

**DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE EM EDIFÍCIOS DE  
RETALHO NÃO ALIMENTARES**

Análise de caso de estudo - *Leroy Merlin* de Loulé

**Rita Santos Garcia Mendonça**

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em

**Engenharia Civil**

**Orientador**

Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

**Júri:**

Presidente: Professor Doutor Rodrigo De Almada Cardoso Proença de Oliveira

Orientador: Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Vogal: Professora Doutora Maria Cristina De Oliveira Matos Silva

**Outubro de 2021**



## **Declaração**

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

## Resumo

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o desempenho energético de soluções e possibilidade de melhorias construtivas para o envelope de uma grande superfície comercial, o edifício de retalho existente da *Leroy Merlin* de Loulé (Portugal).

Nesta avaliação aplicou-se a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) ao caso de estudo, recorrendo-se ao programa *Autodesk Revit*. A primeira fase do estudo consistiu na criação do modelo de referência com as características construtivas da loja. Os dados relativos aos consumos energéticos obtiveram-se através do *Plug-in Insight 360°* e foram confirmados com as faturas energéticas deste edifício.

Foram ensaiadas 18 soluções alternativas para o envelope do edifício que se distinguem entre si apenas num elemento construtivo. Os três conjuntos de simulações correspondem a soluções alternativas para paredes exteriores, coberturas e envidraçados.

Os resultados são consistentes, tendo sido obtidos menores consumos para resistências térmicas mais elevadas. Contudo, as soluções alternativas relativas aos envidraçados conduziram todas a resultados semelhantes em termos de simulação do consumo energético. Considerando que os envidraçados podem ter relevância no consumo energético do edifício, seriam expectáveis diferenças nos resultados.

Foram encontradas soluções com menores consumos energéticos anuais e custos anuais que o caso de estudo. Posteriormente, foi feita a análise económica para avaliar a viabilidade dessas soluções no campo económico. A análise económica foi feita com recurso ao cálculo do Período de Retorno de Investimento (PR), Valor Atualizado Líquido (VAL) e Taxa Interna de Rentabilidade (TIR). Foram encontradas 2 soluções economicamente viáveis.

Palavras chave: Edifícios de retalho, consumo energético, Sustentabilidade, Envelope do edifício, *Building Information Modeling*, *Building Energy Model*

## Abstract

This dissertation aims to study the energy consumption of different constructive solutions for the envelope of a large commercial building, the Leroy Merlin retail building from Loulé (Portugal). The BIM methodology was applied to the case study using the Autodesk Revit program.

The study's first phase consisted of creating the BIM reference model with the store's constructive characteristics. Data on energy consumption were obtained through the *Plug-in insight 360°* and confirmed with the store's energy bills. 18 alternative solutions for the building envelope were tested. The solutions differ from each other only in one constructive element. The three sets of simulations presented in this dissertation correspond to alternative solutions for exterior walls, roofs and glazing.

The results based on the BIM methodology are consistent, having obtained lower energy consumption with materials with higher thermal resistance. However, the alternative solutions for glazing have all led to similar results in simulating energy consumption. Considering that glazing can have relevance in the building's energy consumption, differences in outcomes would be expected.

Solutions were found with lower energy consumption and lower annual energy costs than the modelled case study. Subsequently, an economic analysis was carried out to assess the viability of the solutions in the financial field. The economic analysis was performed using the calculation of the Investment Payback Period (PR), Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). Two economically viable solutions were found.

Keywords: Retail buildings, energy consumption, Sustainability, building envelope, Building Information Modelling, Building Energy Model

## Agradecimentos

Em primeiro lugar devo um agradecimento ao Professor Doutor Manuel Duarte Pinheiro pela oportunidade de realizar esta dissertação, pela sua orientação e por todos os ensinamentos que me transmitiu. Em segundo lugar devo um agradecimento à Investigadora Arq<sup>a</sup> Ana Ferreira por ter coorientado a dissertação e ter sido um elemento crucial na realização da mesma. A ambos o meu profundo agradecimento pela total disponibilidade e permanente acompanhamento.

Devo um agradecimento ao Engenheiro Edgar Malato e *Leroy Merlin* pois sem os dados que me cederam não seria possível realizar o presente trabalho.

À Mariana Chagas dirijo um agradecimento em particular por ter sido o meu braço direito neste percurso académico. Agradeço-lhe por todo o companheirismo e conselhos valiosos, por toda a disponibilidade e ajuda com que me presenteou sempre que necessitei. Grata pela nossa amizade e por ser das melhores pessoas que levo comigo para a vida.

Agradeço a ajuda de amigos mais próximos e colegas que sempre estiveram presentes nos momentos certos. Um obrigada especial ao Luís Camacho, João Carlos, Eduíno Ribeiro, Mary Anne, Angela, e Midori Kato.

À minha Tia Idalina agradeço todas as palavras de incentivo e conversas que sempre mudaram algo em mim. Obrigada por ser a minha confidente e uma das pessoas com quem posso sempre contar.

À minha prima Ana agradeço por ser a minha irmã, prima e alma gémea com quem posso sempre contar e basta um telefonema e uma meia palavra para me animar.

À minha prima Sofia agradeço por me inspirar a caminhar sem medo de ser eu própria e por me ensinar a ser mais independente e autónoma mesmo sem se aperceber.

Aos meus pais devo tudo o que fui, sou e serei. Aos dois diamantes que me criaram, eu dirijo um agradecimento extra especial pelo amor, pela paciência e pelo apoio que me deram ao longo de todo o percurso. Obrigada por serem os meus heróis e me salvarem sempre que me sinto indefesa.

Ao Instituto Superior Técnico um obrigada por todas as lições que me ensinou.

Dedico esta tese às minhas avós que sempre viram um brilho especial em mim.

“Like an echo in the forest

(...) Yeah, life goes on”

– Bangtan Sonyeondan



# Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos .....	5
1.3 Abordagem metodológica .....	5
1.4 Organização da dissertação .....	8
2. Sustentabilidade, edifícios comerciais e modelação através de ferramenta BIM.....	9
2.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.....	9
2.1.1 Enquadramento legislativo para a eficiência energética em Portugal.....	11
2.1.2 Certificação ambiental e energética .....	12
2.2 Edifícios comerciais e de retalho .....	13
2.3 Estudo sustentável aplicado ao envelope de edifícios de retalho não alimentar .....	14
2.4 Modelação através da metodologia BIM na otimização do desempenho energético de edifícios.....	19
3. Caso de estudo e avaliação do desempenho existente .....	24
3.1 Caso de Estudo.....	24
3.2 Elaboração do modelo 3D em <i>Autodesk Revit</i> .....	27
3.3 Simulação energética através de <i>Plug-in Insight 360º</i> .....	30
3.4 Validação do modelo face às faturas energéticas do edifício.....	32
4. Proposta de soluções energéticas da envolvente.....	33
5. Análise de resultados .....	37
5.1 Apresentação dos resultados das simulações .....	37
5.2 Comparação de resultados .....	46
5.3 Cálculo de período de retorno de investimento .....	55
5.4 Discussão de resultados e limitações .....	63
6. Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	67
Referências Bibliográficas .....	69
Anexos.....	a
Anexo 1 – Pré- certificado energético .....	b
Anexo 2 - Faturas energéticas de 2018 para validação do modelo BIM do caso de estudo.....	j
Anexo 3- Parcelas de custos calculados para a obtenção do custo de investimento de cada solução simulada .....	m
Anexo 4- Cash-Flow atualizado para o ciclo de vida de 15 anos - Simulações de <i>Paredes e Coberturas</i> .....	o



# Índice de Figuras

Figura 1 – O futuro da energia mundial, adaptado de Colégio Qi (2015) .....	1
Figura 2 - Elementos para aumentar a eficiência energética de edifícios, adaptado de ASHRAE, Department of Energy .....	4
Figura 3 - Fases da metodologia aplicada .....	7
Figura 4 - Evolução dos regulamentos e diretivas energéticas, adaptado de Vaquero (2020) .....	11
Figura 5 - Consumo energético do comércio por grosso ou retalho ao longo dos anos, adaptado de PORDATA (2019).....	13
Figura 6 - Coeficiente transmissão térmica e resistência térmica nos materiais, adaptado de Archdaily Brasil (2018) .....	16
Figura 7 - Soluções mais utilizadas nos envelopes de edifícios de retalho para ano 2014, adaptado de Mendes Amaral (2014) .....	17
Figura 8 - Cool roofs, uma solução eficiente para coberturas, adaptado de Berkeley Lab (2011).....	18
Figura 9 - Abordagem multidimensional BIM, adaptado de Najjar et al. (2019) .....	19
Figura 10 - Exemplo de algumas janelas de análise e benchmark comparativo do Plug-in Insight 360° , adaptado de Plug-in Insight 360° Autodesk (2021).....	22
Figura 11 - Localização do caso de estudo.....	24
Figura 12 - Planta de implantação e planta de cobertura do Leroy Merlin de Loulé .....	24
Figura 13 - Fotografia do caso de estudo captada in loco por Arq <sup>a</sup> Ana Ferreira.....	25
Figura 14 - Fotografia do piso de loja e mezanino captada in loco por Arq <sup>a</sup> Ana Ferreira .....	25
Figura 15 - Cobertura do caso de estudo captada in loco por Arq <sup>a</sup> Ana Ferreira .....	26
Figura 16 – Declinação de 23° entre norte verdadeiro e norte de projeto - LM Loulé .....	27
Figura 17 - Plantas da envolvente e caso de estudo LM Loulé inseridas no Revit .....	28
Figura 18 - Elevação dos pisos do modelo 3D Loulé.....	28
Figura 19 - Modelo 3D Loulé com fachada sudeste e alçado sudoeste .....	29
Figura 20 - Modelo 3D Loulé com fachada sudeste e alçado nordeste.....	29
Figura 21 - Criação do modelo energético LM Loulé .....	30
Figura 22 - Resultado da simulação do modelo energético BIM .....	31
Figura 23 - Definições de unidades e taxas de utilização utilizadas no Plug-in Insight 360° .....	31
Figura 24 - Resultados das Simulações de Paredes .....	50
Figura 25 - Resultados das Simulações de Coberturas.....	51
Figura 26 - Gráficos globais de soluções de Paredes e Coberturas .....	53

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Elementos do envelope do LM Loulé (caso de estudo).....	33
Tabela 2 - Propostas de soluções alternativas para otimizar consumos energéticos do LM Loulé .....	34
Tabela 3 - Resultados BIM Paredes Plug-in Insight 360º .....	38
Tabela 4 - Resultados BIM Coberturas Plug-in Insight 360º.....	40
Tabela 5 - Resultados BIM Envidraçados Plug-in Insight 360º.....	42
Tabela 6 - Soluções adicionais de estudo do elemento Envidraçados.....	43
Tabela 7 - Materiais constituintes do envelope do “modelo 4+12” .....	44
Tabela 8 - Resultados consumos energéticos e custos de energia anuais de um novo modelo base	44
Tabela 9 - Resultados do estudo adicional de Envidraçados .....	45
Tabela 10 - Resultados de Paredes em kWh/ano e €/ano .....	47
Tabela 11 - Resultados de Coberturas em kWh/ano e €/ano.....	48
Tabela 12 - Variação de custo de energia entre 0,07 a 0,09 €/kWh, de acordo com a solução de envelope simulada.....	55
Tabela 13 - Custos de investimento e Custos das soluções alternativas obtidas com o Revit e Plug-in Insight 360º .....	56
Tabela 14 - Resultados obtidos para I <sup>9</sup> e Poupanças .....	59
Tabela 15 - Soluções economicamente viáveis com menor (1) e maior (5) PR.....	60
Tabela 16 - Período de retorno de investimento sem valores atualizados das soluções .....	61
Tabela 17 - Período de retorno de investimento com atualização das soluções.....	62

## Simbologia e abreviaturas

ADENE – Agência para a energia

ASHRAE Standard 90.1 – *Energy Standard for Buildings Except Low - Rise Residential Buildings*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BEM – *Building Energy Model*

BIM – *Building Information Modeling*

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CAD – *Computer-Aided Design*

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

EPBD – Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios

EUI – Intensidade de Uso de Energia

IC – Índice de Carbono

INE – Instituto Nacional de Estatística

LCA – Análise do Ciclo de Vida

LCC – Custos de Ciclo de Vida

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

LM Loulé – *Leroy Merlin Loulé*

ONU – Organização das Nações Unidas

*Payback period* – Período de Retorno de Investimento

PP – *Payback Period*

PUR – Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinilo

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, atualmente REH

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios se Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios se Habitação

*Revit – Autodesk Revit*

Rse – Resistência Térmica da Superfície Exterior

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

Rsi – Resistência Térmica da Superfície Interior

Rt – Resistência Térmica

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

U - Coeficiente transmissão térmica Térmica

UTM – *Universal Transverse Mercator*

VAL – Valor Atualizado Líquido

XPS – Poliestireno Extrudido

$\lambda$  – Condutividade Térmica



# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento

A ação do Homem sobre o meio ambiente tem vindo a afetar visivelmente o equilíbrio do planeta. Nos últimos anos, verificou-se uma crescente preocupação com os problemas ambientais consequentes da exploração exacerbada de recursos naturais. Os referidos problemas ambientais têm implicações negativas nos planos da economia, saúde pública e nos diferentes ecossistemas. Atendendo a esta realidade, os líderes mundiais têm desenvolvido políticas para limitar os consumos de recursos naturais finitos e para promover o desenvolvimento sustentável ('Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia', 2014).

O desenvolvimento sustentável pode definir-se como o desenvolvimento que permite suprir as necessidades do presente sem comprometer as capacidades das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (WWF, 2016). Apenas conjugando um conjunto de medidas económicas, sociais e ambientais se consegue atingir um desenvolvimento sustentável (Pinheiro, 2019).

A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que a população mundial seja de 8,2 mil milhões de pessoas em 2025 e de 9,6 mil milhões em 2050, ou seja, 300 milhões a mais que o estimado em 2010 (ArchDaily, 2013). Atendendo ao rápido crescimento populacional e às respetivas consequências no que respeita à procura de recursos naturais disponíveis, é imperativo seguir um caminho sustentável.

A Figura 1 ilustra o crescimento tendencial no consumo de recursos nos próximos anos, destacando a Ásia com o maior crescimento. Os números ilustrados na figura demonstram a importância de se abordar a problemática energética na atualidade.

