizem respeito ao tipo de ventilação (natural ou condicionada) de um ou mais espaços e seus respectivos setpoints (Autodesk, 2022).

Nas Figuras 2, 3 e 4 apresentam-se as informações de espaço configuradas no modelo BIM, onde os dados de ocupação foram baseados na realidade brasileira, com a IT 08/2017, norma brasileira de saídas de emergência em edificações, que identifica a população de um edifício a partir de seu uso. A ISO 1777-2:2017 foi utilizada como referência para as informações das agendas de uso, iluminação e equipamentos, assim como ar exterior por pessoa, ar exterior por área e trocas de ar por hora. Os espaços condicionados foram configurados com o sistema de gás dividido/compacto residencial 14 SEER/0.9 AFUE<5,5 ton, pois esse é o mais utilizado em residências brasileiras. Os espaços da cobertura foram caracterizados como espaços plenum por serem espaços desocupados. Em relação aos setpoints, esses permaneceram inalterados, seguindo as informações disponibilizadas no Revit®, pois estão de acordo com a ASHRAE 90.1:2016. Após a inserção dos dados de entrada para espaços e zonas térmicas foi gerado o modelo analítico de energia no Revit® (Figura 5).

Figura 2

Inserção no Revit® 2022 de dados de espaço da sala de TV conjugada à cozinha.

Parameter	Value
Energy Analysis ⚙	
Area per Person	42.500 m ²
Sensible Heat Gain per person	80.59 W
Latent Heat Gain per person	80.59 W
Lighting Load Density	15.07 W/m ²
Power Load Density	2.40 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s·m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Ocupação doméstica - 24 hora
Lighting Schedule	Iluminação residencial - dia int
Power Schedule	Potência de equipamentos
Outdoor Air per Person	14.00 L/s
Outdoor Air per Area	1.40 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	1.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.89 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

Figura 3

Inserção no Revit® 2022 de dados de espaço dos quartos

Parameter	Value
Energy Analysis ^	
Area per Person	42.500 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	45.43 W
Lighting Load Density	5.81 W/m ²
Power Load Density	2.40 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.50 L/(s·m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Ocupação doméstica - 24 hora
Lighting Schedule	Iluminação residencial - dia int
Power Schedule	Potência de equipamentos
Outdoor Air per Person	14.00 L/s
Outdoor Air per Area	1.40 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	1.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.89 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

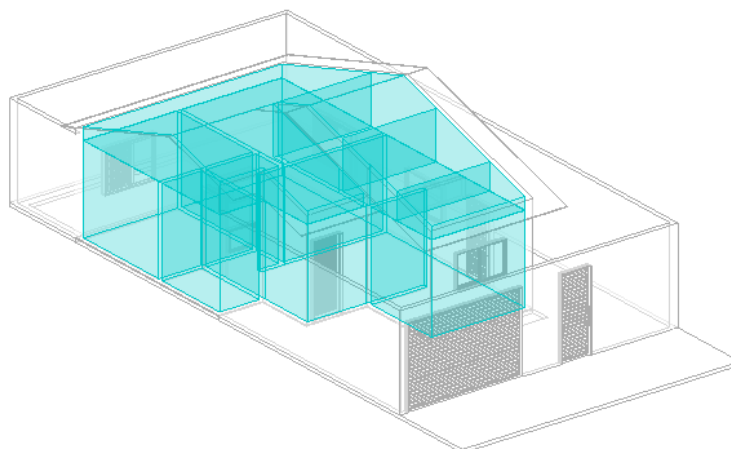
Figura 4

Inserção no Revit® 2022 de dados de espaço do banheiro

Parameter	Value
Energy Analysis ^	
Area per Person	12.940 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	9.69 W/m ²
Power Load Density	3.23 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s·m ²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Ocupação doméstica - 24 hora
Lighting Schedule	Iluminação residencial - dia int
Power Schedule	Potência de equipamentos
Outdoor Air per Person	14.00 L/s
Outdoor Air per Area	1.40 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	1.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.89 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

Figura 5

Modelo analítico gerado no Revit®.

