



REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS BASEADA NA METODOLOGIA BIM

BUILDING ENERGETIC REHABILITATION SUPPORTED BY BIM METHODOLOGY



Maria João Falcão Silva ⁽¹⁾, Paula Couto ⁽²⁾, Fernando Pinho ⁽³⁾

(1) LNEC, Portugal, mjoaofalcao@lnec.pt

(2) LNEC, Portugal, pcouto@lnec.pt

(3) CERIS, FCT-UNL, Portugal, ffp@fct.unl.pt

RESUMO

A reabilitação de edifícios tem vindo a crescer nos últimos anos, sendo atualmente uma das áreas com maior investimento, tanto por parte do setor público, como do setor privado. O parque edificado português é de um modo geral um parque envelhecido, encontrando-se degradado e a necessitar de intervenções de reabilitação. Estas intervenções de reabilitação vão permitir aumentar o ciclo de vida do edifício e uma maior adaptabilidade a eventuais novas funcionalidades, aumentando os padrões de qualidade e consumindo menos quantidade de materiais e energia, comparativamente com o recurso à construção nova. Neste sentido, entende-se que a reabilitação de edifícios se evidencia como uma área em que um dos princípios orientadores deverá ser a sustentabilidade. A reabilitação energética apresenta um elevado potencial de poupança a diferentes níveis, permitindo otimizar o consumo de energia dos habitantes, com soluções que corrijam a baixa qualidade construtiva e a inadequação funcional.

O trabalho desenvolvido aborda um tema muito pertinente e atual, que se prende com a forma de como podem ser incorporadas as ferramentas digitais no apoio a intervenções sustentáveis de reabilitação energética de um edifício com valor patrimonial, utilizando uma abordagem apoiada na metodologia BIM. Para além de um levantamento sumário do estado da arte, são testadas algumas soluções e efetuadas diferentes análises do ponto de vista do desempenho energético do edifício, o que permite concluir sobre a solução mais eficiente e quais as vantagens da utilização do BIM para estes fins, logo em fases iniciais de projeto. As principais conclusões do estudo são apresentadas, bem como a perspetiva dos desenvolvimentos futuros do trabalho.

Palavras-chave: Reabilitação Energética / Metodologia BIM / Edifícios Público / Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

A reabilitação de edifícios, tem vindo a assumir, nos anos mais recentes, um papel mais importante no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) na medida em que, para além de permitir a resolução de anomalias visíveis bem como da degradação física do edificado, permite melhorar as condições de conforto, aumentando a eficiência energética e hídrica do edifício, bem como reduzindo a poluição ao longo do seu ciclo de vida (Dinis, 2010).

Da fusão entre a reabilitação e a sustentabilidade torna-se possível prolongar a vida útil de um edifício sem que seja necessária a construção de um novo edifício de raiz, o que se traduz numa redução dos recursos naturais utilizados bem como da produção de resíduos (emissões de carbono incluídas), potenciando a consideração de soluções construtivas mais amigas do ambiente (Mota, 2013; Martins, 2014). A preocupação com a sustentabilidade, baseada nos conceitos de projetos que considerem fatores sociais, económicos e ambientais nas suas estratégias tem crescido cada vez mais no setor AECO. Avaliar a sustentabilidade de um edifício implica uma análise integrada de muitas variáveis que requerem tempo no desenvolvimento de um projeto e da integração entre as diversas especialidades (Silva, 2019).

O Building Information Modeling (BIM) surge como uma metodologia inovadora que procura dar resposta a novas exigências do processo de conceção construção e manutenção de edifícios. O BIM permite a representação digital de um objeto construído pelas suas características físicas e funcionais, envolvendo a aplicação, manipulação e manutenção de informação relativa a todo o ciclo de vida de um determinado edifício através de um modelo de dados, visual, completo e consistente (Eastman, Teicholz, Sacks *et al.*, 2011; Alsayyar, Jrade, 2015). Considera-se que, atendendo ao facto de ser uma tecnologia inovadora, o BIM aplicada à reabilitação sustentável se concretiza como uma mais valia. A utilização da dimensão BIM 6D permite executar análises energéticas detalhadas, avaliar o impacto ambiental, fazer medições e verificações durante a construção para que seja possível de uma forma mais eficiente eleger quais os processos mais adequados na tomada de decisão para um melhor desempenho energético do edifício (Silva, Falcão Silva, Couto *et al.*, 2018).