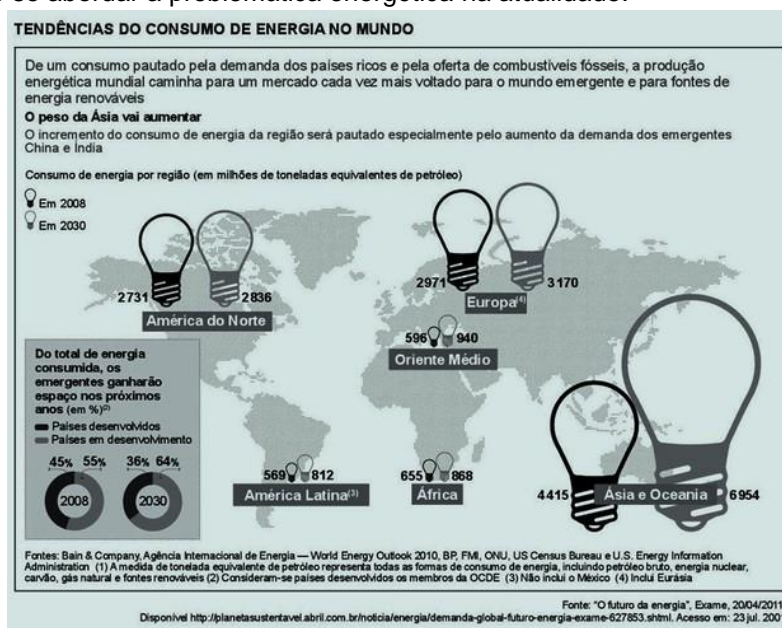


Figura 1 – O futuro da energia mundial, adaptado de Colégio Qi (2015)

Observa-se que alguns países tendem a escolher energias renováveis ao invés de combustíveis fósseis para a produção de energia. É importante salientar que a sustentabilidade implica medidas simultâneas que promovam a eficiência energética e que privilegiem o consumo de energias renováveis (Abreu, 2019).

No que respeita aos edifícios, verifica-se que estes, essencialmente através do consumo energético, emitem gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e representam 40% do consumo total de energia elétrica mundial. Atualmente, a procura e a construção de edifícios tem vindo a aumentar, o que conseqüentemente origina, também, um aumento do consumo energético (da Silva and de Almeida, 2010).

Face à realidade das alterações climáticas, surgem o acordo de Paris e a Diretiva *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) cujo propósito é diminuir os consumos energéticos associados aos edifícios através da adoção de medidas que promovam a eficiência energética dos mesmos.

A ONU, em conjunto com alguns países, tem também vindo a desenvolver regulamentação<sup>1</sup> e recomendações que potenciam a eficiência energética. Do conjunto de medidas recomendadas, destaca-se a utilização de materiais sustentáveis que promovam a eficiência energética na construção de edifícios (Spinelli, Cambeiro and Konrad, 2017). A diretiva EPBD apoia estas medidas (European Commission, 2021).

A EPBD tem como objetivo a redução de emissões de gases de efeito de estufa na União Europeia, o aumento da eficiência energética até 2050 e enfatiza o uso de energia limpa (DGEG, 2021).

Um exemplo de sucesso de eficiência energética no edificado é o “*zero energy buildings*” (European Commission, 2021). Estes edifícios cumprem as normas dos países onde são construídos e caracterizam-se por consumos de energia aproximadamente nulos (Andrade, 2012).

Presentemente, é possível distinguir os edifícios consoante a sua utilização. Verifica-se que os edifícios têm características diferentes consoante o seu uso, o que influencia os seus consumos energéticos. Esta dissertação incide sobre os edifícios de retalho, responsáveis por cerca de 9% do consumo energético dos edifícios em Portugal (Ferreira *et al.*, 2018).

Os referidos edifícios de retalho consomem e emitem quantidades avultadas de energia e de emissões dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente, respetivamente. Os casos mais favoráveis, no retalho alimentar, correspondem a edifícios cujos consumos energéticos e a emissão de dióxido de carbono são de 346 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano e 115 kgCO<sub>2</sub> eq/ m<sup>2</sup>/ ano, correspondentemente,

---

<sup>1</sup> No separador 2.1.1, a regulamentação será tratada em maior detalhe.

para o retalho alimentar. No que respeita ao retalho não alimentar, os consumos energéticos são, em média, de 146 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano e as emissões de dióxido de carbono de 70 kgCO<sub>2</sub>eq / m<sup>2</sup>/ ano. (Ferreira et al., 2020).

Atendendo ao exposto, existe a necessidade de criar políticas, estratégias e soluções de construção que permitam melhorar a eficiência energética dos edifícios de retalho. Os retalhistas estão a alinhar progressivamente as suas metas de energia com as do Acordo de Paris. Com a futura regulamentação sobre as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), os retalhistas podem beneficiar de negócios com oportunidades de baixo índice de carbono (IC) e de incentivos financeiros para acelerar os investimentos de transição de baixo IC (Ferreira et al., 2019).

A melhoria do desempenho energético é um desafio multidisciplinar, ou seja, engloba todas as áreas do edifício. As soluções alternativas para baixar consumos podem incidir nos elementos construtivos, nos sistemas de AVAC, nos sistemas elétricos, etc. Portanto, são medidas que têm de ser analisadas e coordenadas pelas áreas de arquitetura, engenharia civil, mecânica, eletrónica e ambiente (ou seja, pelas especialidades). É importante notar que as medidas a implementar, com o objetivo de atingir uma melhor eficiência energética, dependem da fase em que o edifício se encontra.

No caso de novas construções, o processo é mais simples, na medida em que podem ser tomadas opções, coordenadas com as diferentes especialidades, durante a fase de projeto, permitindo assim obter melhores resultados durante a fase de utilização do edifício.

Pelo contrário, nos edifícios existentes e em fase de utilização, a implementação de soluções alternativas que permitam melhorar o desempenho energético é mais complexa. É importante salientar que as soluções alternativas devem ser economicamente viáveis (Ferreira et al., 2019).

Para alcançar melhores soluções de desempenho energético, em edifícios novos ou existentes, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) tem sido crucial. Esta metodologia tem sido utilizada para investigação e destaca-se como um novo meio de prever, gerir e monitorizar os impactos ambientais da construção e desenvolvimento do projeto por meio da tecnologia modo protótipo / visualização virtual (Wong & Zhou, 2015). Adicionalmente, concentra-se no uso de Modelagem de Informações de Construção (BIM-*Autodesk Revit*), ferramenta de classificação de energia (FirstRate5) e avaliação do ciclo de vida habilitado para BIM (LCA-*Tally*) para quantificar, comparar e melhorar as opções de projeto de construção para reduzir a pegada de carbono e consumos de energia em residências (Tushar et al., 2021).

O grande desafio das ferramentas que trabalham segundo a metodologia BIM tem sido o da interoperabilidade, nomeadamente o da transferência de informações de ferramentas BIM para softwares de simulação de energia (Pezeshki et al., 2019). Na literatura e para a gestão e auditoria em lojas comerciais e retalho, a integração de BIM foi revista e analisada e criou formas de garantir fluxo de informação sobre a energia (Long et al., 2021).



Como referido todas as características do edifício têm influência nos consumos energéticos, contudo o seu envelope (onde se incluem paredes, vãos envidraçados e cobertura) é responsável por aproximadamente 25% do consumo total de energia num edifício, o que inclui também toda a energia incorporada nos materiais constituintes, a energia gasta no transporte e durante a fase de construção (U.S. Department of Energy, 2017). Como tal, a escolha ponderada dos materiais constituintes do envelope do edifício contribui para uma melhoria do desempenho energético (Spinelli, Cambeiro and Konrad, 2017). A Figura 2 mostra quais os elementos preponderantes nos consumos energéticos do edifício.

A eficiência energética do envelope do edifício pode ser conseguida através da aplicação de diversas medidas, entre as quais se destacam a utilização de materiais com resistência térmica elevada nas fachadas, a colocação de barreiras pára-vapor, a selagem conveniente de portas e janelas, e o controlo do fluxo de ar (Energy Services Fundamentals and Financing, 2021).

Uma abordagem combinada de eficiência energética e baixa emissão de CO<sub>2</sub> no local ou cogeração é sugerida como uma estratégia de sucesso para alcançar melhor desempenho de carbono (Ferreira et al., 2018). A construção verde e a certificação dos edifícios também podem ajudar nessa questão, pois suportam construção e operação de edifícios mais sustentáveis e eficientes, considerando o ciclo de vida do edifício (Ferreira et al., 2018).

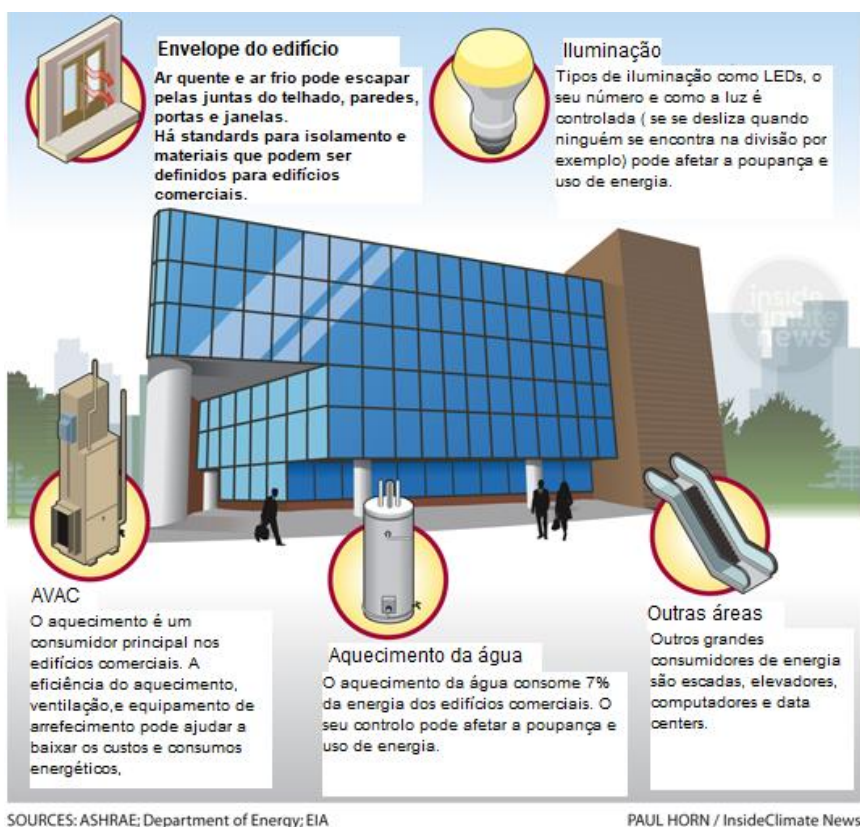


Figura 2 - Elementos para aumentar a eficiência energética de edifícios, adaptado de ASHRAE, Department of Energy

O desafio que se coloca e o problema que se pretende dar resposta é o de avaliar para edifícios de retalho existentes (e novos) que potenciais soluções para o envelope podem ser recomendadas, não do ponto de vista estratégico (já abordado por Ferreira et al., 2019) mas tendo em consideração a simulação energética sobre um caso de estudo específico.

## 1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é o de analisar potenciais soluções sustentáveis de elevado desempenho para o envelope de uma superfície comercial em Portugal (envolvendo várias alternativas construtivas). O caso de estudo escolhido para esta análise foi o edifício de retalho *Leroy Merlin* de Loulé. Para a realização desta dissertação foram disponibilizadas as plantas de arquitetura e as faturas energéticas.

Esta análise irá recorrer à modelação em software de metodologia BIM, que permite considerar as características dos materiais constituintes do envelope do edifício para obter resultados relativos aos consumos energéticos. O programa utilizado para modelar a superfície comercial foi o *Autodesk Revit*. Para a obtenção dos consumos energéticos do edifício, em função dos materiais constituintes do envelope, foi utilizada a ferramenta *Plug-in insight 360°*.

## 1.3 Abordagem metodológica

A presente dissertação pretende avaliar o impacto dos materiais constituintes do envelope do edifício nos consumos energéticos do mesmo. Com este propósito será analisado o edifício de retalho existente *Leroy Merlin* de Loulé.

A análise é constituída por duas partes distintas. Numa primeira instância pretende-se definir o modelo de referência que corresponde ao desempenho energético atual do edifício existente, atendendo aos materiais que constituem o seu envelope. Depois, foram consideradas soluções construtivas alternativas, em que cada solução alternativa simula a substituição de um elemento construtivo do envelope do edifício existente, mantendo os restantes. Assim, é possível aferir quais os materiais do envelope do edifício que permitem melhorar a eficiência energética.

Como referido nos Objetivos, esta análise recorreu a *software* BIM que permitiu estimar os consumos energéticos e custos anuais de energia com base nos modelos energéticos desenvolvidos. A metodologia adotada centrou-se nas oito fases seguintes:

Fase 1 – Definição dos objetivos principais do estudo, escolha do caso de estudo e das ferramentas para obtenção de modelos e resultados para análise.

Fase 2 - Revisão bibliográfica incidindo no desenvolvimento sustentável de edifícios comerciais e de retalho e da sua eficiência energética. Iniciação à modelação BIM e a sua aplicabilidade no campo da engenharia civil, eficiência energética e importância do envelope dos edifícios.

Fase 3 - Análise dos materiais a utilizar no envelope do edifício por forma a melhorar a sua eficiência energética, numa parceria com o grupo ADEO em Portugal. Criação do modelo de referência da loja *Leroy Merlin* de Loulé com recurso a *Autodesk Revit*.

Fase 4 – Validação do modelo recorrendo às ferramentas *Autodesk Revit e Plug-in Insight 360º*. O modelo de referência do *Leroy Merlin* de Loulé foi considerado válido pois os resultados da simulação obtidos para o consumo energético anual coincidem com os registados nas faturas de energia anuais (2018) da loja.

Fase 5 – Análise de soluções alternativas para o envelope do edifício. A escolha das soluções construtivas alternativas foi elaborada com base noutros certificados energéticos das lojas ADEO em Portugal (cerca de 40), tendo-se escolhido as soluções mais frequentes para a comparação efetuada na presente dissertação.

Fase 6 – Simulação de dezoito soluções construtivas diferentes para paredes, coberturas e envidraçados, com fim de se obter os respetivos consumos energéticos e custos de energia anuais. As simulações referentes a Paredes, Coberturas e Envidraçados diferem da Simulação LM Loulé, representativa do edifício existente, apenas num elemento constituinte do envelope. Assim, é possível avaliar o impacto energético das soluções alternativas por comparação com a Simulação LM Loulé.

Fase 7 - Análise de resultados e identificação das melhores soluções, ou seja, as que apresentam consumos e custos de energia anuais inferiores aos da simulação base LM Loulé, correspondente ao edifício existente.

Fase 8 - Análise económica de cada solução. Foram avaliados os custos construtivos de cada solução alternativa e calculados alguns indicadores económicos, nomeadamente o período de retorno de investimento (PR), o Valor Atualizado Líquido (VAL) e Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).

A Figura 3 representa todas as fases envolvidas do presente estudo.

