

# **Aplicação para análise energética e económica de soluções para reabilitação de edifícios**

## **Software application for analysing energy and economical solutions for building rehabilitation**

Paula Assis

paula.assis@topinformatica.pt

Ricardo Figueira

ricardo.figueira@topinformatica.pt

Paulo Oliveira

paulo.oliveira@topinformatica.pt

### **Resumo**

O objetivo da reabilitação energética é aumentar o conforto e diminuir o consumo energético associado ao aquecimento, arrefecimento e ventilação. A conjuntura económica dos últimos anos levou à diminuição da construção de novos edifícios, assim, o parque edificado existente tornou-se a resposta às solicitações do mercado, sendo a reabilitação arquitetónica e energética as atuais apostas do setor da AECO. Foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo automático com tecnologia BIM que permite modelar os edifícios, com os seus elementos construtivos e sistemas técnicos, e simultaneamente realizar a análise energética e económica do modelo BIM. Este *software* possibilita a escolha das soluções mais eficientes, apoiando o projetista na persecução do objetivo da reabilitação energética.

### **Palavras-chave**

CYPETHERM, BIM, análise energética, custo.

### **Abstract**

The goal of energy rehabilitation is to increase comfort and reduce energy consumption associated with heating, cooling and ventilation. The economic situation of the past few years led to a decline in the construction of new buildings and, therefore, the existing buildings became the answer to market demands. The architectural and energy

rehabilitation are the current targets of AECO sector. An automatic calculation tool that uses BIM technology was developed. It allows to model the buildings, with their construction elements and technical systems, and simultaneously to carry out the energy and economic analysis of the BIM model. The software makes it possible to choose the most efficient solutions and supports the designer to pursue the objective of energy rehabilitation.

## **Keywords**

CYPETHERM, BIM, energy analysis, cost.

## **1. Introdução**

Com a tecnologia Open BIM é possível implantar um fluxo de trabalho colaborativo, multidisciplinar e multiutilizador que permite o desenvolvimento de projetos de forma aberta, coordenada e simultânea entre os distintos técnicos ou agentes intervenientes.

Uma das principais características e vantagens da tecnologia Open BIM é estar baseada em formatos de intercâmbio *standard* abertos, IFC, assim o conteúdo do projeto BIM não está vinculado a nenhuma aplicação ou *software* em concreto.

O *software* CYPETHERM permite, a partir do modelo de arquitetura e da caracterização dos elementos construtivos e sistemas, realizar a avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação, segundo o REH, bem como em edifícios de comércio e serviços, segundo o RECS. Simultaneamente permite criar modelos alternativos de propostas de reabilitação, apresentando a análise energética e económica destes, possibilitando, assim, a eleição da proposta mais eficiente.

## **2. Modelo BIM**

Através de um ficheiro em formato IFC, obtido a partir de um *software* de modelação 3D, por exemplo IFC Builder (*software* pertencente à biblioteca CYPE), Allplan®, ArchiCAD® ou Revit®, que contenha informação sobre o modelo 3D arquitetónico do edifício, e localizado no computador, rede ou nuvem, é possível importá-lo pelos vários *softwares* CYPE adaptados à filosofia Open BIM, entre os quais o CYPETHERM.

O modelo arquitetónico de um edifício existente pode também ser criado no IFC Builder, a partir de uma nuvem de pontos obtida por equipamentos laser, Figura 1.

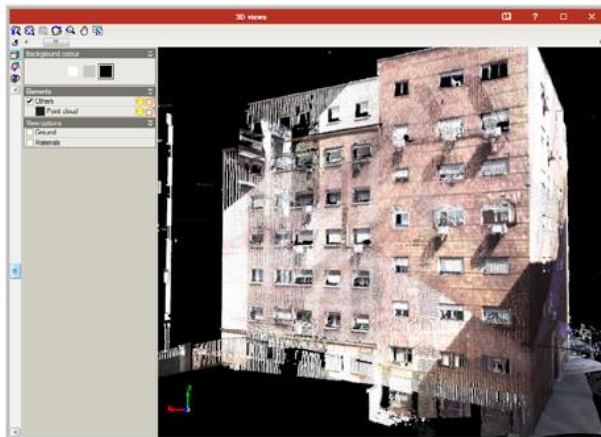


Figura 1. Modelo 3D obtido por nuvem de pontos.

O CYPETHERM lê o modelo arquitetônico do edifício, mantém-se vinculado ao IFC original e emite alertas no caso de alteração do modelo arquitetônico.