2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

2.1. Reabilitação energética

A reabilitação energética de edifícios, pode ser encarada como uma vertente cada vez mais importante da reabilitação de edifícios. Esta assume particular relevo entre as intervenções deste tipo tentando integrar medidas de economia e de utilização racional da energia consumida. Para a realização da uma reabilitação energética de edifícios é necessária ter em consideração a reabilitação térmica da envolvente dos mesmos, realizada através do reforço do isolamento térmicos nas zonas opacas, reforço do isolamento térmico e controlo de ganhos energéticos a partir dos vãos envidraçados (Silva, Falcão Silva, Couto *et al.*, 2018). Reabilitar do ponto de vista energético consiste também em otimizar a eficiência dos sistemas de iluminação e climatização de forma a reduzir o custo associado ao consumo de energia e, se possível, recorrer à introdução de dispositivos que permitam o aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis (Paiva, Aguiar, Pinho, 2006). Atendendo ao crescimento do consumo energético em Portugal nas últimas décadas, em parte devido às opções construtivas adotadas no passado, o papel da reabilitação energética de edifícios afigura-se como tendo grande importância (Silva, 2019).

2.2. BIM

O Building Information Modelling (BIM) traduz um processo colaborativo em constante mudança e desenvolvimento, baseado num processo de partilha de informação entre todos os intervenientes, ao longo das fases do ciclo de vida de um empreendimento. O BIM pode ser uma mais-valia oferecendo novas ferramentas para o setor através da colaboração digital e gestão eficiente da informação (Antonopoulou, Bryan, 2017). No BIM desenvolve-se, em software específico, um modelo de informação digital 3D com dados de arquitetura, estruturas, redes prediais, planeamento ou custo (Lino, Azenha, Lourenço, 2012). O desenvolvimento e evolução de softwares BIM que permitem a integração da modelação 3D com a realização de avaliações energéticas do edifício num só programa, permite ao projetista a tomada de decisões mais conscientes, precisas e informadas sobre o comportamento térmico do projeto, permitindo escolher o tipo de materiais que podem ser utilizados, os sistemas de energia renováveis mais eficientes, ou o tipo de vãos envidraçados mais adequados à exposição solar do edifício em causa, fazendo o estudo da avaliação energética de forma relativamente rápida, fácil e económica. Este procedimento permite por suportar uma escolha acertada e quase personalizada consoante as necessidades do edificado em causa e dos gestores do ativo (Silva, 2019).

2.3. BIM na reabilitação energética

A maioria dos softwares BIM inclui características que podem ser úteis em projetos de reabilitação, com a integração de um conjunto de dados como informações históricas, fotografias, valores patrimoniais associado a componentes específicos ou espaços, interoperabilidade, para partilha de dados e reutilização através de uma equipa multidisciplinar, potencial para interagir com outros sistemas corporativos de bases de dados e arquivos (Antonopoulou, Bryan, 2017). Avaliar a sustentabilidade de um edifício implica uma análise de muitas variáveis que requerem tempo no processo de desenvolvimento do produto e da atuação de várias especialidades. Com a utilização do BIM, é possível obter uma avaliação consistente, e fidedigna que permite a decisão em tempo real, preferencialmente na etapa de projeto. A utilização da dimensão BIM 6D permite executar análises energéticas detalhadas, avaliar o impacto ambiental, fazer medições e verificações durante a construção para que seja possível de uma forma mais eficiente eleger quais os processos mais adequados na tomada de decisão para um melhor desempenho energético do edifício (Eastman, Teicholz, Sacks *et al.*, 2011). A utilização de ferramentas que permitam análises energéticas apoiadas na metodologia BIM, contribuirá para uma melhoria ao nível da sustentabilidade do projeto quer em construção nova quer em reabilitação. Neste sentido, através da análise antecipada dos consumos de energia do projeto e os seus respetivos custos de utilização, facultando resultados credíveis e consistentes, possibilitando desta forma, fazer tomadas de decisão antecipadas e otimizar as análises de custo do ciclo de vida de um edifício (Santos, Couto, 2015).

3. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO PÚBLICO

3.1. Caso de estudo

O edifício, composto principalmente por salas de escritórios e laboratórios, está localizado na Quinta do Marquês, Oeiras, sendo parte integrante do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) e concentra diversos laboratórios de investigação (Figura 1). Foi construído no final da década de 60, e é constituído por 3 pisos (Cave, Piso 0, Piso 1) e um sótão, que apenas é utilizado para a apoio técnico, perfazendo uma área construída de aproximadamente 7370m² (Silva, Falcão Silva, Couto *et al.*, 2018).



Figura 1 – Edifício do INIAV: a) Vista aérea (Google maps, 2019); b) perspetiva geral, adaptado (Silva, 2019)