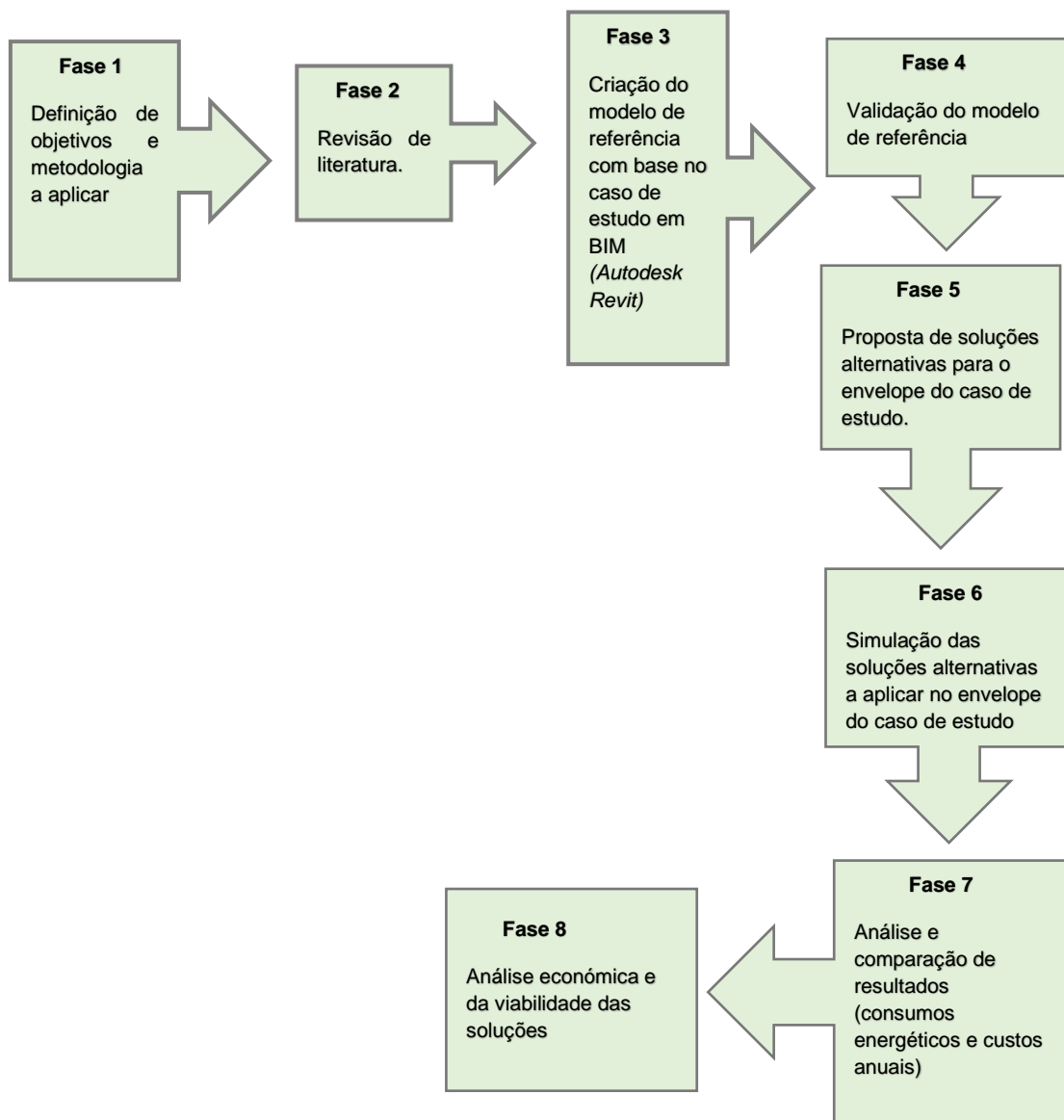


Figura 3 - Fases da metodologia aplicada

## 1.4 Organização da dissertação

A dissertação é composta por 6 Capítulos e Anexos.

O Capítulo 1 corresponde à introdução onde se incluem os objetivos e as principais temáticas abordadas nesta dissertação.

O Capítulo 2 corresponde à avaliação da sustentabilidade de edifícios comerciais, nomeadamente os da categoria de retalho. Neste capítulo apresenta-se, também, a modelação BIM como ferramenta de análise do desempenho energético. O *software Autodesk Revit* e o *Plug-in Insight 360º* constituem as principais ferramentas utilizadas na análise do caso de estudo e na obtenção dos resultados apresentados na dissertação.

O Capítulo 3 apresenta o caso de estudo – *Leroy Merlin* de Loulé - e descreve a metodologia utilizada na elaboração do modelo de referência (BIM).

O Capítulo 4 apresenta as soluções alternativas a simular para o envelope do caso de estudo com o objetivo de reduzir consumos energéticos. As soluções simuladas são correntes dentro dos edifícios de retalho, e foram escolhidas nos certificados energéticos como sendo as mais frequentes de entre as 40 lojas que o grupo ADEO detém em Portugal.

O Capítulo 5 corresponde à análise de resultados obtidos para as simulações das soluções alternativas propostas para o envelope do caso de estudo.

Por último, no Capítulo 6 são apresentadas considerações finais e as propostas de desenvolvimento para o futuro.

Os Anexos apresentam informações relevantes e que contribuiram para o estudo do caso de estudo da presente dissertação (Anexo 1 – Pré - Certificado Energético, Anexo 2 - Faturas energéticas de 2018 para validação do modelo BIM do caso de estudo, Anexo 3 - Parcelas de custos calculados para a obtenção do custo de investimento de cada solução simulada e Anexo 4 - Cash-Flow atualizado para o ciclo de vida de 15 anos - Simulações de Paredes e Coberturas).

## **2. Sustentabilidade, edifícios comerciais e modelação através de ferramenta BIM**

### **2.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável**

Atualmente, observa-se uma diminuição da quantidade de recursos naturais devido à exploração do Homem. Verifica-se, também, que esta exploração desequilibrada tem consequências nocivas no planeta que se manifestam através das alterações climáticas. Os impactos ambientais devem-se a vários fatores, destacando-se as elevadas emissões de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito de estufa ('Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia', 2014).

O desenvolvimento sustentável aplica-se a todos os sectores da sociedade. O que significa que as medidas a adotar para alcançar um planeta sustentável compreendem várias áreas tais como: agricultura, indústria, indústria alimentar, construção e todo o sector do edificado, sector da saúde e transportes. Face ao exposto, um dos maiores desafios que se apresenta neste século é a adoção, por parte das sociedades, de medidas sustentáveis no que respeita aos consumos de bens finitos (Loureiro et al., 2016).

Com o objetivo de responder ao maior desafio do século foram surgindo movimentos com o objetivo comum de incentivar a adoção de medidas que permitam diminuir o impacto do Homem no planeta. A primeira conferência organizada pela ONU sobre o "movimento sustentável" teve lugar em Estocolmo em 1972. Em resultado desta conferência desenvolveram-se medidas sustentáveis atendendo às necessidades do presente, mas sem comprometer as gerações futuras (Fischer Nunes Kita, 2018).

A segunda conferência, organizada pela ONU, realizou-se no Rio de Janeiro em 1992 e culminou com a criação da Agenda 21. A referida agenda consiste num conjunto de metas que têm como principal objetivo mitigar as consequências da exploração dos recursos e emissão de gases causadores do efeito de estufa no ambiente. Posteriormente foram realizadas reavaliações e revisão da agenda em novas conferências (Fischer Nunes Kita, 2018).

Em 1997 foi formalizado um compromisso entre vários países, com o objetivo de reduzir a emissão dos referidos gases, designado por Protocolo de Quioto. Este protocolo internacional entrou em vigor a 16 de fevereiro de 2005. É importante notar que o Protocolo de Quioto não contou com a participação dos Estados Unidos da América, China, Índia e Brasil, responsáveis pela emissão de maiores quantidades de gases causadores do efeito de estufa (Oliveira, 2020).

Em 2015 é estabelecida uma nova agenda, designada "Transformando Nosso Mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", e é assinado o Acordo de Paris.

Na agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável incluem-se 17 objetivos e 169 metas que assentam nos planos económico, social e ambiental (Fischer Nunes Kita, 2018).

O Acordo de Paris, sucessor do Protocolo de Quioto, foi assinado por um conjunto de países que pretendem conter o aumento da temperatura na Terra. O compromisso consiste em impedir que o aumento da temperatura média global seja inferior a 2°C. Posteriormente, pretende-se que gradualmente até 2100, o referido aumento de temperatura seja inferior a 1,5°C (Bissani & Pereira, 2019).

Atendendo ao Acordo de Paris verificou-se, em alguns países, a progressiva implementação de diretivas e sistemas de regulação nos consumos enérgicos, nomeadamente no que respeita aos edifícios.

Como referido no Capítulo 1.1, o funcionamento dos edifícios representa um elevado consumo energético, portanto a regulamentação obriga a adoção de medidas que promovam um consumo inteligente e consciente dos recursos e energia. Concretamente, neste estudo, interessa perceber como é possível reduzir os consumos enérgicos num edifício de retalho em fase operacional.

De notar que a sustentabilidade está associada, também, à durabilidade. Se o recurso ou atividade for explorado de forma sustentável a sua durabilidade será maior pois tem a capacidade de se preservar, mantendo a qualidade (Carvalho, 2019).

## 2.1.1 Enquadramento legislativo para a eficiência energética em Portugal

A *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) foi publicada em 2002 e alterada pela primeira vez em 2013 (European Commission, 2021). Em Portugal, a partir de 1990 observou-se uma preocupação crescente com o consumo energético. Das medidas tomadas para controlar os consumos energéticos destacam-se dois regulamentos designados por REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (antigo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)) e RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (antigo RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios). De notar que estes regulamentos são alvo de alterações ao longo do tempo (Vaquero, 2020).

O Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) foi implementado através do Decreto-Lei 78/2006. A Figura 4 apresenta a evolução nos regulamentos e diretivas energéticas em Portugal (Vaquero, 2020).

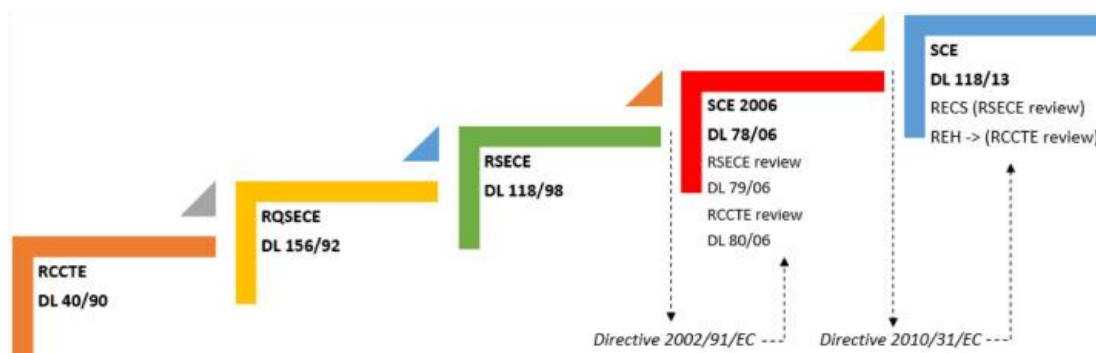


Figura 4 - Evolução dos regulamentos e diretivas energéticas, adaptado de Vaquero (2020)

A EPBD sofreu, novamente, alterações em 2015, 2018 e 2020 (European Commission, 2021). Esta alteração pretende efetuar uma renovação aos edifícios existentes até 2050, enfatizar o recurso a energia limpa e produzida localmente e às tecnologias inteligentes como meio complementar para baixar o consumo de energia do edificado.



### 2.1.2 Certificação ambiental e energética

Na sequência de todas as políticas desenvolvidas para mitigar os efeitos nocivos da atividade do Homem no Planeta, nomeadamente no que respeita à construção e funcionamento dos edifícios, surge a certificação energética e a certificação ambiental.

Desta forma, os países têm criado os seus próprios sistemas de certificação ambiental de edifícios (Sugahara, Freitas and Cruz, 2021). Em título de exemplo, em Portugal tem vindo a ser desenvolvido desde 2003 pelo Professor Doutor Manuel Pinheiro o sistema LiderA, acrónimo de Liderar pelo Ambiente (Pinheiro, 2010).

A certificação ambiental, posteriormente alargada para certificação para a sustentabilidade, pretende atribuir uma classificação ao edifício mediante as suas características. A primeira entidade a emitir este tipo de certificados foi o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), no Reino Unido. Outro exemplo bastante relevante e utilizado é o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), desenvolvido pelos Estados Unidos da América (Bragança and Mateus, 2019).

A certificação energética revela-se uma ferramenta importante para avaliar a eficiência energética de um edifício em fase de operação. A entidade que emite o certificado energético em Portugal é a Agência para a Energia (ADENE). A avaliação é realizada mediante a comparação do edifício a certificar (existente) com um edifício modelo. Neste processo, são indicadas medidas de melhoria que possibilitem a redução de consumos energéticos. Em Portugal a certificação energética é um requisito obrigatório desde 2013 (P&R - ADENE, 2019).

É importante referir que os certificados de todas as entidades referidas podem ser atribuídos a novas construções ou edifícios em fase operacional.

Para edifícios de retalho, como o caso de estudo, o certificado energético é crucial pois contém informações sobre os materiais constituintes do mesmo e valores de referência dos consumos energéticos. Mediante a informação presente nos certificados energéticos é possível melhorar o desempenho do edifício, diminuindo os consumos energéticos anuais e consequentemente os custos de investimento e custos de exploração que lhes está associado.

Este é objeto de estudo desta dissertação, a aplicação de medidas no envelope do caso de estudo com o objetivo de melhorar a eficiência energética do mesmo. O estudo é possível graças ao acesso ao pré-certificado energético do caso de estudo (Anexo 1).

## 2.2 Edifícios comerciais e de retalho

O comércio representa um papel fundamental na economia mundial e na criação de riqueza, emprego e relações sociais.

A dissertação foi elaborada durante o período de pandemia COVID-19. Este novo cenário de saúde pública gerou dois fenómenos importantes a nível da economia global e, consequentemente, no comércio internacional: um choque de oferta e um choque de demanda (Gómez, 2020). Devido à restrição de circulação livre houve diminuição nas transações comerciais, diminuição na produção, redução da jornada de trabalho e salários (Foladori y Delgado, 2020). Tal leva a começar a repensar a organização dos espaços, ponderando o suporte a compras online, sendo potencial a redução do espaço climatizado.

Os edifícios de retalho devido às suas características apresentam uma maior carga de carbono e intensidade energética (intensidade de uso de energia - EUI) quando comparados com edifícios de habitação, sendo responsáveis por 9% do consumo energético de todos os edifícios do panorama europeu (Ferreira et al., 2018). Observa-se que o intervalo da EUI, nos edifícios de retalho alimentar, pode ir até aos 500 a 1000 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano (Gálvez-Martos et al., 2018).

Simultaneamente, observa-se que os consumos energéticos dos edifícios de retalho correspondem ao triplo e ao quádruplo dos consumos energéticos dos edifícios de habitação e escritórios, correspondentemente. Estes valores demonstram a importância que os consumos energéticos representam para este tipo de edifícios (Ferreira et al., 2018).

Na Figura 5 demonstra-se a evolução do consumo energético no sector do retalho ao longo dos anos. É possível observar que este valor duplicou no período decorrido entre 1994 e 2019. A partir de 2008 observa-se uma mudança no panorama crescente de consumos que se relaciona com a implementação dos regulamentos e medidas com vista à redução de consumos energéticos e uso de energia limpa.

