

BIM to BEM: limitações e vantagens do modelo de dados gbXML. Estudo preliminar de aplicação no Palácio Monserrate

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.22>

Rita Machete¹, Ana Paula Falcão²,
Maria Glória Gomes³, Rita Bento⁴

¹ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0003-3106-9337

² CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0002-3626-7634

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0003-1499-1370

⁴ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0002-6503-0644

Resumo

A utilização de modelos BIM (Building Information Modelling) na simulação energética de edifícios (BEM Building Energy Modelling) tem sido objeto de discussão no âmbito da promoção do processo de digitalização do sector da construção. A gestão eficiente das condições ambientais no interior dos edifícios é importante na gestão sustentável de edifícios em geral, sendo particularmente importante em edifícios com valor patrimonial aberto a visitas ao público, devido à necessidade de conservação do espólio exposto.

Os modelos BIM permitem armazenar e manipular informações geométricas e não geométricas dos edifícios, essenciais à modelação analítica de consumos energéticos em *software* dedicados, como o *EnergyPlus* (DOE), no formato gbXML (Green Building XML) desenvolvido por Green Building. Embora o modelo de dados gbXML tenha limitações, não permitindo a transição total da complexidade geométrica e da composição técnica e material diretamente do BIM para o *EnergyPlus*, permite explorar elementos de origem BIM em outros *softwares*, como o *OpenStudio*. Este último possibilita, através de uma interface gráfica, criar ficheiros de *input* para a análise de desempenho energético de edificações mais detalhadas no *EnergyPlus*.

Este artigo aborda o problema da interoperabilidade entre os *software* em ambiente BIM (*Autodesk Revit*) e BEM (*OpenStudio - EnergyPlus*), apresentando as principais limitações e desafios da transferência de informação entre os diferentes modelos. O caso de estudo selecionado é o Palácio de Monserrate, obra-prima do romantismo, devido à sua importância como património cultural português e da Paisagem Cultural de Sintra, para o qual foi construído um modelo BIM com base num levantamento por varrimento laser e enriquecido com informação não geométrica.

1. Introdução

O sector da construção necessita de considerar não só o consumo energético, mas também o conforto do edificado, tanto em fase de projeto de construção nova e potenciais reabilitações, como ao longo do uso. Desta forma, a simulação energética torna-se uma necessidade para a avaliação do projeto do edificado, sendo muitas vezes necessário recorrer a programas de simulação energética de edifícios para prever as condições ambientais de conforto térmico e o consumo de energia de um edifício [1].

A Modelação Energética de Edifícios (BEM) permite realizar simulações energéticas, que visam avaliar diferentes alternativas de design; comparar e selecionar soluções da envolvente térmica e sistemas de climatização; estimar consumos de energia e os custos associados; verificar os requisitos de qualidade térmica e energética, à luz da regulamentação em vigor; e otimizar a solução escolhida, durante o processo de conceção e reabilitação do edifício [2]. No entanto, presentemente o BEM não está ainda suficientemente integrado e sincronizado com o processo digital de planeamento e conceção e, além disso, estas soluções ainda não beneficiam do fluxo contínuo de informação na modelação digital. Deste modo, as informações relacionadas com a simulação energética têm muitas vezes de ser reintroduzidas manualmente nas ferramentas BEM, o que é considerado moroso, dispendioso e trabalhoso, embora essas informações já estejam disponíveis em modelos de projeto digitais (por exemplo, BIM) [3].

A abordagem BIM permite a representação digital de instalações, funcionando como uma base de dados associada a objetos, inteligente e paramétrica, que pode fornecer dados adequados às necessidades de vários utilizadores. O BIM também pode ser utilizado para extrair e analisar informações que apoiam os projetistas a tomar decisões, permitindo transferir informações e promovendo a interoperabilidade de várias ferramentas de *software* utilizados na conceção arquitetónica, estrutural, mecânica, elétrica e na construção de edifícios [4].