Foram estudadas duas soluções para melhoria do desempenho energético do edifício sem colocar em causa a sua identidade, designadamente: i) Reforço do paramento exterior com isolamento térmico (sistema ETICS); ii) intervenção nos vãos envidraçados (introdução de vidros duplos com caixilhos de alumínio, mantendo o material da caixilharia existente). Complementarmente estudou-se ainda uma solução combinada incorporando i) e ii) simultaneamente. Neste sentido, nas simulações energéticas, foram analisadas quatro alternativas: i) Solução existente (S1) correspondente ao edifício após intervenção prévia, datada de 2015, na cobertura (com colocação de painel sandwich com 8 cm de espessura na cobertura), sistema de ventilação, sistema de climatização e luminárias com sistema LED; ii) propostas de Intervenção no paramento exterior do edifício (S2) com colocação de um sistema de isolamento térmico compósito exterior (ETICS) constituído por placas de poliestireno expandido (EPS) com 6cm de espessura e revestido por ligante sintético armado com rede de fibra de vidro; iii) proposta de intervenção na envolvente envidraçada do edifício (S3) com substituição dos vãos envidraçados existentes com caixilharia de alumínio e vidro simples, para uma caixilharia de alumínio com alteração para vidros duplos, conferindo assim uma maior estanquicidade ao ar e conforto térmico; iv) proposta de intervenção total do edifício (S4) correspondente a união das duas soluções propostas (S2 + S3).

3.2. Guião para simulação e avaliação energética

A simulação energética do edifício foi desenvolvida com base nas suas características, de forma a que os valores de consumo de energia resultantes da simulação sejam comparáveis aos valores reais, permitindo que o estudo se aproxime da realidade. Na simulação, são consideradas as horas de trabalho reais do edifício, o sistema de iluminação, a taxa de ocupação do edifício, as potências do equipamento instalado no interior, bem como as características dos elementos do edifício e os dados climatológicos. O procedimento para uma análise de energia suportada pela metodologia BIM é explicado.

FASE 1 – MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO

Para a modelação do edifício foi selecionado o software ArchiCAD da Graphisoft, por, para além da modelação geométrica de edifícios, incorporar uma funcionalidade que permite, fazer análises energéticas. Uma das fases mais importantes para a simulação energética do modelo é a escolha dos materiais aplicados nos objetos do modelo (Figura 2). Esses materiais representam materiais reais e, com base nas propriedades paramétricas disponibilizadas pelo BIM, permitem a determinação do seu comportamento por alteração das suas características através da especificação de diversas informações. As informações mais importantes para as simulações energéticas são as propriedades térmicas, designadamente: i) espessura; ii) coeficiente de transmissão térmica; iii) calor específico; iv) densidade. A resistência térmica do elemento é calculada automaticamente a partir da espessura e do coeficiente de transmissão térmica. Após definir os tipos de materiais e suas propriedades de acordo com as características do edifício existente, foi realizada a modelação do edifício (Figura 3).

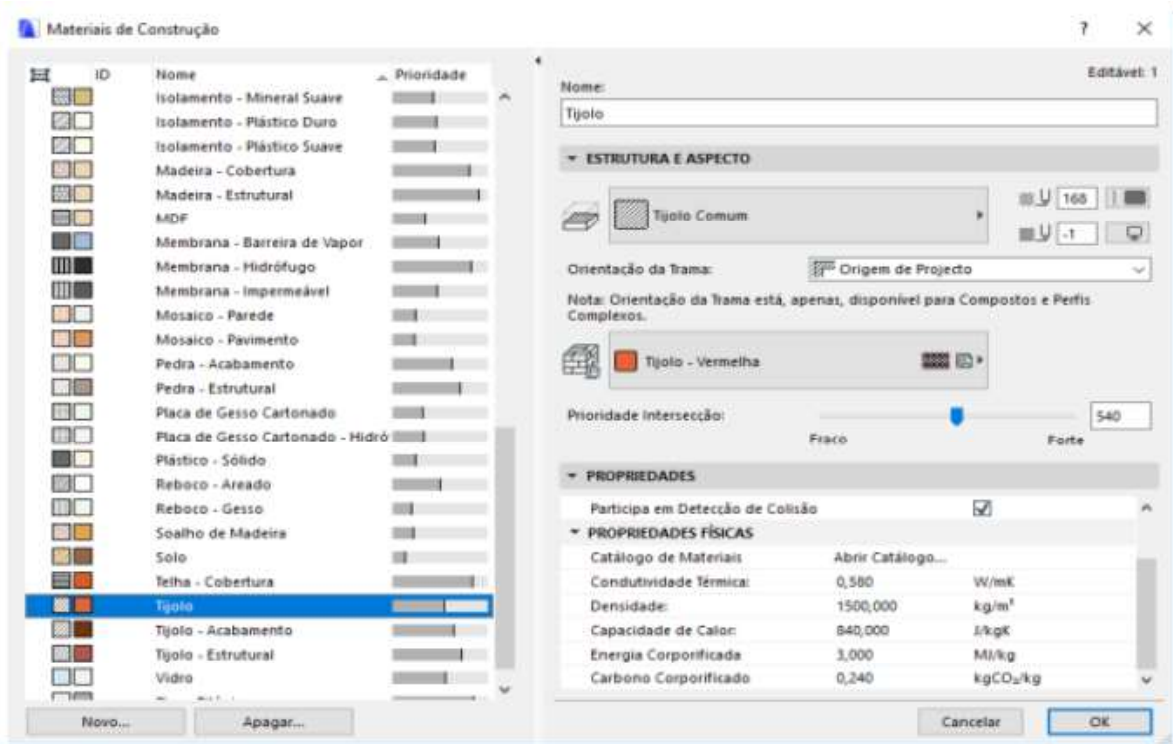


Figura 2 – Menu do software com materiais de construção e suas características individuais, adaptado de (Silva, 2019)