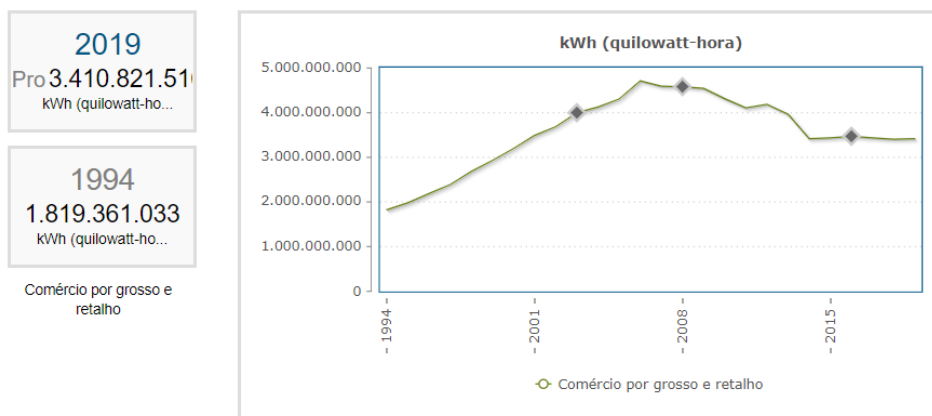


Figura 5 - Consumo energético do comércio por grosso ou retalho ao longo dos anos, adaptado de PORDATA (2019)

Face à previsão de aumento de área comercial como fonte geradora de receitas para as empresas, é importante melhorar a eficiência energética global do sector, bem como promover a produção de energia renovável, evitando o agravamento das alterações climáticas e cumprindo as metas do Acordo de Paris.

As lojas de retalho dividem-se segundo vários critérios, sendo a subdivisão mais relevante a alimentar e não alimentar.

A tipologia alimentar incluiu as categorias de hipermercados, supermercados, lojas de descontos, lojas de conveniência, mercearias de bairro, mercearias e lojas de bebidas. A tipologia não alimentar incluiu as categorias de *Home Improvement / Do-It-Yourself* (DIY) ou lojas de materiais de construção, drogarias e farmácias, lojas de departamento, centros comerciais, lojas de decoração e de móveis, lojas de eletrodomésticos, oficinas de automóveis, lojas de materiais de escritório e outras lojas especializadas.

No retalho não alimentar, a ausência de sistemas de refrigeração faz com que os consumos energéticos e IC sejam mais baixos do que no retalho alimentar (Ferreira *et al.*, 2018). O caso de estudo retratado nos Capítulos 3, 4 e 5 corresponde à loja *Leroy Merlin* de Loulé que se inclui no grupo de edifícios comerciais de retalho não alimentar. Os retalhistas tendem a investir primordialmente em soluções comprovadas e testadas em edifícios, com baixo período de retorno e que colhem o máximo benefício financeiro, pelo que a viabilidade financeira das soluções de envelope testadas será também analisada.

## **2.3 Estudo sustentável aplicado ao envelope de edifícios de retalho não alimentar**

O envelope do edifício, como referido no Capítulo 1, representa 25% do consumo total do edifício (U.S. Department of Energy, 2017), sendo possível otimizar os consumos energéticos num edifício através, entre outras, da melhoria do desempenho térmico do envelope.

Foi efetuada uma revisão de literatura para se analisar que estudos foram elaborados em relação ao envelope de edifícios e ao retalho. A maior parte dos estudos encontrados (sobre envelopes de edifícios) tem por base a análise do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment - LCA*) dos edifícios e custos de ciclo de vida (*Life Cycle Cost - LCC*) (Pučko, Maučec and Šuman, 2020). Alguns estudos abordam a alteração de materiais como solução de otimização de consumos e outros analisam sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), ventilação natural (como uma das possíveis medidas passivas para edifício de serviços) (Pinto, 2014), a localização e orientação do edifício (retalho), ou o dimensionamento e orientação de claraboias e de vãos e áreas envolventes do edifício potencialmente sujeita a perdas térmicas (van Ooteghem and Xu, 2012). Como medida de produção de energia verde *in loco*, foram também

analisados estudos de colocação de painéis fotovoltaicos no envelope do edifício de retalho (Andrade, 2012).

O objetivo deste trabalho pretende aplicar a modelação através da metodologia BIM a diferentes soluções alternativas para os materiais constituintes do envelope do caso de estudo e compará-las em termos de resultados em consumo de energia e respetivo custo de investimento e retorno financeiro.

Existem diversos materiais que podem constituir o envelope do edifício conferindo-lhe diferentes propriedades térmicas e, por conseguinte, diferentes resistências térmicas inerentes a esses materiais. Por exemplo, a utilização de materiais com elevada resistência térmica permite reduzir as perdas de energia pois funcionam como potentes isolantes térmicos (Nejeliski, Duarte and Ferreira, 2020).

Assim, a condutividade térmica é uma das propriedades dos materiais introduzidas no *software* utilizado na análise do caso de estudo. A informação relativa às propriedades térmicas dos materiais foi consultada nos certificados energéticos da loja caso de estudo e de outras lojas do grupo para as soluções alternativas, e embora alguns não referissem a condutividade térmica ( $\lambda$ ) dos mesmos, pelo menos todos referiam a sua resistência térmica ( $R_t$ ). Portanto foram calculados o coeficiente transmissão térmica, a resistência térmica e a condutividade térmica dos materiais a simular através das Equações (1), (2) e (3), respetivamente.

U - Coeficiente Transmissão Térmica ( $W/m^2 \cdot K$ )

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (1)$$

Onde:

$R_t$  - Resistência Térmica Total do elemento ( $m^2 \cdot K/W$ )

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

Onde:

$R_{si}$  diz respeito à Resistência Térmica Superficial Interior,  $R_{se}$  à Resistência Térmica Superficial Exterior (os dois segundo norma por zona climática) e  $R_1, R_2, R_3, R_n$  = Resistência Térmica de cada camada, que se obtém segundo:

$$R_t = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

Onde:

e diz respeito à espessura do material ( $m$ ) e  $\lambda$  à condutividade térmica do material ( $W/K \cdot m$ ).

Podemos constatar que a Transmissão Térmica é inversamente proporcional à Resistência Térmica (Figura 6). Quanto maior for a resistência térmica de um material mais difícil serão as transferências de calor (ArchDaily Brasil, 2018).

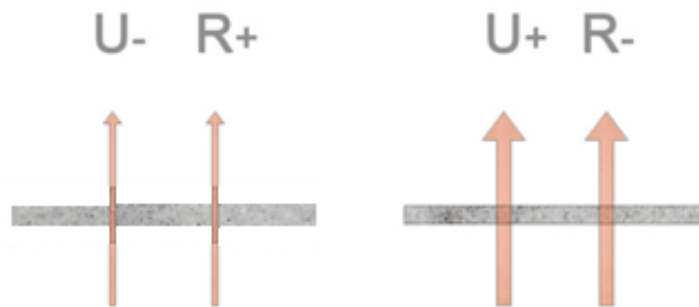


Figura 6 - Coeficiente transmissão térmica e resistência térmica nos materiais, adaptado de Archdaily Brasil (2018)

Os sistemas construtivos mais predominantes em lojas de retalho (dados relativamente a ano 2014) indicadas no estudo de Mendes Amaral (2014) são de construção leve em chapa metálica e sistema de isolamento térmico pelo exterior tipo *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS) sobre alvenaria simples de bloco de betão/ tijolo e painéis sandwich com chapa metálica nas coberturas. Estas soluções são apresentadas na Figura 7.

ZONA CLIMÁTICA	FACHADAS	ISOLAMENTO TÉRMICO RECOMENDADO
I1	Sistema de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS	XPS 5cm
	Sistema leve em chapa metálica tipo pavilhão	EPS 6cm
	Sistema tradicional de alvenaria dupla com caixa-de-ar	EPS 6cm
	COBERTURAS	ISOLAMENTO TÉRMICO RECOMENDADO
	Sistema leve em chapa metálica tipo sandwich	EPS 10cm
	Sistema de isolamento térmico sobre laje existente	EPS 8cm
ZONA CLIMÁTICA	FACHADAS	ISOLAMENTO TÉRMICO RECOMENDADO
I2	Sistema de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS	EPS 6cm
	Sistema leve em chapa metálica tipo pavilhão	EPS 6cm
	Sistema tradicional de alvenaria dupla com caixa-de-ar	EPS 6cm
	COBERTURAS	ISOLAMENTO TÉRMICO RECOMENDADO
	Sistema leve em chapa metálica tipo sandwich	EPS 10cm
	Sistema de isolamento térmico sobre laje existente	XPS 8cm
ZONA CLIMÁTICA	FACHADAS	ISOLAMENTO TÉRMICO RECOMENDADO
I3	Sistema de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS	EPS 6cm
	Sistema leve em chapa metálica tipo pavilhão	EPS 8cm
	Sistema tradicional de alvenaria dupla com caixa-de-ar	EPS 6cm
	COBERTURAS	ISOLAMENTO TÉRMICO RECOMENDADO
	Sistema leve em chapa metálica tipo sandwich	EPS 10cm
	Sistema de isolamento térmico sobre laje existente	EPS 10cm

2

Figura 7 - Soluções mais utilizadas nos envelopes de edifícios de retalho para ano 2014, adaptado de Mendes Amaral (2014)

Foram também encontrados vários estudos sobre a implementação de “cool roofs”. Estes consistem em coberturas com propriedades refletoras da radiação solar (Figura 8) e, como tal, reduzem o consumo energético. O edifício mantém a temperatura e recorre menos ao ar condicionado, reduzindo também as emissões de gases de efeito estufa devido ao uso mais baixo de energia e, por fim, melhoram o conforto humano (Seifhashem *et al.*, 2018).

<sup>2</sup> O país baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. I1, I2 e I3 correspondem às zonas climáticas definidas para inverno (Diário da República, 2013).

As coberturas tipicamente utilizadas em edifícios comerciais e industriais incluem-se nas seguintes categorias (Telhados Frios, 2014):

- Coberturas feitas a partir de materiais como o Policloreto de vinilo (PVC) branco;
- Coberturas revestidas com material refletor solar;
- Coberturas verdes, que utilizam plantas e substrato orgânico e que promovem o arrefecimento por evapotranspiração.

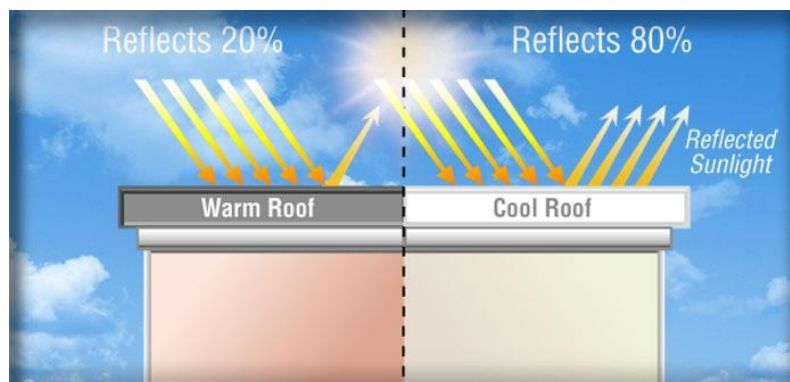


Figura 8 - *Cool roofs*, uma solução eficiente para coberturas, adaptado de Berkeley Lab (2011)

## 2.4 Modelação através da metodologia BIM na otimização do desempenho energético de edifícios

Os edifícios consomem uma importante quantidade de energia durante a sua fase operacional e são responsáveis pela emissão CO<sub>2</sub> para a atmosfera durante o seu ciclo de vida. Este consumo de energia e consequente emissão de CO<sub>2</sub> contribui para o “efeito de estufa” e é um dos fatores responsáveis pelas alterações climáticas. Para atenuar esta contribuição, é importante otimizar a EUI dos edifícios, ou seja, o consumo de energia em kWh por metro quadrado de área de venda por ano (Mahiwal, Bhoi and Bhatt, 2021).

Uma das soluções mais expeditas para modelar energeticamente espaços comerciais, e otimizar a EUI e custos tidos com a energia é através da modelação do edifício com recurso à metodologia BIM (Mahiwal, Bhoi and Bhatt, 2021), que possibilita fazer a análise de desempenho energético com várias soluções alternativas. A metodologia BIM considera a construção de um modelo 3D e na modelação inteligente que na sua geometria carrega informações que simulam ligações equivalentes entre o modelo digital e real (Vinicius Pereira Holanda and Lacroix, 2018).

O estudo e recurso a ferramentas de BIM na arquitetura e engenharia civil têm sido intensificados na última década, especialmente a partir de 2014 (Sampaio and Gomes, 2021), porém ainda há um grande “*gap in knowledge*” (vazio no conhecimento) na literatura no que diz respeito à adoção do BIM para estudo da fase operacional dos edifícios (Najjar *et al.*, 2019).

As soluções obtidas através de um software que trabalhe com a metodologia BIM permitem um projeto mais sustentável e permitem que os arquitetos e engenheiros visualizem, simulem e analisem o desempenho do edifício com mais precisão. Esta análise é ainda mais importante em fases iniciais de projeto (Kamel and Memari, 2019).

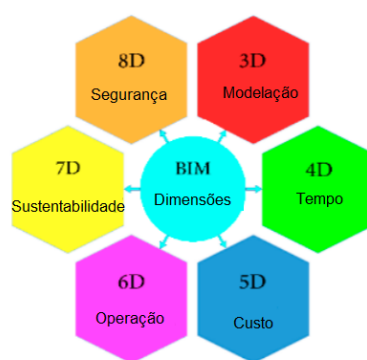


Figura 9 - Abordagem multidimensional BIM, adaptado de Najjar *et al.* (2019)

A abordagem BIM é multidimensional, como se pode ser através da Figura 9 (Najjar *et al.*, 2019).



Esta multidimensionalidade, que incorpora as dimensões Segurança, Sustentabilidade, Operação, Custo, Tempo, Modelação, indicadas na Figura 9, permite que o estudo do ciclo de vida do edifício seja mais preciso.

A base do trabalho na ferramenta BIM utilizada (*Revit*) passou em primeiro lugar por um desenho das plantas da loja em 2D em *software CAD (Computer-aided design)*, que serviu como base de dados (*database*) para o projeto BIM em 3D. Efetivamente, os softwares que trabalham com a metodologia BIM permitiram revolucionar o estudo e representação dos projetos de edifícios, passando a ser criados de duas para três dimensões (Vinicius Pereira Holanda and Lacroix, 2018).

Apesar de ser uma metodologia usada de forma mais intensiva nos últimos anos, o uso de softwares BIM em projeto permite a redução de erros de projeto, melhorias na qualidade de projeto e redução de custos de construção, nomeadamente pela facilidade de simulação de soluções alternativas e pela iteração de resultados em indicadores mensuráveis, como a EUI.

Através da análise dos materiais construtivos que compõem um modelo contruído segundo a metodologia BIM, os estudos apontam também para a possibilidade da redução do consumo energético e do aumento do desempenho energético do edifício durante a sua fase operacional, onde há maior consumo de energia. O uso de materiais mais sustentáveis, ou seja, na perspetiva em que permitem um menor consumo energético ao longo do ciclo de vida do edifício, é possível de aferir através desta metodologia (Najjar *et al.*, 2019).

A aplicação da metodologia BIM tem vantagens em aspetos relacionados com o desempenho do edifício, como a sua integridade estrutural, controlo de temperatura, ventilação, iluminação, acústica, consumo e distribuição de energia, entre outros. Apesar das vantagens da utilização da metodologia BIM, na revisão de literatura, e na prática, foram também encontradas limitações no seu uso. Os problemas mais frequentemente encontrados que geram resultados menos precisos relacionam-se com problemas de interoperabilidade entre o modelo construído em *Building Information Modeling (BIM)* e o *Building Energy Model (BEM)*. Ou seja, entre o modelo do edifício em si e a simulação das premissas que servem de base à simulação energética. A transição de informação entre as duas arquiteturas permite simular cenários que possibilitam decisões para o edifício mais energeticamente conscientes. No entanto, a integração entre BIM e BEM ainda é um domínio em estudo (Fernald *et al.*, 2018).