Desta forma, a ligação do modelo BIM de projeto com o BEM de análise permite agilizar o processo, mantendo coerência e precisão. Assim, a interoperabilidade entre os modelos BIM e BEM pode ser um passo em frente na redução de custos e na poupança de tempo de recriação de modelos, dado que o BIM pode já armazenar dados importantes para a simulação energética, tais como a geometria do edifício, a tipologia de construção e as propriedades térmicas dos materiais, e características do sistema AVAC. Por este motivo, existe atualmente um interesse significativo em simplificar a criação de um BEM a partir da ferramenta de criação BIM, partilhando e exportando os dados do modelo arquitetónico [5].

2. Materiais e métodos

O presente artigo pretende, assim, contribuir para o avanço no conhecimento sobre as principais vantagens e limitações do modelo de dados gbXML na modelação

“BIM to BEM”, aplicando a um caso de teste BESTEST – *Building Energy Simulation Test and Diagnostic* e a um caso de estudo do Palácio de Monserrate.

Para a interoperabilidade entre BIM e BEM, é essencial a transferência de dados entre os dois modelos. O modelo de dados no formato gbXML foi desenvolvido pela *Autodesk Green Building*, que se baseia no formato *Extensible Markup Language* (XML), e permite a troca de dados entre diversos *softwares* BIM populares (por exemplo, *Revit*, *ArchiCAD*) e aplicações de análise energética (por exemplo, *EnergyPlus*, *e-QUEST*).

Pode obter-se um ficheiro gbXML formatado a partir de ferramentas BIM e depois proceder à sua importação para ferramentas BEM relevantes para obter resultados da simulação energética do edifício. Este procedimento oferece uma abordagem mais flexível e direta para a análise energética por transferência de informação, nomeadamente da geometria do edifício, das propriedades dos materiais da envolvente térmica, das zonas térmicas e dados referentes aos sistemas AVAC e localização do edifício [5]. Segundo Gao *et al.* [3], a transferência de informações proveniente do BIM para BEM está dividida em seis categorias: geometria (etapa 1), material (etapa 2), tipo de espaço (etapa 3), zona térmica (etapa 4), cargas térmicas do espaço (etapa 5) e sistemas AVAC (etapa 6).

No presente estudo, cujo objetivo principal é determinar limites de interoperabilidade entre os *softwares* BIM (em *Revit*) e BEM (em *OpenStudio/EnergyPlus*), foi utilizado, numa primeira fase, um modelo de simulação energética de teste, pré-estabelecido, que permitiu identificar as informações necessárias para estas simulações e os resultados esperados. Assim, numa primeira abordagem, de forma a funcionar como calibração do modelo, foi implementado como caso de estudo o modelo de edifício do caso base do BESTEST (caso 600). Para este processo (Figura 1), foi utilizado o *software* de modelação BIM *Autodesk Revit 2024*, que permite exportação de dados em formato gbXML, compatível com a interface gráfica BEM *OpenStudio Application* versão 1.6.0, que efetua as simulações energéticas através de *EnergyPlus* versão 23.1.0. Após essa calibração do modelo, e identificação das principais limitações na interoperacionalidade entre os modelos BIM e BEM, foi realizado um estudo preliminar de aplicação a um caso de estudo real – o Palácio de Monserrate.

Figura 1

Fluxograma geral, do procedimento de transferência de informação de modelo BIM (em *Revit*) para modelo BEM (em *OpenStudio/EnergyPlus*) através do formato gbXML.



3. Calibração do modelo

O BESTEST é um projeto desenvolvido pela IEA (*International Energy Agency*) para validar programas de simulação energética de edifícios [6]. Este projeto tem como base um conjunto de testes que avaliam os processos térmicos num edifício em diferentes programas de simulação energética, permitindo identificar e quantificar as discrepâncias de resultados para as mesmas condições geométricas e materiais simuladas. Para possibilitar uma validação consistente de programas de simulação energética, foi utilizada a norma norte-americana ASHRAE Standard 140 (Método Padrão de Teste para Avaliação de Programas de Análise Energética de Edifícios) [6], que apresenta uma série de casos teste BESTEST – *Building Energy Simulation Test and Diagnostic*.