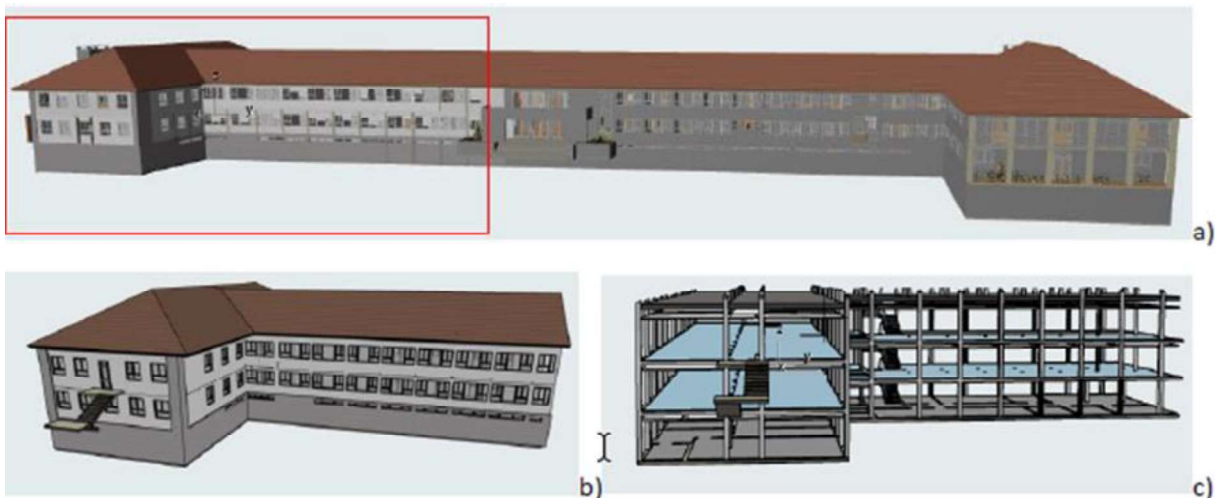


Figura 3 – Modelo BIM do edifício: a) global; b) arquitetura; c) estruturas, adaptado de (Silva, 2019)

A cada elemento do modelo são atribuídas características geométricas e físicas, assim como definidos os tipos de materiais e as propriedades térmicas conforme as características do existente. Para além da introdução dos elementos construtivos do edifício, foram introduzidas também no programa informações relacionadas com a sua localização, a sua orientação solar, para que na simulação fossem aplicadas diretamente as condições onde o edificado está implantado (Silva, Falcão Silva, Couto *et al.*, 2018).

FASE 2 – CRIAÇÃO DE ZONAS DE ESPAÇO INTERNO

Depois de concluída a primeira fase de modelação do edifício, procedeu-se à criação de zonas correspondentes a unidades espaciais do projeto, que, normalmente, representam compartimentos, setores de um edifício, blocos de um conjunto habitacional, ou áreas funcionais de um edifício. As zonas formam a base do processo de Revisão do Modelo na função *Avaliação Energética* podendo ser visualizadas em formato 3D (Figura 4).

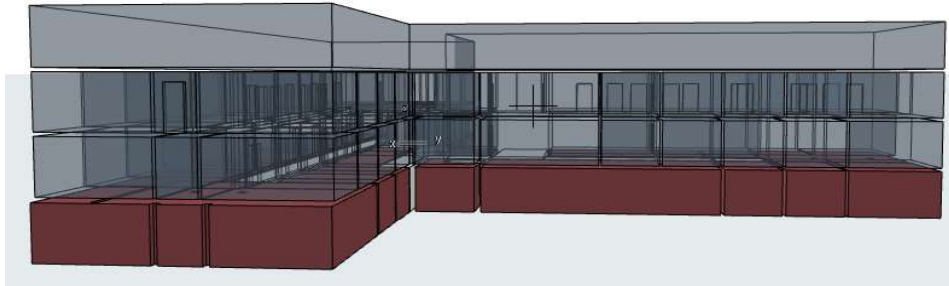


Figura 4 – Visualização 3D de zonas técnicas, adaptado de (Silva, 2019)

A cada zona no projeto é atribuída uma Categoria de Zona (Figura 5), as Categorias de Zonas são atributos ArchiCAD, cuja a sua função principal é utilizar cores para distinguir visualmente diferentes espaços no projeto, ou seja, com esta ferramenta é possível, por exemplo, agrupar todos os escritórios presentes no modelo numa categoria específica denominada de “Escritório” e visualizá-los com a cor definida para a categoria atribuída, o mesmo acontece para todas as zonas criadas no programa.