A literatura revela que apesar da metodologia BIM ser uma boa auxiliar nas decisões de projeto é importante que haja uma interpretação dos resultados obtidos por parte dos projetistas. Efetivamente, os problemas de interoperabilidade entre BIM e BEM podem ser menores se a experiência do utilizador for elevada (Samuel *et al.*, 2017).

## ***Autodesk Revit e Plug-in Insight 360° como ferramentas de modelação de desempenho energético***

A simulação dos consumos energéticos para as diferentes soluções construtivas de envelope do caso de estudo apresentado no Capítulo 3 foi feita com recurso ao software *Autodesk Revit*, que opera segundo a metodologia BIM e com recurso ao *Plug-in Insight 360°*, da *Autodesk*. O *Revit* em conjunto com o *plug-in* permite simular de forma expedita consumos energéticos para a melhoria da eficiência energética e redução de consumos, incluindo áreas passivas, como os materiais, a orientação solar, e as ativas, como o AVAC, a produção ou a iluminação.

### ***Autodesk Revit***

O *Autodesk Revit* foi um dos softwares BIM mais utilizados nos estudos encontrados no sector do edificado. O *Autodesk Revit* é um software BIM utilizado para projeto e modelação, efetuando a criação de modelos 3D de projetos (Vinicius Pereira Holanda and Lacroix, 2018).

Para além da modelação, através de programas adicionais (*plug-in*) podem considerar dados climáticos locais. O *Green Building Studio*, como servidor climático incorporado no *Revit*, permite o acesso de 1.6 milhões de estações meteorológicas, oferecendo resultados mais precisos nas simulações.

No modelo criado no *Revit* para simular o caso de estudo foram incluídos todos os elementos necessários para se criar um modelo semelhante à loja real.

O *Revit* agrupa os elementos do edifício por categorias e famílias (Fernald *et al.*, 2018). A categoria agrupa elementos com um conjunto de parâmetros de uso idêntico e representação gráfica idêntica e as famílias correspondem a classes de elementos que incorporam uma categoria (Samuel *et al.*, 2017). Por exemplo, uma parede de bloco de betão é uma categoria dentro da família das paredes. Depois da criação do modelo foram simuladas diferentes categorias dentro das famílias das paredes, coberturas e envidraçados, como elementos constituintes do envelope do edifício.

### ***Plug-in Insight 360°***

O *Plug-in Insight 360°* foi utilizado na análise energética do caso de estudo da presente dissertação. É a evolução do *Green Building Studio* e foi criado para integrar BIM e BEM na mesma plataforma. A plataforma em que este se incorpora é, neste caso, o *Autodesk Revit* (Fernald *et al.*, 2018).

O *Plug-in Insight 360º* converte modelos BIM em modelos BEM e simula os modelos BEM utilizando o software *EnergyPlus* e DOE-2. O acesso aos resultados da simulação é feito através de um portal web manipulável, fornecido através de DOE-2. Nesta plataforma online, é também possível extrair e o ficheiro *EnergyPlus* (extensão EPW) como opção para download (Butts, 2016).

### Vantagens

Através do portal online do *Plug-in Insight 360º* é possível o acesso a análises energéticas, através de opções pré-definidas, sem necessidade de se recorrer ao modelo ou programa *Autodesk Revit*. Este *plug-in* calcula o consumo energético do modelo conforme as características que lhe foram atribuídas no software *Revit*, e compara-as com opções pré-definidas existentes.

Os parâmetros da simulação do modelo são evidenciados por tópico em janelas na interface com o utilizador, que dizem respeito a soluções de painéis fotovoltaicos, orientação geográfica do modelo, sombreamento e orientação das janelas, soluções construtivas gerais usados na construção com base em determinadas características térmicas, ventilação, eficiência na iluminação, AVAC e horário de operação do edifício.

Em cada janela, o utilizador pode escolher a opção simulada no modelo base ou uma das opções pré-definidas. Escolhendo cada uma das várias opções, a EUI e o custo médio de energia são automaticamente alterados e atualizados nas janelas de *benchmark* dos resultados (Figura 10). Estas opções pré-definidas estão de acordo com o *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE Standard 90.1) e com a diretiva americana *Architecture 2030* (Kamel and Memari, 2019).

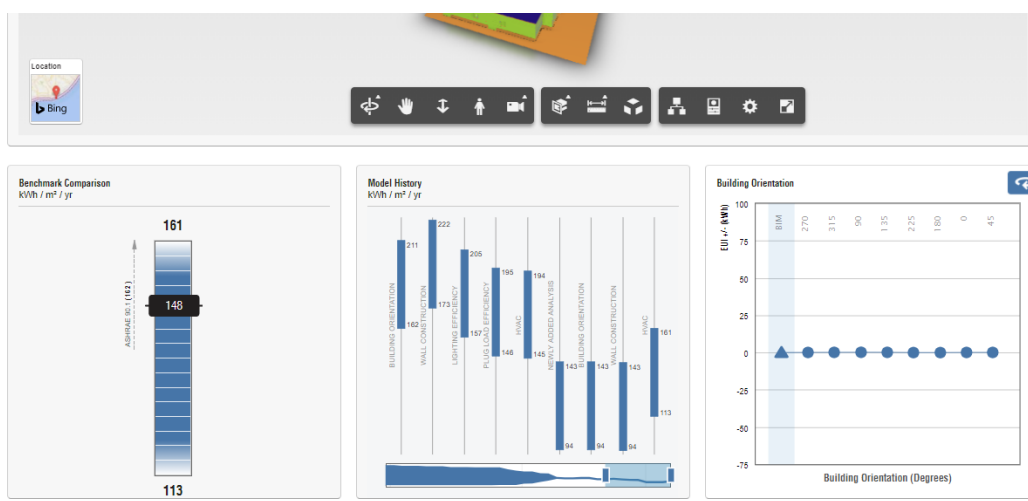


Figura 10 - Exemplo de algumas janelas de análise e *benchmark comparativo* do *Plug-in Insight 360º*, adaptado de *Plug-in Insight 360º* Autodesk (2021)

## Desvantagens

A principal desvantagem do *Plug-in Insight 360°* é a impossibilidade de comparar cenários alternativos nesta interface sem ser através das opções pré-definidas, que estão de acordo com as normas americanas. Assim, para se poder comparar soluções alternativas que não sejam as pré-definidas com recurso a esta ferramenta, tem de se simular um modelo em *Revit* diferente para cada uma dessas alternativas.

As mudanças feitas no modelo BIM não são atualizadas no modelo BEM previamente elaborado. Um novo modelo BEM necessita de ser gerado. A interface online não permite alterações no modelo BIM. Se o modelo apresentar inconsistências geométricas ou estiver incompleto, a simulação não será corrida pelo *Plug-in Insight 360°* (Fernald *et al.*, 2018).

Quando é necessária uma análise energética mais rigorosa é aconselhável a utilização de outro software de modelação energética, como por exemplo o *EnergyPlus*.

### 3. Caso de estudo e avaliação do desempenho existente

#### 3.1 Caso de Estudo

O caso de estudo desta dissertação é o edifício de retalho *Leroy Merlin* de Loulé. O edifício localiza-se em Caliços – Loteamento 1/ 2015, Lote 3, na freguesia de Almancil pertencente ao concelho de Loulé, como mostra a Figura 11.

A data de construção da loja é de 1 de março a dezembro de 2017, com abertura a 16 de dezembro de 2017.

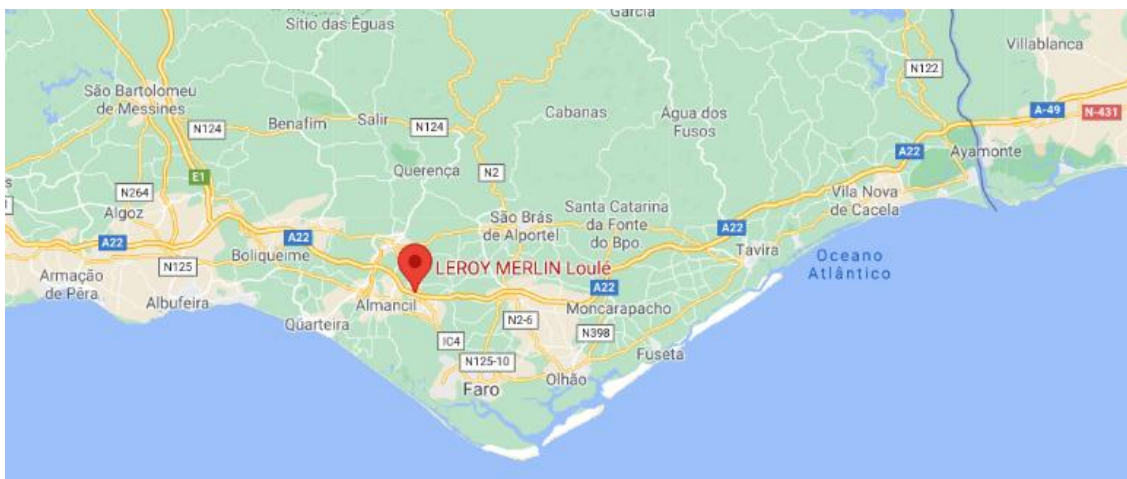


Figura 11 - Localização do caso de estudo

O *Leroy Merlin* de Loulé é constituído por dois pisos de estacionamento em cave, o piso de loja, o mezanino de apoio aos funcionários e uma cobertura transitável de acesso limitado com painéis fotovoltaicos e claraboias. O edifício de retalho apresenta uma área útil de pavimento de 16 473,90 m<sup>2</sup> e uma área de vendas de 8 799 m<sup>2</sup>.

A Figura 12 apresenta as plantas de implantação e de cobertura do *Leroy Merlin* de Loulé.

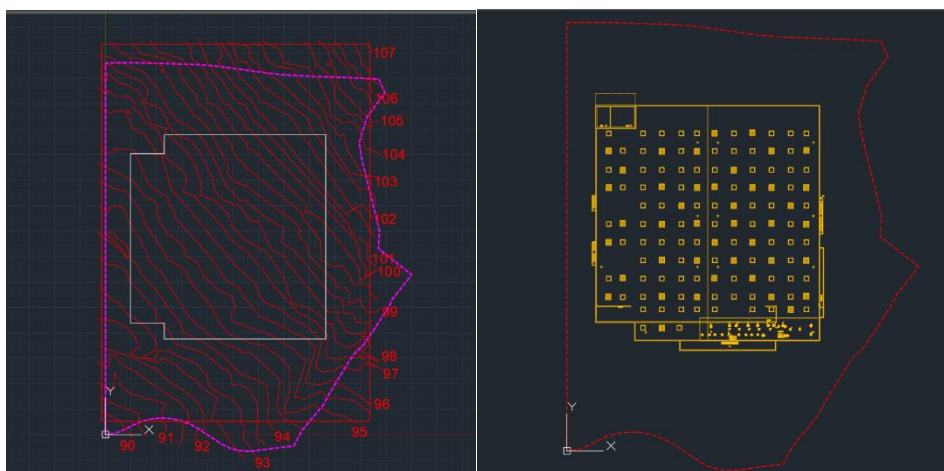


Figura 12 - Planta de implantação e planta de cobertura do *Leroy Merlin* de Loulé

A Figura 13 corresponde a uma fotografia captada a partir do exterior do *Leroy Merlin* de Loulé e permite observar o edifício e a sua envolvente. A Figura 14 revela o interior da loja e o piso do mezanino. A Figura 15 mostra uma fotografia do exterior, na cobertura, com os painéis fotovoltaicos e as claraboias.

É importante salientar que os painéis fotovoltaicos foram instalados apenas em outubro de 2018. A adoção desta solução permitiu diminuir os consumos energéticos do edifício em termos de energia contratada à rede.

A certificação energética do edifício de retalho *Leroy Merlin* Loulé é B<sup>-</sup> e pode ser consultada no Anexo 1.



Figura 13 - Fotografia do caso de estudo captada *in loco* por Arq<sup>a</sup> Ana Ferreira



Figura 14 - Fotografia do piso de loja e mezanino captada *in loco* por Arq<sup>a</sup> Ana Ferreira



Figura 15 - Cobertura do caso de estudo captada *in loco* por Arq<sup>a</sup> Ana Ferreira

Os pisos em cave funcionam como estacionamento e a entrada para os mesmos dá-se pelo piso -2, sendo este piso vazado pelo lado esquerdo. Os pisos de estacionamento -1 e -2 são ainda vazados por um poço de ventilação do lado direito. A fachada principal do edifício está orientada a sudeste.

Com o intuito de minimizar os impactos desta obra foi realizado um projeto de arquitetura paisagística, integrando o LM Loulé na sua envolvente. Este projeto permitiu uma valorização funcional e visual do espaço exterior.

Os dados relativos ao *Leroy Merlin* de Loulé foram cedidos pelo Engenheiro Edgar Malato, Responsável de Construção do Grupo ADEO em Portugal. As fotografias, captadas *in loco*, e exibidas na presente dissertação foram partilhadas pela Arquiteta Ana Ferreira.

A disponibilização das plantas do edifício, dos dados topográficos e do certificado energético foi indispensável para a elaboração do modelo em *Revit*, apresentado no separador 3.2. As plantas e os dados topográficos permitiram modelar o envelope do edifício com maior precisão. Finalmente, os dados do certificado energético possibilitaram a identificação dos materiais utilizados na construção e a sua replicação no modelo 3D.

A comparação dos consumos energéticos das várias soluções construtivas estudadas baseou-se no comportamento térmico dos materiais constituintes do envelope do edifício. Este estudo incidiu, essencialmente, nas propriedades térmicas destes materiais, nomeadamente da sua condutividade térmica, com base na qual foram simulados posteriormente os consumos energéticos para cada solução.

No Capítulo 5, apresenta-se um estudo comparativo entre os resultados das simulações das soluções alternativas, caracterizadas por propriedades térmicas diferentes.

### 3.2 Elaboração do modelo 3D em *Autodesk Revit*

Na criação do modelo 3D podem destacar-se duas fases que permitem replicar as condições da envolvente e dos elementos constituintes do caso de estudo.

A primeira fase consiste na transposição das plantas do caso de estudo e dados topográficos do terreno do *Autocad* para o *Revit*, permitindo criar as bases para a elaboração do projeto de arquitetura num modelo 3D. Para este fim, foi também necessário georreferenciar o modelo *Revit*.

O *Plug-in Insight 360°* da *Autodesk* usa estações meteorológicas que podem ser escolhidas dentro do programa *Revit*. Não foi possível selecionar uma estação meteorológica perto do caso de estudo pela sua inexistência na base de dados do *Revit* e, portanto, escolheu-se a estação meteorológica mais próxima disponível, ou seja, Lisboa. Foi definido, também, o norte do projeto e norte real recorrendo ao rumo e ao azimute (Vendramini, Roberta & Professores Convidados, 2018). A declinação do caso de estudo é positiva e igual a  $23^\circ$ , como mostra Figura 16.



Figura 16 – Declinação de  $23^\circ$  entre norte verdadeiro e norte de projeto - LM Loulé



A segunda fase consiste na execução do modelo propriamente dito em 3D, recorrendo aos dados topográficos e às plantas disponibilizadas (Figura 17).