Simultaneamente podem ser desenvolvidas outras especialidades do projeto, mantendo-se o modelo arquitetônico também vinculado aos vários *softwares* CYPE. Deste modo é possível a qualquer momento observar o modelo BIM com informação atualizada. A forma como o *software* CYPE reage às alterações é uma das características diferenciadoras e avançadas do fluxo de trabalho Open BIM, Figura 2.

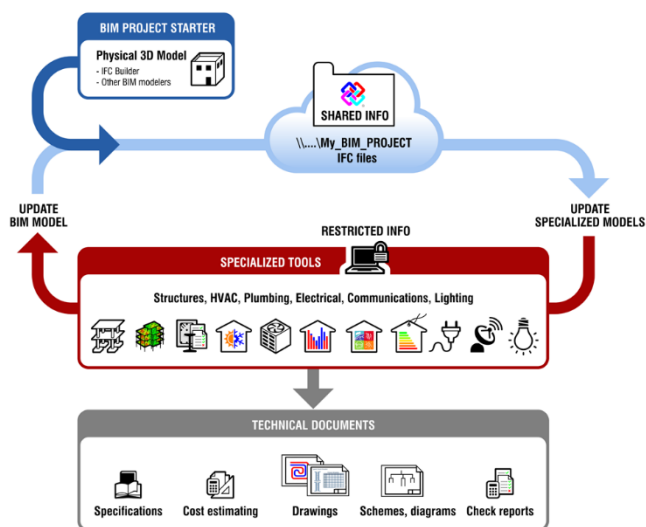


Figura 2. Fluxo de trabalho Open BIM.

### 3. Avaliação do desempenho energético em edifícios de comércio e serviços

A ferramenta realiza a avaliação do desempenho energético em edifícios de comércio e serviços, de acordo com o RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) [1]. Aplica ao modelo do edifício a simulação

dinâmica multizona, calculada com o motor de cálculo EnergyPlus™. Efetua uma simulação dinâmica anual, por intervalos horários, através do cálculo da distribuição das necessidades energéticas em cada zona do modelo, determinando, para cada sistema técnico, a energia útil, a energia final e a energia primária, detalhando o consumo energético por sistema e vetor energético utilizado.

O modelo arquitetónico BIM é completado pelo projetista quanto à sua tipologia (PES, GES ou GES sujeito a Plano de Racionalização Energética), localização, características da envolvente, perfis de utilização previstos e espaços de cada zona.

O *software* utiliza bibliotecas de tipologias de elementos construtivos, perfis de utilização, sistemas de climatização e pontes térmicas lineares. Se o modelo arquitetónico do edifício for concebido com as referências das bibliotecas, o programa assume automaticamente as respetivas características. Em alternativa o projetista atribui as características e adiciona-as à biblioteca para utilização na presente obra e/ou futuras.

Os dados climáticos podem ser importados para o *software* a partir de um ficheiro “epw”.

A biblioteca de programas CYPE contém uma aplicação que permite efetuar a verificação dos requisitos de iluminância, o CYPELUX, cujos valores de potências de iluminação são lidos diretamente pelo CYPETHERM através da sincronização dos modelos IFC.

De acordo com os requisitos do motor de cálculo é gerado um modelo térmico do edifício para o cálculo da necessidade energética sem os equipamentos e o seu equivalente com os equipamentos para o cálculo do consumo energético. Cabe destacar que o modelo do edifício de referência também se gera e se simula como um modelo independente.

A Figura 3 apresenta os botões do programa para obter as listagens, entre as quais: relatório de necessidades, relatório de consumos, verificações regulamentares do RECS e ficheiro em formato XML para importação no portal da ADENE.

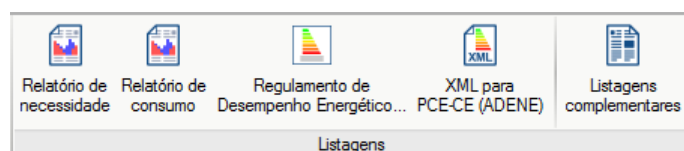


Figura 3. Botões de listagens do *software* CYPETHERM.

No que concerne às verificações regulamentares o CYPETHERM verifica os requisitos relativos à qualidade térmica da envolvente, à conceção e instalação dos sistemas técnicos bem como o indicador de eficiência energética.