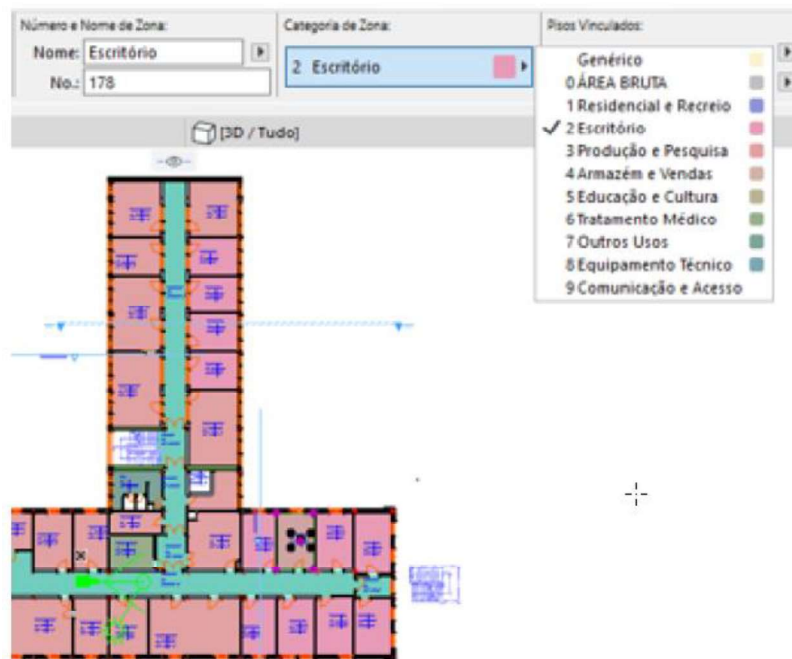


Figura 5 – Categorização das zonas térmicas, adaptado de (Silva, 2019)

Para o estudo da avaliação energética, as zonas têm de ser criadas através do método de reconhecimento automático, (Aresta Interna), pois as zonas devem ser diretamente adjacentes às superfícies dos elementos da envolvente, não sendo por esse motivo aplicável os dois outros métodos existentes.

FASE 3 – CRIAÇÃO DE BLOCOS TÉRMICOS

Na terceira fase de preparação do modelo para simulação energética, é necessário que as zonas criadas sejam agrupadas em blocos térmicos para efeitos de Avaliação energética. Os blocos térmicos são um conjunto de uma ou mais divisões ou espaços num edifício com semelhanças em termos de orientação, perfil de operação e requisitos de temperatura interna. As zonas não têm de ser contíguas para serem combinadas num mesmo bloco térmico.

A cada bloco térmico são atribuídos os perfis de operação adequados à sua função específica, e sistemas do edifício correspondentes, desde ventilação natural, fontes de aquecimento como por exemplo, aquecedores de espaço elétricos ou sistema de arrefecimento ou unidades de ar condicionado.

Para o caso de estudo, os blocos térmicos foram criados por categorias e funções, tendo sido criado um total de 6 blocos térmicos para as 91 zonas existentes (Quadro 1), designadamente: i) bloco térmico 1, corresponde às zonas de arrumos, ou seja, todas as divisões que estiverem classificadas com a categoria de zona Armazéns são colocadas no bloco térmico com o nome arrumos; ii) bloco térmico 2, corresponde às zonas dos laboratórios, ou seja, neste bloco térmico estão agrupados todos os laboratórios e respetivas características, existentes na ala de saúde animal; iii) bloco térmico 3, corresponde às zonas dos escritórios, onde estão agrupados todos os escritórios existentes na ala de saúde animal; iv) bloco térmico 4, corresponde às zonas de circulação daquela ala, ou seja, estão incluídos todos os corredores do edifício e zona de escadas; v) bloco térmico 5, corresponde a todas as instalações sanitárias pertencentes à ala do edifício pertencente à saúde animal; vi) bloco térmico 6, corresponde às áreas técnicas, ou seja, áreas onde estão instaladas maquinaria técnica, como é o caso da cobertura onde está instalado o sistema das unidades de tratamento de ar (UTA).