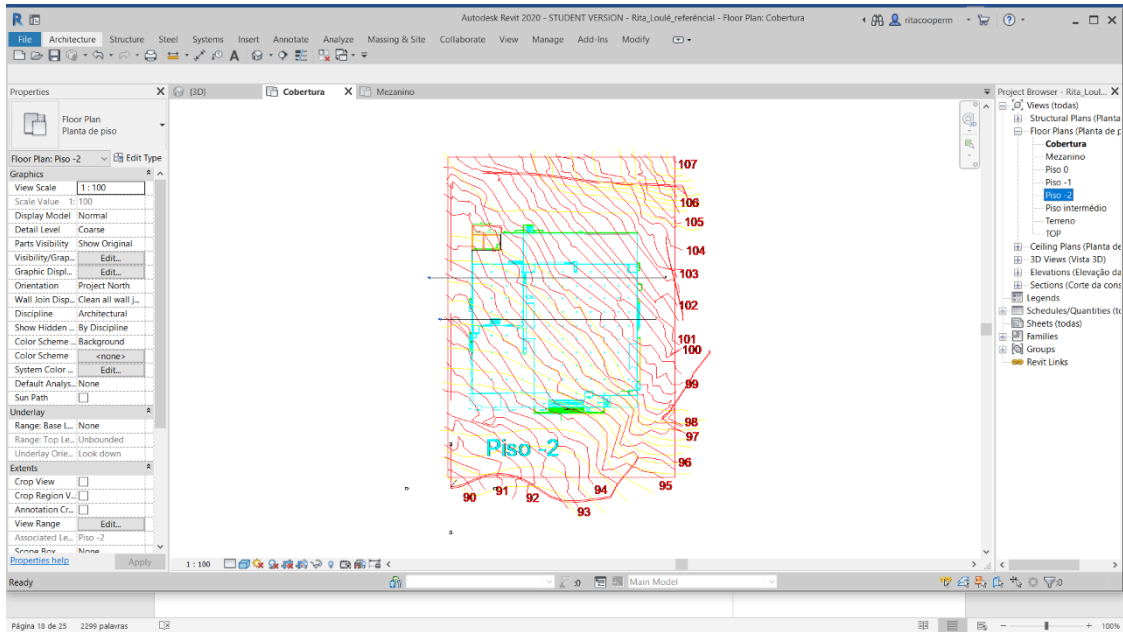


Figura 17 - Plantas da envolvente e caso de estudo LM Loulé inseridas no Revit

Para o modelo estar em conformidade com as plantas de alçados cedidas pelo Leroy Merlin, foi necessário colocar os níveis de elevação dos pisos apresentados na Figura 18.

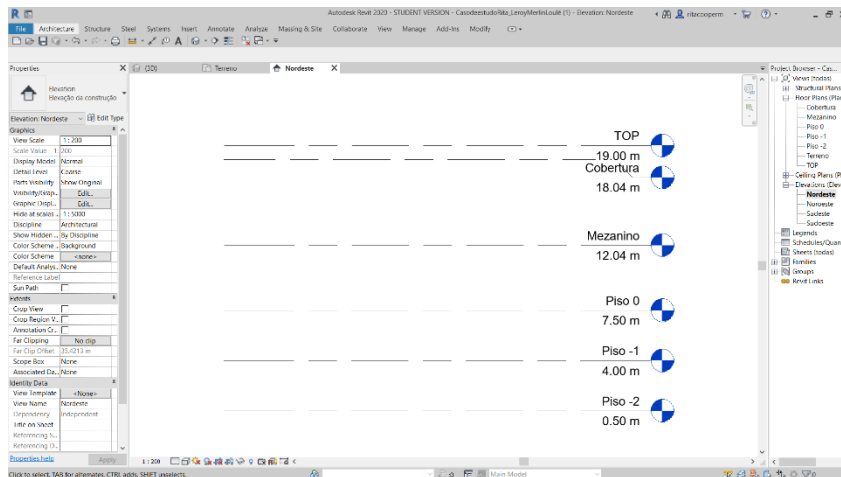


Figura 18 - Elevação dos pisos do modelo 3D Loulé

Na opção *Massing & Site* e em *Toposurface* foi possível modelar o terreno especificando as elevações das curvas de nível. A opção *Architecture* permitiu desenhar todos os elementos da arquitetura necessários para que o modelo 3D Loulé se aproximasse o mais possível do edifício real (Autodesk, 2015). A modelação das paredes exteriores, paredes interiores, lajes de piso e envidraçados foi feita com base na informação dos materiais de construção que constam do certificado energético da loja, disponível no Anexo 1.

O modelo 3D Loulé, designado por LM Loulé apresentado nas Figuras 19 e 20.

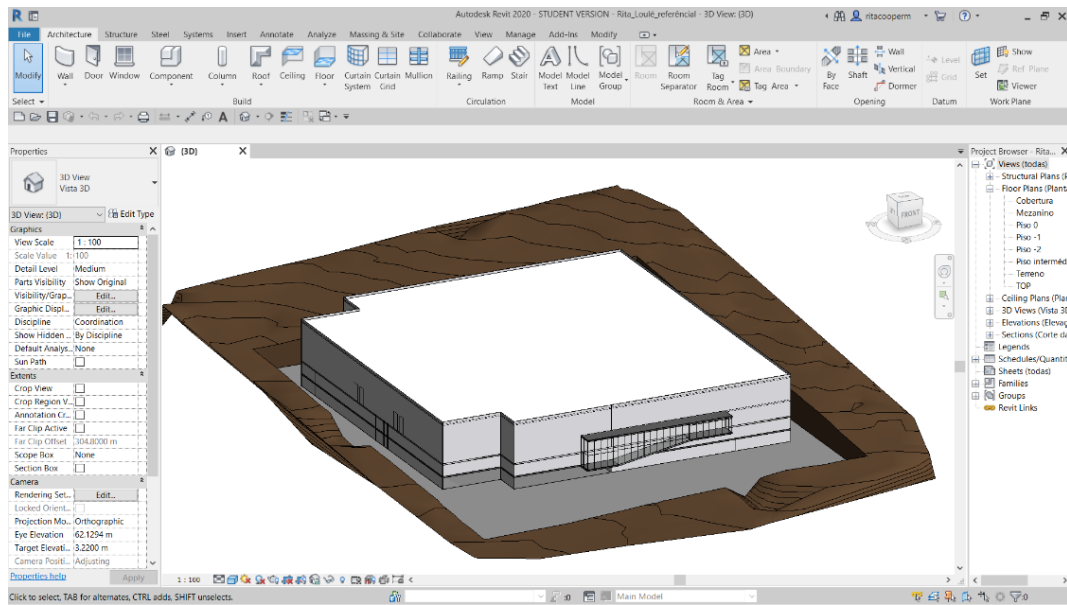


Figura 19 - Modelo 3D Loulé com fachada sudeste e alçado sudoeste

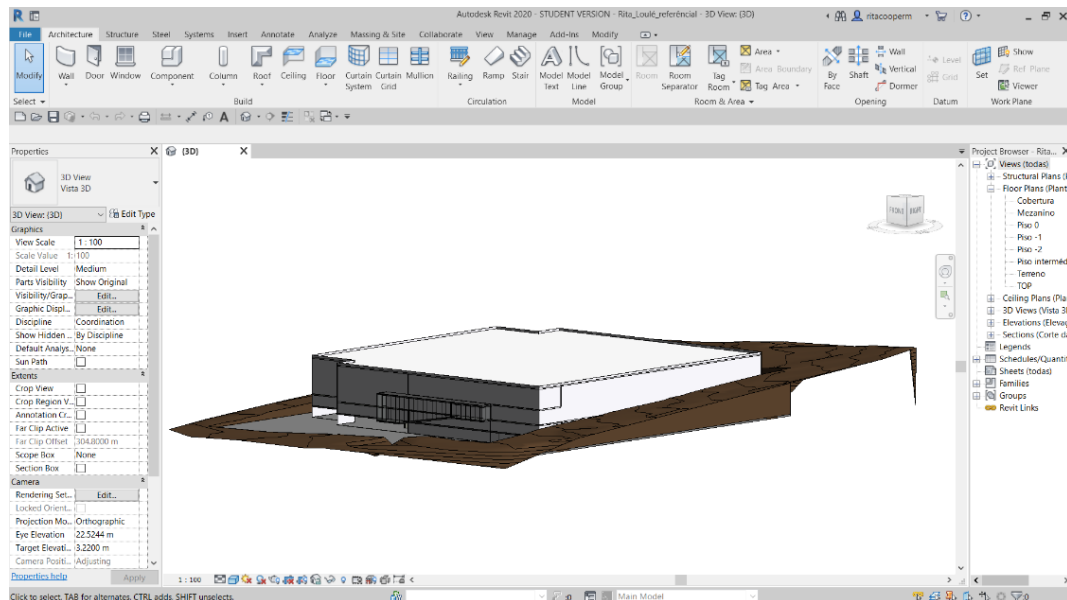


Figura 20 - Modelo 3D Loulé com fachada sudeste e alçado nordeste

### 3.3 Simulação energética através de *Plug-in Insight 360°*

O modelo LM Loulé foi obtido através do software *Autodesk Revit* e, para o cálculo do consumo energético, foi utilizado o *Plug-in Insight 360°* da *Autodesk*.

Para a criação do modelo energético LM Loulé, obtido no separador 3.2, recorreu-se à opção *Analyze e Generate* do software *Revit*. Nas *Energy Settings* selecionou-se *Use Building Elements* e nas opções *Advanced*, a categoria para *Building Type* escolhida foi *Escritório*. Embora o programa possua a opção *Retalho* (designada como *Varejo*) percebeu-se, ao longo das simulações, que esta não reproduz eficazmente a realidade dos consumos energéticos. A opção *Varejo* oferece resultados muito superiores aos expectáveis, sobretudo em horários de funcionamento mais longos, o que tem a ver essencialmente com os valores de intensidade de iluminação que estão pré-definidos para a opção de retalho no programa.

O horário de funcionamento (*Building Operating Schedule*) selecionado foi *12/7* (ou seja, 12h 7 dias por semana) e, por último, selecionou-se *Detailed Elements* para a simulação, que essencialmente usa as resistências térmicas indicadas pelo utilizador para a simulação energética do edifício, e não as configurações de origem do *Revit*.

A Figura 21 apresenta o modelo energético LM Loulé criado para ser analisado pelo *Plug-in Insight 360°*.

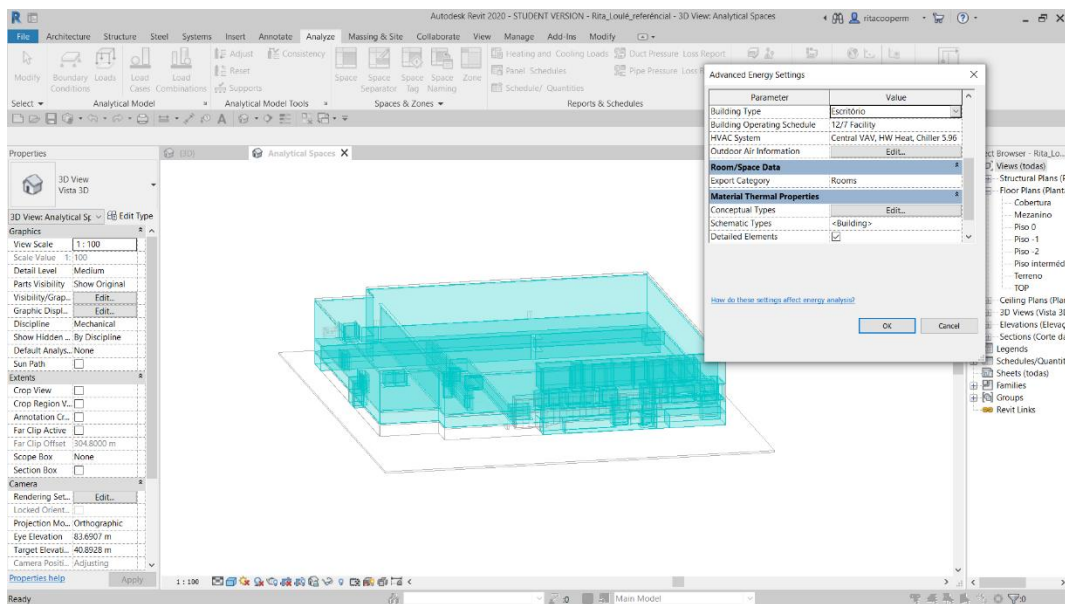


Figura 21 - Criação do modelo energético LM Loulé

Após a criação do modelo energético LM Loulé foi possível obter a simulação, recorrendo ao *Plug-in Insight 360°*, do consumo energético anual do edifício. O resultado obtido foi de 148 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano.

A Figura 22 apresenta a análise devolvida pelo *Plug-in Insight 360°*.

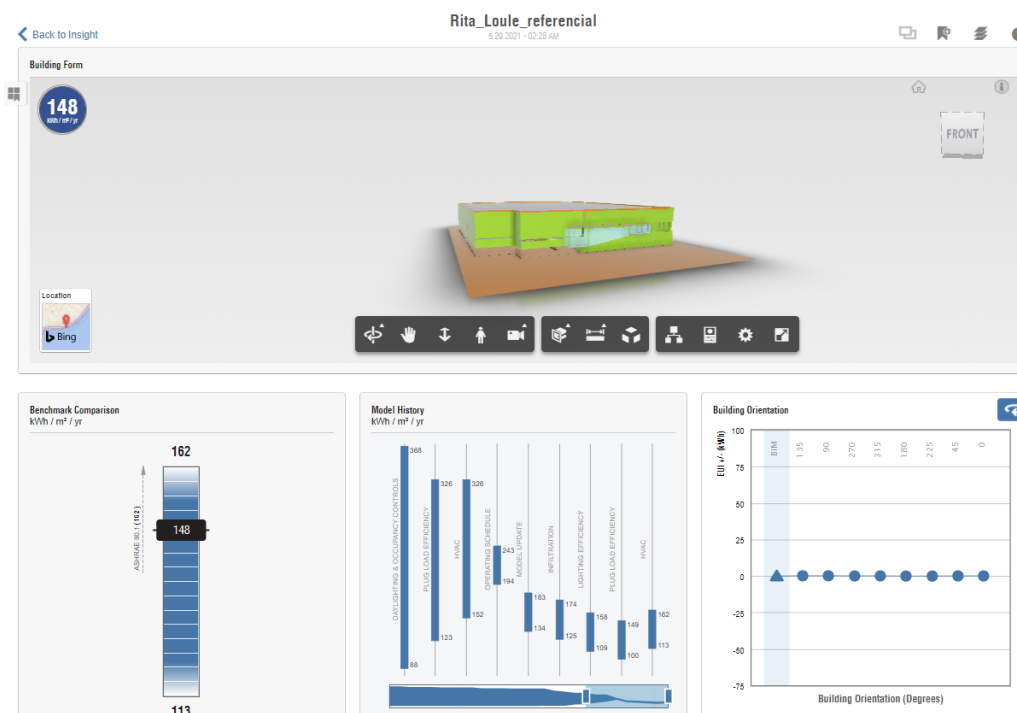


Figura 22 - Resultado da simulação do modelo energético BIM

É importante notar que os resultados dos custos anuais com o consumo de energia obtidos no *Plug-in Insight 360°*, dependem dos valores indicados pelo utilizador relativos ao seu custo de kWh de energia comprada à rede. Os valores e as unidades adotadas, definidos em *Settings*, podem ser consultados na Figura 23. O valor de 0,10 € foi fornecido pela *Leroy Merlin* como custo médio de kWh comprado à rede.