No presente estudo foi seguida a metodologia descrita no fluxograma da Figura 2. Assim, o primeiro passo para a implementação da modelação BIM para BEM do caso de teste BESTEST e representar as seis categorias de informação descritas no capítulo 2, é a modelação geométrica em *Autodesk Revit*. A geometria para o caso BESTEST 600 (*Base Case Low Mass Building*) consiste num edifício retangular com 8m x 6m x 2,7m, com dois vãos envidraçados 3m x 2m que totalizam 12m² de área de envidraçados. Estas dimensões são referentes ao espaço interior em análise, contudo no modelo BIM cada espaço é criado através da linha média das paredes, pelo que houve a necessidade de efetuar os devidos ajustes nas dimensões do modelo BIM.

A segunda etapa refere-se à caracterização dos materiais associados às soluções construtivas da envolvente térmica do edifício. Os materiais de construção considerados são: paredes: gesso cartonado (12mm) + manta de isolamento de lã mineral de vidro (66mm) + madeira (9mm); piso: soalho de madeira (25mm) + isolamento térmico (material sem densidade com 1m); e cobertura: gesso cartonado (10mm) + manta de isolamento de lã mineral de vidro (111mm) + madeira (19mm). Uma descrição detalhada das soluções construtivas pode ser encontrada na Secção 5.2.1 da ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 [6]. Estes elementos devem ser definidos em ambiente BIM, através da definição de materiais com as características termofísicas indicadas e associação aos elementos geométricos de acordo com as soluções construtivas estabelecidas. Este processo é relativamente elementar e simples de implementar, com exceção do caso do isolamento térmico do pavimento que, segundo o BESTEST, deve ser um material sem massa volúmica associada. Contudo, tal categoria não existe em *Autodesk Revit*, assinalando o primeiro desvio em relação ao guia de teste, tendo assim sido atribuída uma massa volúmica adequada para este tipo de material (que é reduzida). De referir também o facto da informação associada aos envidraçados proveniente do *Autodesk Revit* ter menor detalhe do que aquela possível de atribuir em *software* BEM, sendo assim expectável que possa introduzir algum impacto nos resultados finais da simulação.

Passando para terceira e quarta etapa, foi criado o espaço e zona térmica que no BESTEST 600 é apenas um; contudo, o *software* permite a criação de múltiplos espaços e zonas térmicas. A este espaço é possível atribuir características referentes

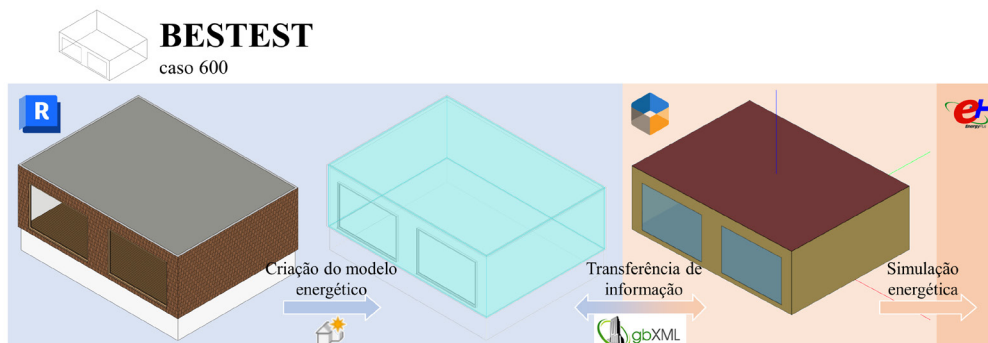
ao tipo de uso e parâmetros de análise energética, como o valor de infiltração de ar, considerado no presente caso de 0.5 renovações de ar por hora, tal como indicado em [6], e as cargas térmicas associadas ao espaço. De referir também que, entre as características que descrevem o BESTEST, a informação da temperatura do solo não existe em *Autodesk Revit*.