Quadro 1 – Distribuição dos blocos térmicos por piso

Blocos térmicos	Arrumos	Laboratórios	Escritórios	Zonas de circulação	Instalações sanitárias	Áreas técnicas
Piso -1	23	-	-	-	-	1
Piso 0	-	20	12	1	1	1
Piso 1	-	21	7	1	1	1
Cobertura	-	-	-	-	-	-
Total	23	41	19	2	2	2

FASE 4 – ANÁLISE AUTOMÁTICA DA GEOMETRIA DO MODELO E DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Depois de os blocos térmicos serem definidos, o modelo BIM é transformado num Modelo de Energia de Edifício (BEM) pela funcionalidade de análise automática da geometria do modelo e propriedades do material do ArchiCAD, ou seja, o modelo BEM estima o consumo de energia do edifício com base na simulação de energia e fluxos de massa, contribuindo para a tomada de decisão nas fases iniciais do projeto (Prada-Henrández, Rojas-Quintero, Vallejo-Borda *et al.*, 2015). Esta fase contempla: i) Análise das estruturas e dos vãos visíveis de acordo com as suas orientações e posições relativamente a zonas e gera os limites de espaço nos mesmos. Os limites de espaço descrevem a geometria do edifício num formato que funciona para a introdução de simulação energética; ii) apresentação de listagens de limites de espaço. Estruturas e vãos são listados automaticamente com as suas propriedades relevantes para a avaliação energética.

FASE 5 – ANÁLISE AUTOMÁTICA DA GEOMETRIA DO MODELO E DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Nesta fase, é possível introduzir dados importantes para a simulação, como as definições ambientais em que é possível colocar a localização do projeto, dados climáticos, proteção contra o vento, nível do terreno e tipo de solo, perfis operacionais nos perfis de iluminação e construção, equipamentos relacionados, os sistemas prediais de aquecimento, refrigeração e ventilação também são inseridos, sendo possível apresentar no modelo os fatores de fonte de energia e os custos de energia associados ao edifício, o consumo e os custos de energia associados ao edifício.

Após a introdução de todos os parâmetros necessários para elaborar a avaliação energética do modelo em estudo, ele é simulado. Esta simulação calcula o balanço de energia do edifício por hora emitindo um relatório de avaliação de energia, contendo informações como desempenho estrutural relacionado à energia, consumo anual de energia, balanço de energia e pegada de carbono do projeto. A avaliação energética obtida no programa é validada pela norma ANSI/ASHRAE 140-2007: Método Padrão de Testes para Avaliação de Programas Informáticos de Análise Energética de Edifícios. No desenvolvimento da análise são apresentados os blocos

térmicos de aquecimento e arrefecimento, de iluminação e outros equipamentos do modelo analisado, para cada mês, sendo possível identificar os pontos críticos do projeto. O relatório fornecido pelo software (Figura 6) apresenta dados bastante detalhados e personalizáveis, permitindo uma primeira análise rápida dos consumos energéticos, bem como monitorizar o desempenho energético de todo o projeto e controlar o comportamento de espaços otimizando-os para um determinado objetivo específico dentro do edifício.

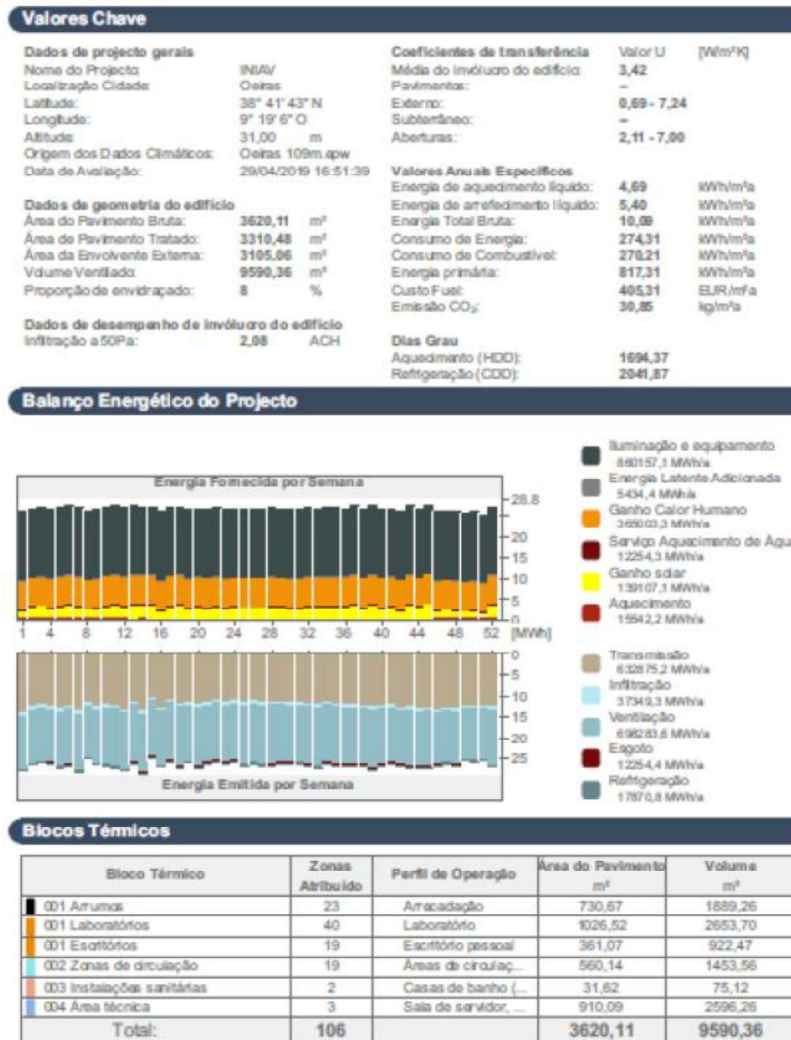


Figura 6 – Exemplo de relatório de avaliação desempenho energético, adaptado de (Silva, 2019)

3.3. Análise dos resultados obtidos

A análise dos resultados obtidos permite uma comparação entre os valores mais relevantes de um ponto de eficiência energética, permitindo entender a melhor solução a ser adotada para o edifício (Figura 7 a Figura 11).