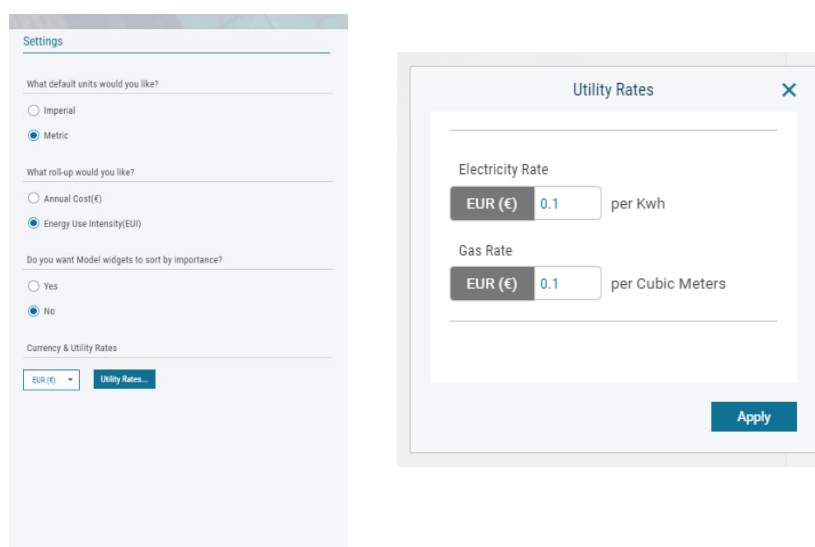


Figura 23 - Definições de unidades e taxas de utilização utilizadas no *Plug-in Insight 360°*

### **3.4 Validação do modelo face às faturas energéticas do edifício**

A validação do modelo energético realizada no caso de estudo passa por comparar os valores simulados com os dados consumos energéticos reais, para aferir a correção da modelação e se é necessário calibrar os parâmetros utilizados.

Dado que em 2018, o *Leroy Merlin* Loulé instalou painéis fotovoltaicos passou a ter menor consumo à rede, foi selecionado como período de referência os 12 meses anteriores à instalação dos painéis. Obteve-se os dados relativos aos consumos de energia ativa e reativa para os diferentes horários: Super Vazio, Vazio Normal, Ponta e Cheias, durante o ano em questão. No Anexo 2 é possível consultar os valores de cada parcela dos consumos energéticos e uma imagem com o site de consulta das faturas energéticas.

Foram analisados e tratados os dados das leituras energéticas respeitantes ao período de referência (disponibilizados pela *Leroy Merlin*). O somatório de todas as parcelas de energia ativa e reativa corresponde à energia total consumida pelo edifício, e em 2018 é igual a 1 301 612 kWh/ ano. O consumo energético escolhido para validar o modelo LM Loulé obtém-se através da razão entre 1 301 612 kWh/ ano e 8 799 m<sup>2</sup> (área constante no certificado energético como área de cálculo para a EUI).

Face ao exposto o consumo energético obtido é de 148 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano, o que valida os dados simulados pelo modelo BIM referência (LM Loulé) que são de iguais. O desvio entre valores provenientes do modelo criado em BIM e valores das faturas energéticas foi de 0%.

Assim, atendendo a que os consumos energéticos obtidos pelas faturas e pela simulação são iguais, foi possível validar o modelo e evidenciar a potencialidade desta tipologia de abordagem e modelação.

## 4. Proposta de soluções energéticas da envolvente

Após a validação do modelo LM Loulé iniciou-se a simulação de soluções construtivas alternativas para o envelope térmico do edifício, com vista à otimização do consumo energético. Por forma a encontrar a melhor solução, foram efetuadas 18 simulações com soluções alternativas.

As soluções alternativas baseiam-se no modelo 3D referencial LM Loulé e diferem entre si apenas num elemento construtivo. Foram ensaiados três conjuntos de simulações que possibilitaram o estudo do comportamento térmico de diferentes materiais, sendo esses conjuntos referentes à constituintes de paredes exteriores, coberturas e envidraçados.

Efetivamente, na fase inicial de projeto é importante reunir informação relativa ao comportamento térmico dos materiais e de que forma este influencia o custo de operação e a eficiência energética do edifício.

As soluções alternativas apresentadas na Tabela 2, são constituídas pelos materiais mais utilizados nos envelopes dos edifícios de retalho da *Leroy Merlin* de Portugal. Atendendo a que as referidas soluções serão simuladas recorrendo ao *Revit* e ao *Plug in Insight 360º*, optou-se por designá-las por Simulações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18.

Os conjuntos designados por *Paredes*, *Coberturas* e *Envidraçados* diferem do caso de estudo (Tabela 1) nos materiais constituintes das paredes exteriores do edifício, da cobertura e dos envidraçados, correspondentemente.

Tabela 1 - Elementos do envelope do LM Loulé (caso de estudo)

Simulações	Elementos e principais características a simular	
LM Loulé (Caso de estudo)	Paredes	PD - Parede exterior com espessura de 6,0 cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: espuma rígida de poliuretano (PUR), painéis sandwich de 35-50 kg/m <sup>3</sup> (Rt = 1,62 m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 6,0 cm ;
	Coberturas	COB - Cobertura exterior com espessura de 34,0cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: teto ou cobertura em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 21 a 28cm de altura (2 fiadas de furos) de =30 cm (Rt=0,23m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 23,0 cm; lâ de rocha de 35- 100 kg/m <sup>3</sup> (Rt=2.50m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 10,0 cm; membrana impermeabilizante flexível impregnada com betume (Rt=0,04m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 1,0 cm ;
	Envidraçados	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, fixo com caixilho simples metálico com corte térmico e sem quadrícula, com vidro duplo laminado + incolor Guardian Float ExtraClear 10+10 com PVB Clear 1,52 + 16mm Ar + SunGuard SN 70/37 HT; U= 3,70 W/m <sup>2</sup> . °C ;

Tabela 2 - Propostas de soluções alternativas para otimizar consumos energéticos do LM Loulé

(1/3)

Simulações	Elementos e principais características a simular
Paredes	1- Parede exterior constituída por bloco de betão com 25 cm de espessura, resistência térmica (Rt) igual a 0,33 (m <sup>2</sup> . °C) / W ;
	2- Parede exterior composta por: painel sandwich com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica 0,037 W/ m.°C e Rt= 1,351 m <sup>2</sup> . °C/W ;
	3- Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: placa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade térmica de 110 W/(m.°C) , isolamento térmico em lã de rocha com 0,046 m de espessura, condutibilidade de 0,045 W/(m.°C) e Rt = 1,02 m <sup>2</sup> .°C/W, placa metálica zinco com 0,002 m de espessura e condutibilidade térmica de 110 W/(m. °C) ;
	4- Parede exterior de cor clara constituída por painel de sanduíche com isolamento térmico com 8 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,02 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 40 kg/m <sup>3</sup> , resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a 0,24 W/ m <sup>2</sup> . °C ;
	5- Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: betão armado com 0,25 m de espessura e Rt = 0,11 m <sup>2</sup> . °C/W, caixa de ar com 0,04 m de espessura e Rt = 0,18 m <sup>2</sup> . °C/W, lã de rocha com 0,04 m de espessura e Rt = 1 m <sup>2</sup> . °C/W e placa gesso cartonada 0,025 mm com Rt =0,1 m <sup>2</sup> . °C/W ;
	6- Parede de Chapa de 100 mm constituída do interior para o exterior por 0,001 m de Aço com resistência de 0,00002 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,068 m de Espaços de Ar (Paredes) com resistência de 0,18 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,03 m de Lã de Rocha 35 -100 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,75 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,001 m de Aço com resistência de 0,00002 m <sup>2</sup> . °C/W ;
	7- Parede Exterior Alvenaria 150 mm constituída do interior para o exterior por 0,02 m de Argamassas e rebocos tradicionais 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,01538 m <sup>2</sup> . °C/ W, 0,11 m de Blocos de Betão - leve 0,10 m ou de 0,11 m com resistência de 0,27 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,02m de Argamassas e rebocos tradicionais 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,01538 m <sup>2</sup> . °C/W ;

Tabela 2- Propostas de soluções alternativas para otimizar consumos energéticos do LM Loulé

(2/3)

Simulações	Elementos e principais características a simular
Coberturas	8- Cobertura exterior (inclinada) constituída (do exterior para o interior) por: Painel sandwich com 5 cm de espessura e resistência térmica de 1,75 m <sup>2</sup> . °C/W; caixa-de-ar com resistência térmica de 0,16 m <sup>2</sup> . °C /W; Gesso cartonado com 0,02 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/ m <sup>2</sup> °C ;
	9- Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: Tela impermeabilizante, isolamento com 0,04 m de espessura e coeficiente de transmissão térmica de 0,037W/ m <sup>2</sup> . °C e laje aligeirada com blocos cerâmicos com 0,15 m de espessura ;
	10- Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: tela impermeabilizante com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 0,14 W/(m.°C) e resistência térmica de 0,01 m <sup>2</sup> . °C /W, chapa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 110 W/(m.°C) e resistência térmica desprezável, isolamento térmico em lã de rocha com 0,06 m de espessura, condutibilidade de 0,045 W/(m.°C) e resistência térmica de 1,33 m <sup>2</sup> . °C /W, chapa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 110 W/(m.°C) e resistência térmica desprezável ;
	11- Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por membrana flexível impregnada com betume com coeficiente de transmissão térmica igual a 0,23 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 1100 kg/m <sup>3</sup> ; chapa metálica com condutibilidade térmica igual a 110 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 7200 kg/m <sup>3</sup> ; isolamento térmico (PUR) com 5 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,037 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 50 kg/m <sup>3</sup> e chapa metálica com condutibilidade térmica igual a 110 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 7200 kg/m <sup>3</sup> ;
	12- COB PLANA - Cobertura exterior de cor clara, com 0,06 m de espessura, é composta por (exterior para interior): cloreto de polivinilo (PVC) com 0,002 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,17 W/m.°C, lã de rocha média 35-100 kg/m <sup>3</sup> com 0,06 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,04 W/m.°C e aço com 0,001 m de espessura e condutibilidade térmica de 50 W/m.°C ;
	13- Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: tela de asfalto puro com resistência térmica desprezável e lã de rocha (painel sandwich) com 0,08 m de espessura e resistência térmica de 1,9 m <sup>2</sup> . °C/W ;
	14- Teto em painel zona de Frescos constituída(o) do interior para o exterior por 0,1 m de Espuma rígida de poliuretano (PUR) com resistência de 2,7027 m <sup>2</sup> . °C/W ;
	15- Cobertura Horizontal de fibrocimento constituída do interior para o exterior por 0,347 m de Coberturas horizontais (em terraço) sem isolamento térmico (Fluxo Ascendente) (Laje maciça) com resistência de 0,435 m <sup>2</sup> . °C/W ;
16- Cobertura interior constituída por: betão armado com 0,2 m de espessura e resistência térmica de 0,1 m <sup>2</sup> . °C/W, isolamento térmico com 0,03 m de espessura e resistência térmica de 0,81 m <sup>2</sup> . °C/W e betonilha com 0,1 m de espessura e resistência térmica de 0,08 m <sup>2</sup> . °C/W ;	



Tabela 2- Propostas de soluções alternativas para otimizar consumos energéticos do LM Loulé

(3/3)

Simulações	Elementos e principais características a simular
Envidraçados	<p>17- Os vãos envidraçados exteriores verticais, são constituídos por vidro duplos (6+14+6), com caixilharia metálica, fixa. O fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão é de 0,78. O coeficiente de transmissão térmica é de 2,90 W/ m<sup>2</sup>. °C. Os vãos envidraçados não dispõem de dispositivos de proteção solar ;</p>
	<p>18- Placa em policarbonato alveolar, opalino de 16 mm com tratamento ultravioleta, com caixilharia metálica com corte térmico, com tipo de abertura fixo, com um coeficiente de transmissão térmica de 3,3 W/ m<sup>2</sup>. °C ;</p>

## 5. Análise de resultados

### 5.1 Apresentação dos resultados das simulações

As soluções alternativas ensaiadas neste estudo dividem-se em três grupos de simulações. Os grupos caracterizam-se pelos elementos que diferem do modelo 3D de referência LM Loulé, designadamente *Paredes* (paredes exteriores), *Coberturas* e *Envidraçados*. Optou-se por um período de funcionamento (*Building Operating Schedule*) de 12/7, ou seja, o horário de abertura da loja em que há consumo energético substancial é de doze horas, sete dias por semana.

As Simulações 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7 (ver descrição da Tabela 3) correspondem a soluções alternativas relativas a *Paredes* com variações de resistência térmica e materiais. O principal elemento constituinte das simulações de *Paredes* varia entre betão, alvenaria e painel *sandwich*. O painel *sandwich* é o principal elemento constituinte do caso de estudo.

Estas simulações são realizadas com base no modelo LM Loulé, correspondente ao caso de estudo, modificando apenas os materiais constituintes das paredes do envelope do edifício.

Na Tabela 3, podem ser consultados os consumos energéticos anuais (EUI), os custos de energia anuais com a energia em €/ m<sup>2</sup> e a resistência térmica (Rt) correspondentes às simulações de *Paredes*.

Tabela 3 - Resultados BIM Paredes Plug-in Insight 360°

Resultados Paredes <i>Plug-in Insight 360°</i>					
Simulações	Materiais Paredes	kWh/ m <sup>2</sup> /ano	Otimização em relação a LM Loulé (%)	€/ m <sup>2</sup> / ano	Rt <sup>3</sup> m <sup>2</sup> . K/ W
modelo LM Loulé	Parede exterior com espessura de 6,0 cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: espuma rígida de poliuretano (PUR), painéis sandwich de 35-50 kg/m <sup>3</sup> (Rt = 1,62 m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 6,0 cm ;	148	LM Loulé	12	1,62
1	Parede exterior constituída por bloco de betão com 25 cm de espessura, resistência térmica (Rt) igual a 0,33 (m <sup>2</sup> . °C) /W ;	157	- 6 %	11,7	0,33
2	Parede exterior composta por: painel sandwich com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica 0,037 W/ m.°C e Rt= 1,351 m <sup>2</sup> . °C/W ;	150	- 1%	12,8	1,35
3	Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: placa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade térmica de 110 W/(m.°C) , isolamento térmico em lã de rocha com 0,046 m de espessura, condutibilidade de 0,045 W/(m.°C) e Rt = 1,02 m <sup>2</sup> .°C/W, placa metálica zinco com 0,002 m de 516,7 espessura e condutibilidade térmica de 110 W/(m. °C) ;	151	- 2%	11,9	1,02
4	Parede exterior de cor clara constituída por painel de sanduíche com isolamento térmico com 8 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,02 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 40 kg/m <sup>3</sup> , resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a 0,24 W/ m <sup>2</sup> . °C ;	147	1%	12	2,95
5	Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: betão armado com 0,25 m de espessura e Rt = 0,11 m <sup>2</sup> . °C/W, caixa de ar com 0,04 m de espessura e Rt = 0,18 m <sup>2</sup> . °C/W, lã de rocha com 0,04 m de espessura e Rt = 1 m <sup>2</sup> . °C/W e placa gesso cartonada 0,025 mm com Rt =0,1 m <sup>2</sup> . °C/W ;	167	- 13%	11,6	0,16
6	Parede de Chapa de 100 mm constituída do interior para o exterior por 0,001 m de Aço com resistência de 0,00002 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,068 m de Espaços de Ar (Paredes) com resistência de 0,18 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,03 m de Lã de Rocha 35 -100 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,75 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,001 m de Aço com resistência de 0,00002 m <sup>2</sup> . °C/W ;	151	- 2 %	11,9	1,84
7	Parede Exterior Alvenaria 150 mm constituída do interior para o exterior por 0,02 m de Argamassas e rebocos tradicionais 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,01538 m <sup>2</sup> . °C/ W, 0,11 m de Blocos de Betão - leve 0,10 m ou de 0,11 m com resistência de 0,27 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,02m de Argamassas e rebocos tradicionais 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,01538 m <sup>2</sup> . °C/W ;	160	- 8%	11,7	0,93

<sup>3</sup> Os valores de Rt que se apresentam nas Tabelas são valores obtidos na janela *Thermal Properties (Revit)* do elemento construtivo

As Simulações 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, e 16 (ver descrição de Tabela 4) correspondem a soluções alternativas relativas a *Coberturas* com variações de resistência térmica e materiais. O principal elemento constituinte das simulações de *Coberturas* varia entre laje em betão, laje aligeirada, painel *sandwich* e cobertura tipo *deck* com revestimento em tela PVC ou tela asfáltica. A laje aligeirada com blocos cerâmicos, lã de rocha e tela impermeabilizante é a solução de *Coberturas* constituinte do caso de estudo.