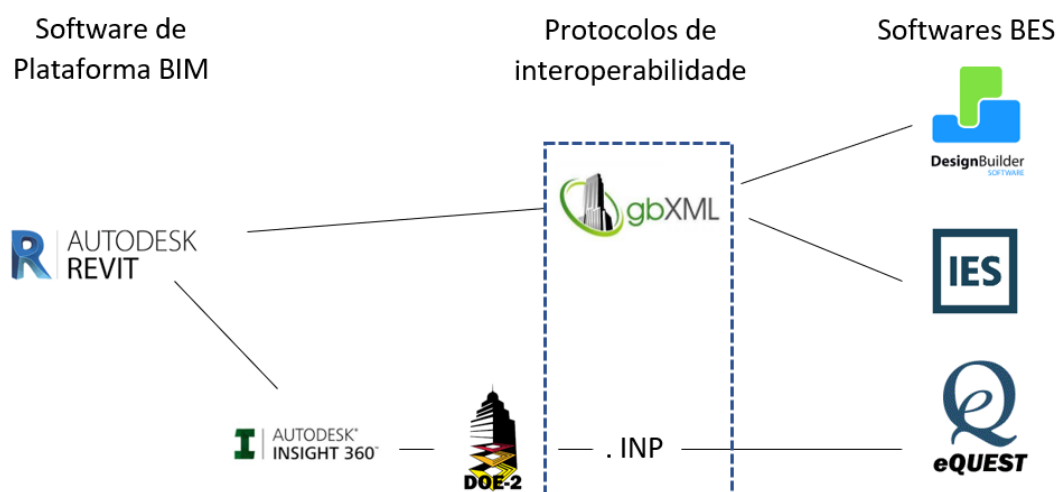


3.2 EXPORTAÇÃO

A interoperabilidade BIM/BES ocorre com a exportação do modelo analítico gerado no BIM, utilizando-se de protocolos para a análise energética em softwares BES. Na Figura 6 apresentam-se os respectivos protocolos: para o DesignBuilder® e IES-VE® os proprietários recomendam o protocolo *.gbXML*, já que são os mais indicados para análise energética e organizam as informações em localização, construção, espaço, superfície e abertura (22) (23); para o e-Quest®, recomenda-se o arquivo *.INP*.

Figura 6

Protocolos de interoperabilidade BIM/BES utilizados no estudo.



Para essa etapa, foi gerado o modelo analítico de energia no Revit® 2022 no modo ambiente e espaços (Figura 6), depois foi gerado o protocolo .gbXML para o DesignBuilder® e IES-VE® (Figura 6). Para o e-Quest®, utilizou-se o mesmo modelo analítico de energia, e a partir do Insight 360, um aplicativo do Revit®, foi gerado o formato .INP. Posteriormente, esses protocolos foram abertos nos respectivos softwares BES para análise da transferência de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir se referem à análise da transferência de dados entre BIM/BES a partir da modelagem paramétrica de uma residência no Revit® e exportação dessa para os softwares BES: DesignBuilder®, IES-VE® e e-Quest®. Na Tabela 2 é possível observar o resultado das transferências dos seguintes dados: localização, geometria, vegetação (influencia no sombreamento), composição de espaços, composição da construção, cargas internas, cronograma de uso e ocupação, e sistema HVAC com seus respectivos *setpoints*.

Tabela 2

Transferência de dados para os softwares BES mencionados

CRITÉRIOS	ITENS	DesignBuilder	IES-VE	e-Quest	
LOCALIZAÇÃO	LATITUDE	x	o	o	
	LONGITUDE	x	o	x	
GEOMETRIA	PAREDES	o	o	o	
	COBERTURA	o	o	o	
	FORRO	o	o	o	
	ESQUADRIAS	o	o	o	
	PISO	o	o	o	
VEGETAÇÃO	ÁRVORE	x	x	x	
COMPOSIÇÃO DE ESPAÇO	ESPAÇOS	o	o	o	
	ZONAS	x	o	o	
COMPOSIÇÃO DE CONSTRUÇÃO	PAREDE EXTERNA	ESPESSURA	o	o	o
		CONDUTIVIDADE TÉRMICA	x	o	o
		CALOR ESPECÍFICO	x	o	o
		DENSIDADE	x	x	o
		ABSORTÂNCIA	x	x	o
		RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	o	x
	PAREDE INTERNA	ESPESSURA	o	o	o
		CONDUTIVIDADE TÉRMICA	x	o	o
		CALOR ESPECÍFICO	x	o	o
		DENSIDADE	x	x	o
		ABSORTÂNCIA	x	x	o
	RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	o	x	
	MURO	ESPESSURA	o	o	o
		CONDUTIVIDADE TÉRMICA	x	o	o
CALOR ESPECÍFICO		x	o	o	
DENSIDADE		x	x	o	
	ABSORTÂNCIA	x	x	o	