Em relação à última etapa referente ao sistema AVAC, o *Autodesk Revit* permite a indicação das características do sistema no espaço e a criação do sistema detalhado através da colocação de equipamentos no modelo.

De seguida, com o modelo detalhado em BIM é necessário aplicar a análise energética do *Autodesk Revit* através da criação do modelo energético. No separador relevante para a criação deste modelo pode indicar-se a localização do caso de estudo e alterar as configurações do modelo energético. Existem 3 modos para criar o modelo analítico de desempenho energético de edifícios a partir do modelo arquitetónico, através da utilização de: elementos de construção; massas conceptuais e elementos de construção; e, divisões ou espaços. No presente estudo, em que foi criado um modelo arquitetónico detalhado, devem ser usados os elementos de construção e selecionado 'elementos detalhados'. Caso não sejam selecionadas estas opções o *software*, por defeito, vai atribuir elementos conceptuais pré-determinados pelo *software*. Com o modelo energético criado, nesta fase, pode proceder-se à exportação do ficheiro em formato gbXML.

Figura 2

Fluxograma BESTEST caso 600 – modelo em *Revit* (esquerda), modelo energético *Revit* (centro), importação do formato gbXML proveniente do *Revit* em *OpenStudio* (direita).



Após a criação do ficheiro gbXML, este tem de ser importado para *software* intermédio de interface gráfica BEM – *OpenStudio Application* –, necessário para possibilitar as simulações energéticas através do programa de simulação dinâmica *EnergyPlus*. Após a importação do gbXML no *OpenStudio*, é possível observar a geometria, e referente construção, com os materiais associados e relativas especificações térmicas; porém, os nomes associados aos materiais são substituídos por códigos (por exemplo, 'aim0014'). Também se podem observar os espaços e zonas; contudo, os detalhes referentes às características do tipo de uso e parâmetros de análise energética são perdidos na exportação entre *Autodesk Revit* e o ficheiro gbXML, sendo apenas convertida a geometria destes. A localização também é perdida neste processo, o que consiste numa limitação assinalável na interoperacionalidade entre modelos BIM e BEM, sendo deste modo necessário reintroduzir esta informação no modelo BEM.

Alguns destes dados podem ser adicionados na interface *OpenStudio* e efetuar a simulação através desta, contudo a temperatura do solo não está disponível na interface tornando necessária a edição diretamente em *EnergyPlus*, no ficheiro idf, que pode ser obtido através da interface *OpenStudio*. Tendo em conta que foi possível converter a informação geométrica a partir do ambiente BIM, optou-se por não editar esta, tendo sido apenas acrescentados os campos completamente em falta, como a localização (e ficheiro climático associado, que no caso do BESTTEST 600, é USA CO Denver-Stapleton), temperatura do solo, as listas de calendário, as cargas térmicas associadas ao espaço e informação referente ao AVAC. Os resultados da simulação obtidos foram de 5.37 MWh para necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, e de 7.961 MWh para necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento. De forma a determinar o impacto da metodologia implementada no presente estudo, os resultados obtidos foram comparados com os resultados pré-calculados disponíveis no repositório do GitHub BESTEST-GSR (*Building Energy Simulation Test – Generation Simulation and Reporting*) [7] referentes ao *EnergyPlus*, de respetivamente 4.324 MWh e 6.027 MWh, para necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento. Algum desvio era expectável dadas as limitações previamente mencionadas, nomeadamente as características de materiais sem massa volúmica e de envidraçados que não foram alteradas após importação, para além de não se estar a utilizar uma versão mais atualizada do *EnergyPlus*. Desta forma, pode concluir-se que este processo é uma mais-valia para transferência de informação geométrica e de informação simples de materiais; contudo, se o caso em estudo incluir dados mais especializados estes devem ser corrigidos no *software* de simulação.