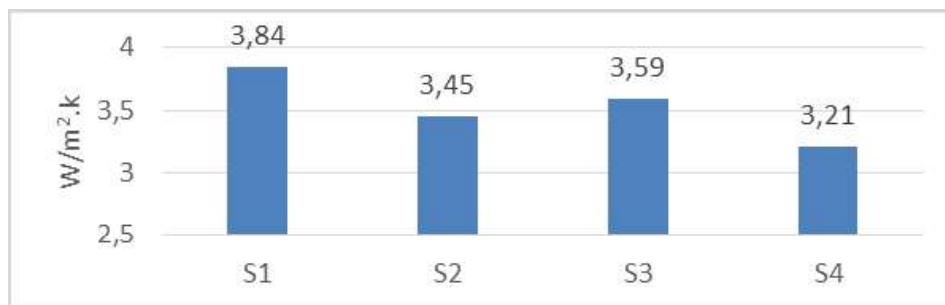


Figura 7 – Coeficiente de transmissão térmica para as soluções considerada, adaptado de (Silva, 2019)

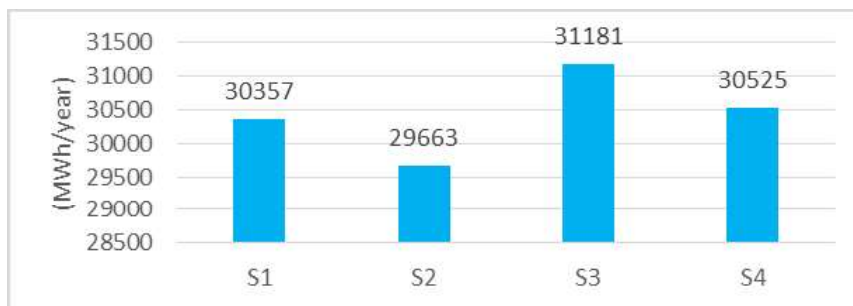


Figura 8 – Necessidades anuais de arrefecimento do edifício, adaptado de (Silva, 2019)



Figura 9 – Necessidades anuais de aquecimento do edifício, adaptado de (Silva, 2019)

Analisando os valores médios de coeficiente de transmissão térmica para cada solução adotada é visível que a solução S4 tem um valor mais baixo e, portanto, é a solução que oferece o melhor compromisso a nível térmico. Da análise dos gráficos relacionados ao balanço energético do edifício correspondente às necessidades de arrefecimento, fica claro que a melhor solução é o S2. No entanto, ao analisar os gráficos relacionados com as necessidades de aquecimento, verifica-se que a melhor solução é a S4, porque é a que apresenta menor consumo anual.

Tendo em conta o clima português e o fato do edifício em estudo ser um edifício de serviços, existindo uma predisposição para o aumento diário da sua temperatura interna, não apenas pelo calor humano produzido pelos seus utentes mas também devido a todo o equipamento técnico (maquinaria) que se encontra em operação diária, não se considera haver motivo para consumos tão altos em termos de requisitos de aquecimento. É importante escolher uma solução que corresponda a necessidades de refrigeração baixas, sendo, portanto a melhor solução a adotar a S2.



Figura 10 – Custo anual de energia para as soluções estudadas, adaptado de (Silva, 2019)

Analisando os valores médios do custo anual de energia para cada solução adotada verifica-se uma quase coincidência entre a solução S2 e a solução S4, pelo que, apesar do bom compromisso técnico de ambas, a decisão deverá ser fundamentada com base em outros indicadores.



Figura 11 – Emissões de CO₂ para as soluções estudadas, adaptado de (Silva, 2019)

Ao nível da emissão de CO₂ a solução S2 continua a ser aquela que apresenta um menor valor e também aquela que apresenta menor custo de energia face às restantes soluções apresentadas. Apesar de o valor de U não ser o melhor, dado que a solução S4 apresenta o melhor valor, comparando os restantes indicadores a solução S2 é a que apresenta valores mais consistentes para uma tomada de decisão economicamente mais vantajosa e mais sustentável.