CRITÉRIOS	ITENS	DesignBuilder	IES-VE	e-Quest	
	RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	o	x	
	COBERTURA	ESPESSURA	o	o	o
		CONDUTIVIDADE TÉRMICA	o	o	o
		CALOR ESPECÍFICO	o	o	o
		RUGOSIDADE	o	o	o
		DENSIDADE	o	o	o
		ABSORTÂNCIA	x	x	o
		RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	o	x
	FORRO	ESPESSURA	o	o	x
		CONDUTIVIDADE TÉRMICA	o	o	x
		CALOR ESPECÍFICO	o	o	x
		DENSIDADE	o	o	x
		ABSORTÂNCIA	x	x	x
		RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	o	x
	JANELAS COM VIGAS	TRANSMISSÃO DE LUZ VISUAL	o	o	o
		FATOR SOLAR	o	x	x
		RESISTENCIA TÉRMICA	x	o	x
		RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	x	x
PISO	ESPESSURA	o	o	o	
	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	o	o	o	
	CALOR ESPECÍFICO	o	o	o	
	DENSIDADE	o	o	o	
	ABSORTÂNCIA	o	x	o	
	RESISTÊNCIA TÉRMICA	x	o	x	
CARGAS INTERNAS / CRONOGRAMA DE OCUPAÇÃO	CARGAS INTERNAS	x	x	x	
	USO E OCUPAÇÃO	x	x	x	
SISTEMA HVAC	TIPO DE SISTEMA	x	x	x	
	SETPOINTS	x	x	o	

Legenda:

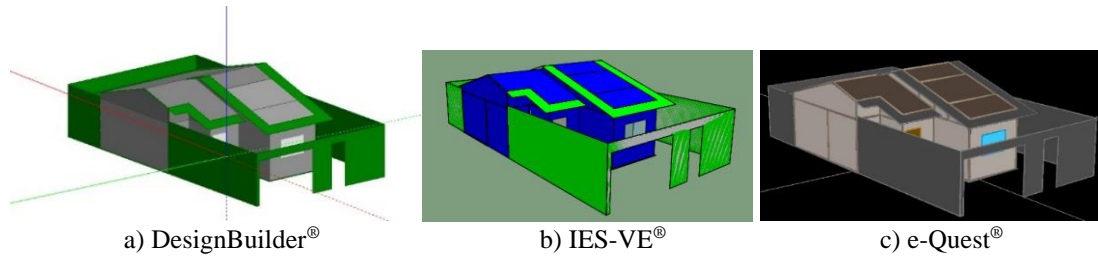
Compatível – o

Incompatível – x

Verifica-se que somente a geometria foi exportada corretamente em todos os softwares BES, como apresentado nas Figuras 7 e 8. Analisando separadamente o desempenho de cada software BES, observa-se que o DesignBuilder® não exportou localização, vegetação, composição de zonas, exportou somente 46,34% da composição de construção e não exportou nenhuma informação sobre cargas internas e sistema HVAC. O IES-VE® exportou localização, 73,17% da composição de construção, e composição de espaços, no entanto, não exportou vegetação e informações sobre cargas internas e sistema HVAC. O e-Quest® exportou latitude, composição de espaços, 65,85% dos componentes de construção, e apesar de não ter exportado as cargas internas e o sistema HVAC, foi o único software BES que exportou os setpoints.

Figura 7

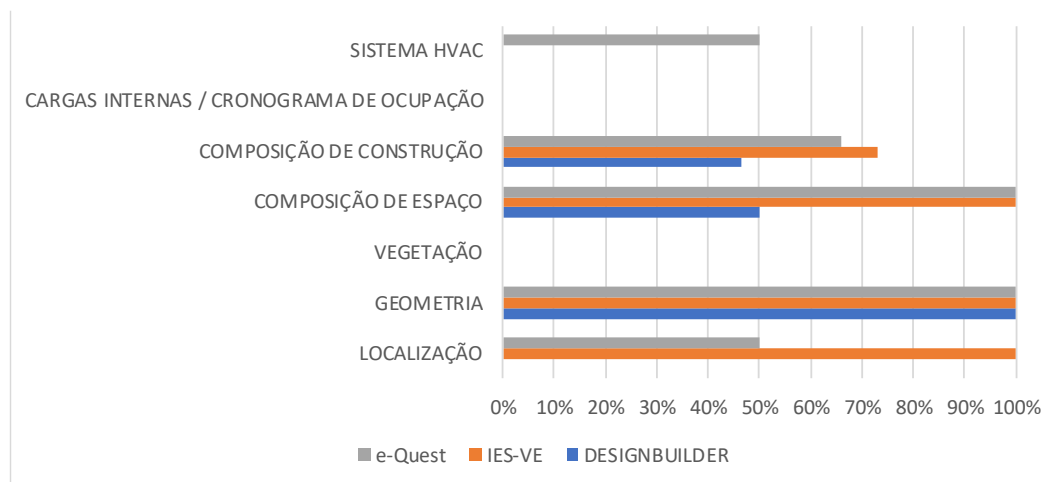
Geometrias exportadas dentro dos softwares BES escolhidos



Na Figura 8 observa-se que os dados: cargas internas, cronograma de uso e ocupação, e vegetação foram os itens que apresentaram menores transferência de dados nos softwares analisados.