Para a importação dos resultados para modelo BIM, na presente versão *Autodesk Revit* existe uma ferramenta de importação de ficheiro gbXML; contudo, a presente versão deste ficheiro não transporta os resultados calculados. Assim, é necessária a importação dos resultados de forma manual ou através de script *Dynamo*.

4. Estudo preliminar aplicado ao caso de estudo do Palácio de Monserrate

O caso em estudo é o Palácio de Monserrate em Sintra (Figura 3) que, devido à sua identidade pertence à Paisagem Cultural de Sintra classificada como Património Mundial pela UNESCO desde 1995. A preservação do palácio, do espólio exposto e da sua envolvente determinam a sua relevância para a presente investigação.

Para a aplicação da metodologia no caso de estudo, devido à sua complexidade, os trabalhos iniciaram-se com o levantamento geométrico. Este levantamento foi realizado com um sistema de varrimento laser e funciona como base para a modelação geométrica BIM. No total foram realizados 336 *scans* com o *laser scanner* Faro Focus S70, processados para criar uma nuvem de pontos detalhada. Para georreferenciar o modelo, foi efetuado um levantamento topográfico com um recetor GNSS (*Global navigation satellite system*) e uma estação total com o apoio de alvos topográficos

localizados em pontos estratégicos. A fim de determinar as soluções estruturais e construtivas do palácio, foram consultados registos históricos, e analisados os elementos expostos (como as paredes visíveis ao nível da fundação), e foram aplicados ensaios não-destrutivos como o GPR (*Ground-penetrating radar*) e termografia, em pontos estratégicos. Foram realizados 22 polígonos de inspeção 3D com georadar 1.6 GHz, 4 perfis discretos em pilares, e dois perfis discretos de georadar 500MHz no pavimento, pela Morph Geociências, Lda, e coordenado pela equipa do IST.

O modelo H-BIM foi construído com recurso ao *software Autodesk Revit*, atuando como plataforma centralizadora da informação, servindo de base à construção do modelo geométrico estrutural [8] e energético. Deste modo, o nível de detalhe da representação foi simplificado, considerando várias abordagens para encontrar um equilíbrio entre as utilizações pretendidas, apoiando-se na criação de atributos que permitem operações ao longo do ciclo de vida do edifício.

Figura 3

Caso de estudo – Palácio de Monserrate em Sintra (esquerda), nuvem de pontos (centro), e modelo BIM (direita).



Com o modelo BIM criado, o passo seguinte consiste no desenvolvimento do modelo energético. Ao contrário do modelo BESTEST, em que os elementos modelados são simples e todos os representados são relevantes para a criação do modelo energético, para o caso do palácio é importante ter em conta o impacto da complexidade do modelo, e em especial o impacto dos elementos curvos. Para este fim é importante fazer uso das ferramentas disponíveis de visibilidades e resolução. Assim, o primeiro passo será a implementação de visibilidades, isolando os elementos não relevantes e de impacto mínimo para a simulação, reduzindo ao mínimo a complexidade do espaço. Para a criação do modelo energético, como mencionado anteriormente, estes podem fazer uso dos elementos construídos ou dos espaços provenientes no modelo BIM; contudo, neste caso não é adequado o uso de espaços dado que ignoram formas complexas de volume do espaço (sendo sempre o resultado de extrusões) e também porque os espaços curvos não são representados em ficheiros gbXML. Assim, a aplicação do modo de elementos de construção é o indicado, sendo que este segmenta a forma curva complexa em troços, de acordo com a resolução escolhida, podendo o espaço resultante apresentar lacunas no limite do espaço. Segundo a informação facultada pelo *software*, são esperadas pequenas lacunas entre os elementos do modelo analítico de energia, não tendo um impacto negativo na análise; contudo, se essas lacunas forem grandes ou se secções do edifício não forem totalmente capturadas, é necessário aumentar as definições de resolução do espaço analítico e a resolução da superfície analítica. As definições de resolução de 203.2 e 101.6 mm são normalmente eficazes para a maioria dos modelos arquitetónicos detalhados.