4. CONCLUSÕES

Com o trabalho desenvolvido apresentam-se os benefícios da utilização da metodologia BIM num processo de análise energética de um edifício alvo de reabilitação. Foram discriminadas as soluções alternativas de intervenção para reabilitação do edifício com vista a melhorar a eficiência energética do edifício, sendo dado particular ênfase às suas características essenciais para incorporação no modelo. Mais se adianta, que foi possível identificar as fases mais importantes para o desenvolvimento de avaliações energética, com base num software apoiado pela metodologia BIM. A aplicação de conceitos BIM a um cenário como o apresentado permite que sejam comparados de forma rápida e eficaz diferentes quadros de reabilitação através do acesso a informação relacionada com necessidades de aquecimento e arrefecimento, consumos, impacto ambiental (emissões de CO₂). Esta informação permite que o projetista, o dono de obra e empreiteiro possam decidir de forma mais sustentada e harmoniosa as suas ações de forma a otimizar o todo projeto de reabilitação. No âmbito do trabalho foram obtidos desempenhos energéticos fornecidos pelo software selecionado e utilizado na modelação, que foram analisados ao pormenor pelo programa, permitindo demonstrar a adequabilidade da utilização da Avaliação Energética no âmbito da metodologia BIM.

De referir que os resultados obtidos tiveram por base o estudo dos relatórios energéticos gerados pelo programa, podendo haver fatores que podem estar inferidos na medida em que a versão do programa utilizada se trata de uma versão gratuita, existindo funcionalidades que poderão não estar a ser exploradas na sua totalidade e por essa razão os relatórios gerados não apresentam valores tão claros como seria expectável. O facto de a versão utilizada não conter todos os sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação disponíveis no mercado, faz com que a simulação apresente um nível de precisão mais reduzido. Outro motivo relevante é o facto desta versão do software não fazer a avaliação das pontes térmicas do edifício fazendo desta maneira uma análise mais simplista ao nível térmico. Apesar de tudo, o programa apresenta-se como bastante fiável para a modelação do edifício bem como para uma posterior simulação energética básica do mesmo. A metodologia BIM pode servir de apoio aos arquitetos e engenheiros na busca das melhores soluções para a reabilitação de edifícios, nomeadamente na componente energética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os elementos fornecidos pela Eng.^a Sara Silva para a elaboração do presente artigo.

REFERÊNCIAS

- ALSAYYAR, B.; JRADE, A., 2015 – **Integrating Building Information Modeling (BIM) with sustainable universal design strategies to evaluate the costs and benefits of building projects**. 5th International/11th Construction Specialty Conference. 10 p.
- ANTONOPOULOU, S.; BRYAN, P., 2017 – **BIM for heritage – Developing a historic Building Information Model**. UK: Historic England.
- DINIS, R., 2010 – **Contributos para a reabilitação sustentável de edifícios de habitação**. Dissertação de mestrado. Caparica: FCT/Universidade NOVA de Lisboa.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K., 2011 – **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2nd Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-470-18528-5.
- GOOGLE MAPS, 2019 – <https://www.google.pt/maps/preview> (consultado em dezembro de 2019).
- LINO, J.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P., 2012 – **Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas**. BE2012 – Encontro Nacional Betão Estrutural. Porto: FEUP.
- MARTINS, A., 2014 – **A Sustentabilidade na reabilitação do edificado**. Dissertação de Mestrado. Porto: FCT/Universidade Fernando Pessoa. Porto.
- MOTA, A., 2013 – **Consumo ecológico – Poupar o ambiente e a carteira**. Lisboa: Deco Proteste. 1.ª ed. ISBN 978-989-737-013-7
- PAIVA, J.; AGUIAR, J.; PINHO, A., 2006 – **Guia técnico de reabilitação habitacional**. Lisboa: INH/LNEC. ISBN: 978-972-492081-8.
- PRADA-HERNÁNDEZ, A.; ROJAS-QUINTERO, J.; VALLEJO-BORDA, J.; PONZ-TIENDA, J., 2015 – **Interoperability of Building Energy Modeling (Bem) with Building Information Modeling (Bim)**. *Proceedings of the SIBRAGEC ELAGEC*. 15(1), 519–526. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3807.3042>.
- SILVA, S., 2019 – **Aplicação do BIM à reabilitação energética de um edifício público**. Dissertação de Mestrado. Costa da Caparica: FCT-UNL.
- SILVA, S.; FALCÃO SILVA, M. J.; COUTO, P.; PINHO, F., 2018 – **Reabilitação de um edifício público utilizando metodologias BIM**. CONSTRUÇÃO 2018. Porto: FEUP.
- SANTOS, L.; COUTO, J., 2015 – **Ferramentas e processos BIM de avaliação e otimização energética em edifícios**. *SHEWC`2015 – XV Safety, Health and Environment World Congress – Keeping Planet “Water Earth” safe and sound: a challenge to science and technology*. pp. 174-178, doi:10.14684/SHEWC.15.2015.174-178. ISBN 978-85-65992-44-2.