O *software* apresenta a classe energética,  $R_{IEE}$ , Figura 4, determinada através da Eq. (1):

$$R_{IEE} = (IEE_{pr,S} - IEE_{REN}) / IEE_{ref,S} \quad (1)$$

$R_{IEE}$ , rácio da classe energética

$IEE_{pr,S}$ , indicador de eficiência energética previsto associado aos consumos do tipo S, kWh/m<sup>2</sup>·ano

$IEE_{REN}$ , indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis, kWh/m<sup>2</sup>·ano

$IEE_{ref,S}$ , indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S, kWh/m<sup>2</sup>·ano

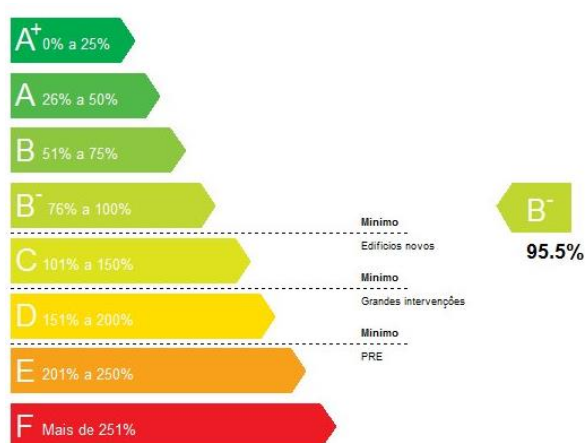


Figura 4. Exemplo de classe energética do CYPETHERM, para um edifício de serviços.

#### 4. Avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação

A ferramenta realiza a avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação, de acordo com o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) [1]. Efetua os cálculos e verificações ao modelo BIM do edifício.

O modelo arquitetónico BIM é completado pelo utilizador quanto ao objetivo do estudo (Projeto Novo, Existente ou Grande Intervenção), à localização, através da seleção na biblioteca de dados climáticos do programa, e às características da envolvente.

O *software* utiliza bibliotecas de tipologias de elementos construtivos, materiais, pontes térmicas lineares e planas, sistemas (aquecimento, arrefecimento, AQS, renovável e ventilação) e de dados para o portal da ADENE. Se o modelo arquitetónico do edifício for concebido com as referências das bibliotecas, o programa assume automaticamente as respetivas características. Em alternativa o utilizador atribui as características e adiciona-as à biblioteca para utilização na presente obra e/ou posteriores.

Os cálculos são realizados de acordo com o REH, podendo em determinadas situações existir opções de seleção alternativas previstas no regulamento, como é o caso do cálculo das pontes térmicas lineares segundo a EN ISO 14683 ou o cálculo das mesmas por elementos finitos segundo a EN ISO 10211.

Para além do modelo do edifício objeto, o programa gera automaticamente o modelo do edifício de referência.

O CYPETHERM calcula a transferência de calor por transmissão, por ventilação, os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento e arrefecimento, comparando os valores obtidos no edifício objeto com os do edifício de referência. Calcula as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, bem como as necessidades nominais anuais globais de energia primária e compara-as com os valores limite.

O *software* apresenta a classe energética,  $R_{Nt}$ , Figura 5, determinada através da Eq. (2):

$$R_{Nt} = N_{tc} / N_t \quad (2)$$

$N_{tc}$ , valor das necessidades anuais de energia primária, kWh/m<sup>2</sup>·ano

$N_t$ , valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, kWh/m<sup>2</sup>·ano

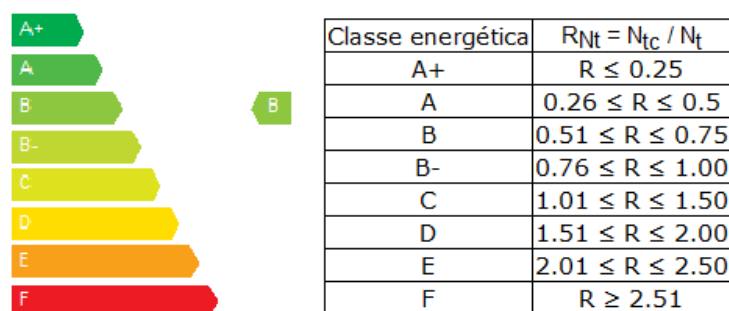


Figura 5. Exemplo de classe energética do CYPETHERM para um edifício de habitação.

## 5. Análise energética e económica do modelo

Como alternativa ao modelo inicial, podem-se criar várias propostas contendo cada uma soluções distintas para a envolvente, sistemas de aquecimento e arrefecimento, ventilação e água quente sanitária (AQS), bem como energias renováveis.