Figura 8

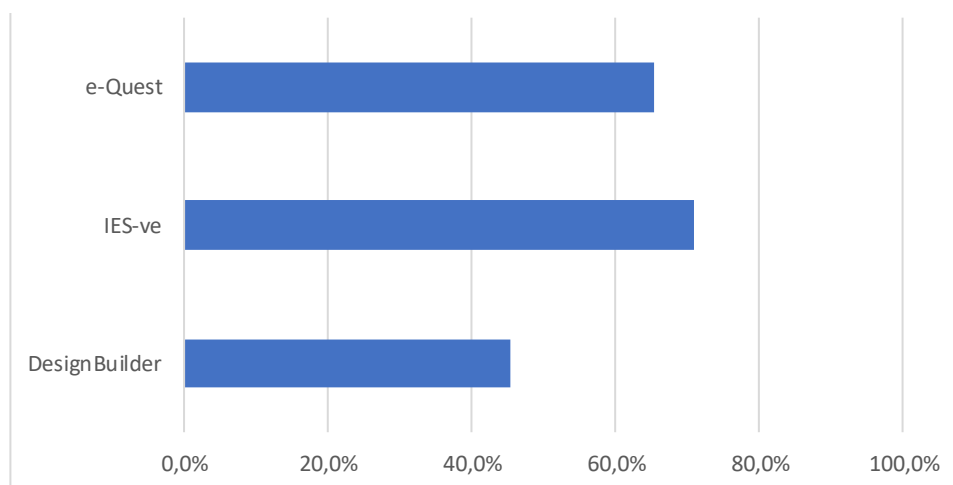
Percentual de Transferência de dados de cada software BES



Como última análise, conforme pode ser visualizado na Figura 9, o IES-VE® foi o software BES que apresentou melhor desempenho de interoperabilidade BIM/BES, uma vez que transferiu 70,90% das informações analisadas, seguidos do e-Quest® com 65,45% e DesignBuilder® com 45,45%.

Figura 9

Desempenho de interoperabilidade BIM/BES entre os softwares analisados



5 CONCLUSÕES

Este estudo teve por objetivo analisar a interoperabilidade BIM/BES, utilizando a transferência de dados de uma residência unifamiliar como método. Como representante BIM optou-se pelo software Revit® e os representantes BES os softwares: DesignBuilder®, IES-VE® e e-Quest®. Por fim, este estudo visou identificar o software BES que apresente a melhor interoperabilidade com o software BIM Revit e orientar possíveis escolhas de aplicativos para as análises termo energéticas.

As considerações dos diferentes autores e os testes realizados durante este estudo apontam que a interoperabilidade BIM/BES ainda não se encontra completamente resolvida, mesmo após diversas pesquisas, aprimoramento dos softwares e novos formatos de exportação. Essa limitação dificulta as análises termo energéticas, resultando em um dispêndio de tempo por parte dos usuários, que precisam, por sua vez, buscarem alternativas para solucionar a transferência de dados.

A partir dos testes de interoperabilidade nos softwares escolhidos, é possível concluir que o software BES que obteve os melhores resultados, neste estudo, foi o IES-VE®, tendo em vista que exportou 70,90% das informações analisadas, seguidos do e-Quest® com 65,45% e DesignBuilder® com 45,45%.

Por se tratar de uma geometria pequena, com poucas informações e elementos simples, isto é, de baixa complexidade, esperava-se que a transferência de dados, em todos os softwares testados, fosse facilitada, o que não ocorreu. Embora o software IES-VE® tenha apresentado o melhor desempenho, componentes essenciais para as análises termo energéticas não foram

transferidas, como cargas internas, cronograma de ocupação, sistema HVAC e elementos de sombreamento como a vegetação, sendo necessário assim uma reconfiguração dentro da interface para uma possível análise.