Neste momento a criação do modelo energético para o caso complexo do Palácio de Monserrate encontra-se numa fase preliminar, sendo necessária ainda a exploração detalhada das ferramentas disponíveis.

5. Conclusões

No presente artigo, foi estudada a interoperabilidade entre BIM e BEM, com apoio no formato gbXML para transferência de informação. Foi utilizado o *software* de modelação BIM *Autodesk Revit 2024*, que permite a exportação de dados em formato gbXML, compatível com a interface gráfica BEM *OpenStudio Application*, versão 1.6.0, que efetua as simulações energéticas através de *EnergyPlus*, versão 23.1.0.

Numa primeira abordagem, foi aplicado o caso base de teste do BESTEST (caso 600), com o objetivo de determinar limites de interoperabilidade através da aplicação de um modelo pré-estabelecido de simulação energética. Este processo permitiu concluir que esta metodologia, na presente versão do *software*, é vantajosa para a transferência de informação geométrica e de informação simples de materiais; porém, alguns dados de simulação energética, como a localização do edifício, as cargas térmicas associadas ao espaço e a informação referente ao AVAC, que podem ser inseridos em ambiente BIM, não são registados no ficheiro gbXML resultante. Assim, é importante identificar que informação mais detalhada será necessário adicionar posteriormente no *software* BEM. É igualmente relevante mencionar que a nomenclatura dos elementos em ambiente BIM é perdida na exportação e substituída por nomes de código aparentemente aleatórios, que dificulta a sua identificação. Em relação aos resultados, é de notar que presentemente o ficheiro gbXML não transporta os resultados calculados em BEM para BIM.

Com a aplicação de estudo preliminar ao caso do Palácio de Monserrate, foi possível constatar que, em termos de geometria, o gbXML só aceita formas retangulares, o que é suficiente para a simulação de edifícios mais comuns com geometria regular, mas não no caso presente com zonas com geometria curva, sendo, portanto, necessária a segmentação do espaço fazendo uso de ferramentas disponíveis no *software* BIM. Também é de notar que, para casos complexos como o Palácio Monserrate, a utilização das opções de visibilidade dos elementos (para restringir os elementos considerados no modelo energético) em conjunto com as especificações de resolução, são uma mais-valia para a criação do modelo energético, sendo essencial a análise caso a caso para a sua implementação de forma adequada.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (Ministério da Ciência e Tecnologia da República de Portugal) através de bolsa de doutoramento [bolsa número 2020.09705.BD].

Referências

- [1] Z. Pezeshki, A. Soleimani, and A. Darabi, "Application of BEM and using BIM database for BEM: A review," *Journal of Building Engineering*, vol. 23, pp. 1-17, May 2019, doi: 10.1016/j.jobbe.2019.01.021.
- [2] M. S. Al-Homoud, "Computer-aided building energy analysis techniques," *Building and Environment*, vol. 36, no. 4, pp. 421-433, May 2001, doi: 10.1016/S0360-1323(00)00026-3.
- [3] H. Gao, C. Koch, and Y. Wu, "Building information modelling based building energy modelling: A review," *Applied Energy*, vol. 238, pp. 320-343, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.032.
- [4] E. Kamel and A. M. Memari, "Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions," *Automation in Construction*, vol. 97, pp. 164-180, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.008.
- [5] G. Bastos Porsani, K. Del Valle De Lersundi, A. Sánchez-Ostiz Gutiérrez, and C. Fernández Bandera, "Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM)," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 5, p. 2167, Mar. 2021, doi: 10.3390/app11052167.
- [6] ANSI/ASHRAE, "Standard 140-2001, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs." 2001.
- [7] "Building Energy Simulation Test – Generation Simulation and Reporting (BEST-EST-GSR)." National Renewable Energy Laboratory, May 26, 2023. Accessed: Dec. 27, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/NREL/BESTEST-GSR>