Para além dos resultados do modelo, referidos nos capítulos 3 e 4, é apresentada uma listagem com o balanço energético das várias propostas criadas.

O *software* possui uma biblioteca, proporcionada pela base de dados de trabalhos de construção civil, CYPE - Gerador de Preços, com soluções e respetivos preços, Figura

6, para ajudar o projetista a decidir sobre as soluções a adotar para cada proposta. A biblioteca permite a criação de novas soluções para utilização em obras futuras.



Figura 6. Biblioteca de soluções com preços.

O custo de investimento para cada proposta é calculado através da Eq. (3) [2].

$$CI = \sum_{i=1}^n CS_i \quad (3)$$

$CI$ , custo de investimento da proposta, €

$CS_i$ , custo da solução  $i$ , €

Para o cálculo do período de retorno o projetista pode seleccionar o PRS (Período de Retorno Simples), sendo:

$$PRS = CI/P \quad (4)$$

$CI$ , custo de investimento da proposta, €

$P$ , poupança anual resultante da aplicação das soluções da proposta, €/ano

O projetista pode optar por calcular o VAL (Valor Atual Líquido) Eq. (5) e observar o período necessário para compensar o investimento.

$$VAL = GF - CI \quad (5)$$

$GF$ , ganhos futuros, €

$CI$ , custo de investimento da proposta, €

Por fim o CYPETHERM apresenta a listagem com o custo do investimento, a redução anual da fatura energética, o período de retorno e a variação da classificação energética. A apreciação desta listagem permite ao projetista decidir sobre a proposta a adotar.

## 6. Caso de estudo

Apresenta-se seguidamente um caso de estudo, Figura 7. Trata-se de uma habitação unifamiliar existente, dos anos 80, situada num lote de gaveto e localizada na zona climática I2 V2. Apresenta uma área útil aproximada de 185 m<sup>2</sup>, com dois pisos acima do rés-do-chão, os elementos construtivos não possuem isolamento, apresenta caixilharias com vidro simples, possui um esquentador para AQS de fraco rendimento e não possui sistema de climatização. Foram consideradas várias soluções de reabilitação energética ao nível da envolvente e equipamentos, descritas na Tabela 1.



Figura 7. Modelo BIM do edifício realizado no IFC Builder.

Tabela 1. Soluções de reabilitação energética

	Referência	Descrição
Envolvente	S1	Aplicação de caixilharias de alumínio com corte térmico, $U = 2.5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$ , e vidro duplo corrente, $U = 2.1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$ .
	S2	Aplicação de revestimento ETICS, EPS com espessura de 8 cm, nas paredes e laje em contacto com o exterior. Aplicação de lã de rocha sobre o pavimento do desvão com espessura de 10 cm.
AQS	S3	Substituição do esquentador existente, por um esquentador termostático com rendimento de 94%.
	S4	Substituição do esquentador existente, por um sistema solar térmico com apoio de um esquentador termostático com rendimento de 94%.
	S5	Substituição do esquentador existente, por um sistema solar térmico com apoio de uma bomba de calor (eficiência = 2.83).
Climatização	S6	Aplicação de recuperador de calor para sistema de aquecimento em 40% da área útil, com rendimento de 78%.
	S7	Aplicação de sistema de climatização Multisplit, composto por duas unidades exteriores do tipo 4x1 (COP = 3.8 e EER = 5.1).



Efetuarão-se as seguintes combinações entre as diversas soluções de reabilitação energética, descritas na Tabela 2, esta tabela apresenta também o aumento da classe energética para cada combinação.

Tabela 2. Combinações de soluções de reabilitação

	Referência	Combinação	Classe energética
Envolvente	C1	S1 + S2	D → C
Envolvente + AQS	C2	S1 + S2 + S3	D → C
	C3	S1 + S2 + S4	D → B-
	C4	S1 + S2 + S5	D → B-
Envolvente + Climatização	C5	S1 + S2 + S6	D → B-
	C6	S1 + S2 + S7	D → B-
Envolvente + AQS + Climatização	C7	S1 + S2 + S3 + S6	D → B-
	C8	S1 + S2 + S3 + S7	D → B-
	C9	S1 + S2 + S4 + S6	D → B
	C10	S1 + S2 + S4 + S7	D → B
	C11	S1 + S2 + S5 + S6	D → B
	C12	S1 + S2 + S5 + S7	D → A

Os resultados energéticos e económicos apresentam-se nos gráficos das Figuras 8 e 9. Selecionou-se para o cálculo do período de retorno o PRS.