Ao tratar-se do software com menor interoperabilidade apontada, DesignBuilder®, localização da edificação em análise, vegetação, identificação de propriedades térmicas de alguns elementos, cargas internas, cronograma de ocupação e sistema HVAC não foram transferidos, sendo necessária, para uma possível simulação, reconfiguração de todos esses parâmetros dentro da plataforma BES. Sendo assim, ressalta-se que embora a metodologia BIM-BES se apresente muito benéfica na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), necessita solucionar a interoperabilidade para potencializar essa associação, sem a necessidade de intervenções dos usuários para correção das falhas.

Por fim, embora os diferentes problemas de transferência apresentados, pode-se dizer que para IES-VE® e e-Quest®, neste estudo de caso, os resultados foram satisfatórios. Para trabalhos futuros, propõe-se o teste de interoperabilidade BIM/BES, utilizando-se os mesmos softwares, porém para edificações com geometria complexa a fim de averiguar se haverá alteração nos resultados de transferência. Ainda, propõe-se repetir essa análise com outros softwares BES, comparativamente aos estudados nessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 3-D BIM Import (gbxml). *DesignBuilder*, 2022, <https://designbuilder.co.uk/>. Accessed 13 Feb. 2022.
- Andriamamonjy, A., Saelens, D. & Klein, R. (2018). An automated .IFC-based workflow for building energy performance simulation with Modelica. *Automation in Construction*, 91, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.019>
- ASHRAE. (2013). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. (ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1–2013).

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2005). *Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (NBR 15220-2:2005)*.
- Baamer, A. S., Bruton, K. & O’Sullivan, D. (2020). A Comparative Analysis of Energy Simulation Tools for Architectural Research: A Case Study of a Typical Saudi House. In B. Howard, A. Oraiopoulos & E. Brembilla (Eds.), *Proceedings of BSO Conference 2020: Fifth Conference of IBPSA-England* (pp. 358–365). International Building Performance Simulation Association (IBPSA).
- Bell, Doulgas. *Revit Integration with IES-Ve: How to Create Revit Models for Successful Transfer to IES VE*. IES-VE. https://www.iesve.com/support/white-papers/revit-modelling-guide_p1-01.pdf.
- Bombeiros Militar de Minas Gerais. (2017). *IT 08: Saída de Emergência em Edificações* (2nd ed.).
- Crawley, D., Lawrie, L.K., Pedersen, C.O. & Winkelmann F. (2020). Energyplus: Energy Simulation Program. *ASHRAE Journal* 2000, 42, 49-56.
- Chong, A, Xu, W., Chao, S., Ngoc-Tri, N. (2019). Continuous-time Bayesian calibration of energy models using BIM and energy data. *Energy Building*, 194, 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.017>.
- Eastman, C.M., Teicholz, P., Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. (2nd ed.) Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- Energy efficiency & renewable energy. (2014). *Energyplus*. Recuperado em 13 fevereiro, 2022, de <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/Energyplus-0>
- Givoni, B. (1969), *Man, climate, and architecture*. Amsterdam: Elsevier.
- ISO Standard. (2017). *ISO 17772-1:2017: Energy performance of buildings – Indoor environmental quality*.
- Lilis, G.N, Giannakis, G.I. & Rovas, D.V. (2017). Automatic generation of second-level space boundary topology from .IFC geometry inputs. *Automation in Construction*, 76, 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.044>.
- Moon, H.J., Choi, M.S., Kim, S.K. & Ryu, S.H. (2011). Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs. In *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference Of International Building Performance Simulation Association*, 1521–1526.
- Olgay, V. (2015). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton: Princeton University Press.
- Papadopoulos, A. M. (2016). Forty years of regulations on the thermal performance of the building envelope in Europe: Achievements, perspectives and challenges. *Energy and Buildings*, 127, 942-952. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.051>.

- Pereira, V., Santos, J., Escórcio, P. (2021). Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy and Buildings*, 250, 111292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>.
- Porsani, G. B., Lersundi, K. D. V. de; Gutiérrez, A., Bandera, C.F. (2021). Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). *Applied Sciences*, 11, 2167. <https://doi.org/10.3390/app11052167>.
- Set Points for Systems Analysis Use ASHRAE Values (What's New in 2022). *Help Autodesk Revit*, 2022, <https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/?guid=GUID-B045AB3F-0CBA-408D-94FB-E35736AA5632>. Accessed 13 Feb. 2022.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18, 357-375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
- Utkucu, D. & Sözer, H. (2020). Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort. *Automation in Construction*, 116, 103225. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103225>.
- Weber, F.S., Melo, A.P., Guths, S., Lamberts, R. (2017). *Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa Energyplus®*. [Master thesis, Technology Center Department of Civil Engineering of Federal University of Santa Catarina]