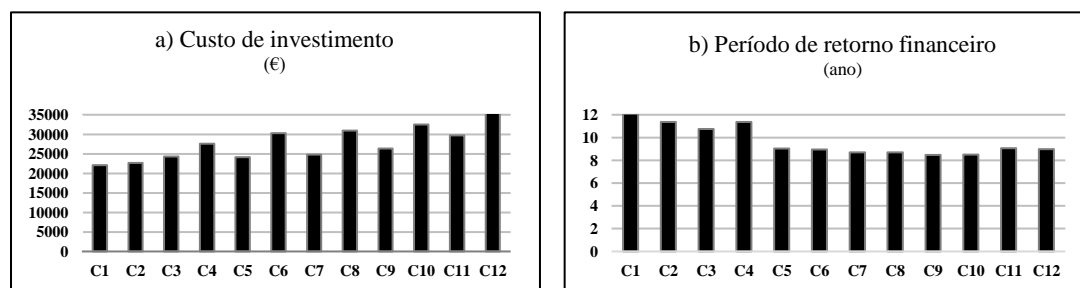


Figura 8. a) Custo de investimento. b) Período de retorno financeiro.

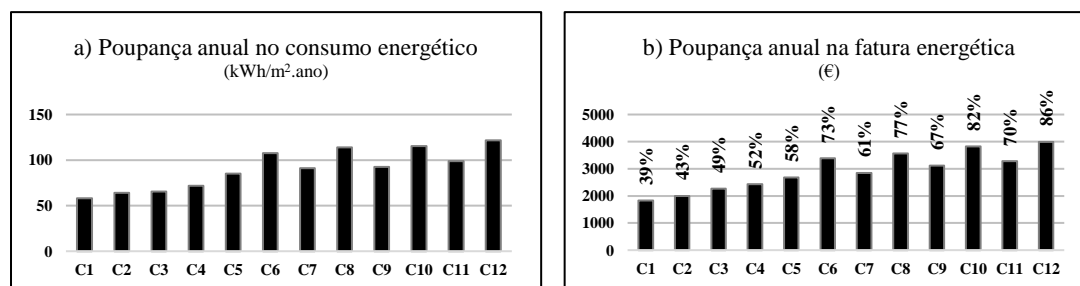


Figura 9. a) Poupança anual no consumo energético. b) Poupança na fatura energética.

Através da análise dos gráficos pode-se concluir que a combinação C12 é a que apresenta melhores resultados, sendo a melhor proposta do ponto de vista da poupança energética e consequente classificação energética, todavia é a que apresenta o custo de

investimento mais elevado, apesar de possuir um período de retorno financeiro bastante aceitável.

Se o valor do custo de investimento inicial for um impedimento, a combinação C7 poderá ser uma boa opção, já que apresenta uma poupança energética significativa e um reduzido período de retorno financeiro.

## 7. Conclusão

A tecnologia Open BIM, implementada no *software* CYPE, permite estabelecer um fluxo de trabalho colaborativo. O arquiteto fornece o modelo de arquitetura em formato IFC, este modelo é utilizado pelos restantes projetistas, na elaboração dos projetos de especialidades, efetuando a sincronização dos respetivos IFC gerados, deste modo é estabelecida a passagem de informação entre especialidades.

O *software* realiza a avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação e de comércio e serviços, de acordo com os requisitos definidos no REH e RECS, neste último caso aplica a simulação dinâmica multizona, calculada com o motor de cálculo EnergyPlus™. Determina necessidades e consumos de energia atendendo à envolvente térmica, AQS e sistemas técnicos.

O CYPETHERM possibilita a criação de propostas de soluções de reabilitação energética, aplicadas ao modelo do edifício, proporcionando instrumentos de medida, como o custo de investimento, período de retorno, redução no consumo e fatura energética, que facilitam a decisão do projetista no que concerne à seleção do conjunto de soluções mais eficientes.

## Referências

- 1 Decreto-Lei n.º 118/2013, Diário da República n.º 159/2013, Série I de 2013-08-20, Lisboa (2013).
- 2 Ferreira, A.; Assis, P.; Figueira, R., ‘Ferramenta para a análise de soluções de reabilitação de edifícios - otimização económica, energética e ambiental’, *INGENIUM II Série* (140) (2014, março/abril) 75-77, <http://www.ordemengenheiros.pt/pt/centro-de-informacao/publicacoes/revista-ingenium/revista-ingenium-n-o-140-marco-abril/>.