Estas simulações são realizadas com base no modelo LM Loulé, correspondente ao caso de estudo, modificando apenas os materiais constituintes da cobertura.

Na Tabela 4, podem ser consultados os consumos energéticos anuais (EUI) os custos de energia anuais com a energia em €/ m<sup>2</sup> e a resistência térmica (Rt) relativos às simulações para *Coberturas*.

Tabela 4 - Resultados BIM Coberturas Plug-in Insight 360º

(1/2)

Resultados Coberturas <i>Plug-in Insight 360º</i>					
Simulações	Materiais Coberturas	kWh/m <sup>2</sup> /ano	Otimização em relação a LM Loulé	€/m <sup>2</sup> /ano	Rt m <sup>2</sup> . K/W
modelo LM Loulé	Cobertura exterior com espessura de 34,0cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: teto ou cobertura em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 21 a 28cm de altura (2 fiadas de furos) de ≈30 cm (Rt=0,23m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 23,0 cm; lâ de rocha de 35- 100 kg/m <sup>3</sup> (Rt=2,50m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 10,0 cm; membrana impermeabilizante flexível impregnada com betume (Rt=0,04m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 1,0 cm ;	148	LM Loulé	12	1,62
8	Cobertura exterior (inclinada) constituída (do exterior para o interior) por: Pannel sandwich com 5 cm de espessura e resistência térmica de 1,75 m <sup>2</sup> . °C/W; caixa-de-ar com resistência térmica de 0,16 m <sup>2</sup> . °C /W; Gesso cartonado com 0,02 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/ m°C ;	147	1%	12	1,99
9	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: Tela impermeabilizante, isolamento com 0,04 m de espessura e coeficiente de transmissão térmica de 0,037W/ m <sup>2</sup> . °C e laje aligeirada com blocos cerâmicos com 0,15 m de espessura ;	181	- 22%	11,9	0,26
10	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: tela impermeabilizante com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 0,14 W/(m.°C) e resistência térmica de 0,01 m <sup>2</sup> . °C /W, chapa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 110 W/(m.°C) e resistência térmica desprezável, isolamento térmico em lâ de rocha com 0,06 m de espessura, condutibilidade de 0,045 W/(m.°C) e resistência térmica de 1,33 m <sup>2</sup> . °C /W, chapa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 110 W/(m.°C) e resistência térmica desprezável ;	152	- 3%	11,9	1,35
11	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por membrana flexível impregnada com betume com coeficiente de transmissão térmica igual a 0,23 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 1100 kg/m <sup>3</sup> ; chapa metálica com condutibilidade térmica igual a 110 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 7200 kg/m <sup>3</sup> ; isolamento térmico (PUR) com 5 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,037 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 50 kg/m <sup>3</sup> e chapa metálica com condutibilidade térmica igual a 110 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 7200 kg/m <sup>3</sup> ;	151	- 2%	11,9	1,53

Tabela 4 - Resultados BIM Coberturas Plug-in Insight 360°

(2/2)

Simulações	Materiais Coberturas	kWh/m <sup>2</sup> /ano	Otimização em relação a LM Loulé	€/m <sup>2</sup> /ano	Rt m <sup>2</sup> . K/W
12	COB PLANA - Cobertura exterior de cor clara, com 0,06 m de espessura, é composta por (exterior para interior): cloreto de polivinilo (PVC) com 0,002 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,17 W/m.°C, lã de rocha média 35-100 kg/m <sup>3</sup> com 0,06 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,04 W/m.°C e aço com 0,001 m de espessura e condutibilidade térmica de 50 W/m.°C ;	145	2%	12	14,94
13	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: tela de asfalto puro com resistência térmica desprezável e lã de rocha (painel sandwich) com 0,08 m de espessura e resistência térmica de 1,9 m <sup>2</sup> . °C/W ;	150	- 1%	12	1,90
14	Teto em painel zona de Frescos constituída(o) do interior para o exterior por 0,1 m de Espuma rígida de poliuretano (PUR) com resistência de 2,7027 m <sup>2</sup> . °C/W ;	147	1%	12	11,50
15	Cobertura horizontal de fibrocimento constituída do interior para o exterior por 0,347 m de Coberturas horizontais (em terraço) sem isolamento térmico (Fluxo Ascendente) (Laje maciça) com resistência de 0,435 m <sup>2</sup> . °C/W ;	169	- 14%	11,8	0,44
16	Cobertura interior de compartimentação constituída por: betão armado com 0,2 m de espessura e resistência térmica de 0,1 m <sup>2</sup> . °C/W, isolamento térmico com 0,03 m de espessura e resistência térmica de 0,81 m <sup>2</sup> . °C/W e betonilha com 0,1 m de espessura e resistência térmica de 0,08 m <sup>2</sup> . °C/W ;	156	- 5%	11,9	0,99

As Simulações 17 e 18 (ver descrição de Tabela 5) correspondem a soluções alternativas relativas a *Envidraçados* com variação de resistência térmica e materiais. O principal elemento constituinte das simulações de *Envidraçados* varia entre vãos de vidro duplo e policarbonato alveolar. Estas simulações são realizadas com base no modelo LM Loulé, correspondente ao caso de estudo, modificando apenas os materiais constituintes dos elementos envidraçados.

O Envidraçados do caso de estudo corresponde a vãos de vidro duplos conforme indicado na Tabela 5.

Na Tabela 5 encontram-se os consumos energéticos anuais (EUI) os custos de energia anuais com a energia em €/ m<sup>2</sup> relativos às simulações para *Envidraçados*.

Tabela 5 - Resultados BIM Envidraçados Plug-in Insight 360°

Resultados Envidraçados <i>Plug-in Insight 360°</i>					
Simulações	Materiais Envidraçados	kWh/ m <sup>2</sup> / ano	Otimização em relação a LM Loulé	€/ m <sup>2</sup> / ano	Rt m <sup>2</sup> . K/ W
modelo LM Loulé	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, fixo com caixilho simples metálico com corte térmico e sem quadrícula, com vidro duplo laminado + incolor Guardian Float ExtraClear 10+10 com PVB Clear 1,52 + 16mm Ar + SunGuard SN 70/37 HT; U= 3,70 W/m <sup>2</sup> . °C ;	148	LM Loulé	12	0,2681
17	Os vãos envidraçados exteriores verticais, são constituídos por vidro duplos (6+14+6), com caixilharia metálica, fixa. O fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão é de 0,78. O coeficiente de transmissão térmica é de 2,90 W/ m <sup>2</sup> . °C. Os vãos envidraçados não dispõem de dispositivos de proteção solar ;	148	0%	12	0,2336
18	Placa em policarbonato alveolar, opalino de 16 mm com tratamento ultravioleta, com caixilharia metálica com corte térmico, com tipo de abertura fixo, com um coeficiente de transmissão térmica de 3,3 W/ m <sup>2</sup> . °C ;	148	0%	12	0,2429

A Tabela 5 mostra que os consumos energéticos e custos de energia anuais são os mesmos para as soluções alternativas de *Envidraçados*. Considerando que os resultados das Simulações 17 e 18 suscitaram algumas dúvidas, realizaram-se seis novas simulações.

As Simulações 19, 20, 21, 22, 23 e 24 representam soluções alternativas diferentes para *Envidraçados* e permitiram analisar o comportamento do programa perante estas alterações. Nestas novas simulações foram testadas resistências térmicas e simulações com vidros duplos e triplos.

As simulações correspondentes às soluções alternativas adicionais são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Soluções adicionais de estudo do elemento Envidraçados

Simulações	Elementos e principais características a simular
Envidraçados	19- Curtain Wall com duplo glazing 1/4 thick low E, e=0,2 com espessura = 0,25 m, Rt = 0,5032 m <sup>2</sup> . °C/W com modelo base 4+12 ;
	20- Curtain Wall com triple glazing 1/4 thick low E, e=0,2 com espessura = 0,35 m, Rt = 0,6523m <sup>2</sup> . °C/W com modelo base 4+12.
	21- Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, vidro duplo, espessura = 0,26 m, Rt=0,2454 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo base 4+12 ;
	22- Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, vidro triplo, espessura = 0,42 m, Rt = 0,4881 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo base 4+12 ;
	23- Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, vidro duplo espessura = 0,26 m Rt =0,2454 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo BIM Loulé ;
	24- Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada vidro triplo espessura = 0,42 m Rt = 0,4881 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo BIM Loulé ;

É importante salientar que para as Simulações 19, 20, 21 e 22 foi criado um novo modelo. O modelo utilizado para estas simulações baseou-se no LM Loulé, tendo sido escolhidas as soluções alternativas correspondentes às simulações que conduziram aos menores consumos energéticos, respeitantes a *Paredes* e *Coberturas*. Posto isto, o modelo é constituído pelas soluções alternativas 4 e 12 e os materiais de cada componente podem ser consultados na Tabela 7. O novo modelo foi apelidado de “modelo 4+12” e os resultados dos consumos energéticos e custos de energia anuais podem ser consultados na Tabela 8.



Tabela 7 - Materiais constituintes do envelope do “modelo 4+12”

Simulações	Elementos e principais características a simular	
“modelo 4+12”	Paredes	4- Parede exterior de cor clara constituída por painel de sanduíche com isolamento térmico com 8 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,02 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 40 kg/m <sup>3</sup> , resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a 0,24 W/ m <sup>2</sup> . °C ;
	Coberturas	12 - COB PLANA - Cobertura exterior de cor clara, com 0,06 m de espessura, é composta por (exterior para interior): cloreto de polivinilo (PVC) com 0,002 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,17 W/ m.°C, lâ de rocha média 35-100 kg/m <sup>3</sup> com 0,06 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,04 W/m.°C e aço com 0,001 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 50 W/ m.°C ;
	Envidraçados	LM Loulé - Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, fixo com caixilho simples metálico com corte térmico e sem quadrícula, com vidro duplo laminado + incolor Guardian Float ExtraClear 10+10 com PVB Clear 1,52 + 16mm Ar + SunGuard SN 70/37 HT; U= 3,70 W/ m <sup>2</sup> . °C ;

Tabela 8 - Resultados consumos energéticos e custos de energia anuais de um novo modelo base

Resultados novo modelo base menor consumos Paredes + Coberturas		
Modelo	kWh/ m <sup>2</sup> / ano	€/ m <sup>2</sup> / ano
“modelo 4+12”	145	12

Na Tabela 9 encontram-se os consumos energéticos e os custos de energia anuais relativos às simulações adicionais de *Envidraçados*. As Simulações 19, 20, 21 e 22 foram baseadas no “modelo 4+12” e as Simulações 23 e 24 foram obtidas através do modelo LM Loulé (modelo referência inicial).

Tabela 9 - Resultados do estudo adicional de Envidraçados

Resultados Envidraçados estudo adicional <i>Plug-in Insight 360°</i>				
Simulações	Materiais Envidraçados adicionais	kWh/ m <sup>2</sup> /ano	Otimização em relação a LM Loulé	€/ m <sup>2</sup> /ano
modelo LM Loulé	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, fixo com caixilho simples metálico com corte térmico e sem quadrícula, com vidro duplo laminado + incolor Guardian Float ExtraClear 10+10 com PVB Clear 1,52 + 16mm Ar + SunGuard SN 70/37 HT; U= 3,70 W/ m <sup>2</sup> . °C ;	148	LM Loulé	12,00
19	Curtain Wall com duplo glazing 1/4 thick low E, e=0,2 com espessura = 0,25 m, Rt = 0,5032 m <sup>2</sup> . °C/W com modelo base 4+12 ;	145	2%	12,10
20	Curtain Wall com triple glazing 1/4 thick low E, e=0,2 com espessura = 0,35 m, Rt = 0,6523m <sup>2</sup> . °C/W com modelo base 4+12.	145	2%	12,10
21	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, vidro duplo, espessura = 0,26 m, Rt=0,2454 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo base 4+12 ;	140	5%	12,10
22	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, vidro triplo, espessura = 0,42 m, Rt = 0,4881 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo base 4+12 ;	140	5%	12,10
23	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, vidro duplo espessura = 0,26 m Rt =0,2454 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo BIM Loulé ;	141	5%	12,20
24	Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada vidro triplo espessura = 0,42 m Rt = 0,4881 m <sup>2</sup> . °C/W, com modelo BIM Loulé ;	141	5%	12,20

Analisando os valores da Tabela 9, conclui-se que os resultados das simulações adicionais não exibem variações significativas.

As Simulações 17 e 18, apresentadas na Tabela 5, basearam-se no modelo LM Loulé e não apresentaram alterações significativas nos consumos energéticos anuais (EUI) e nos custos de energia anuais em €/ m<sup>2</sup>. Por outro lado, as Simulações 19, 20, 21 e 22 fundamentaram-se no “modelo 4+12” e não apresentam variações entre si. Comparando os resultados obtidos entre o modelo LM Loulé e o “modelo 4+12” verifica-se que para as Simulações 21 e 22 há uma diminuição do consumo energético anual. O mesmo verifica-se nas Simulações 23 e 24 elaboradas com o modelo LM Loulé.

Constatou-se assim que o software utilizado neste estudo não foi sensível às alterações relativamente aos materiais constituintes dos envidraçados. Tendo em consideração que foram testados dois modelos BIM e as simulações conduziram a resultados semelhantes sugere-se que por um lado, os resultados podem corresponder à baixa representatividade dos envidraçados na simulação térmica do envelope deste edifício.

Por outro lado, seria expectável que alterando os materiais constituintes dos envidraçados houvesse repercussões nos consumos energéticos e custos associados. Assim, os resultados sugerem que o *Plug-in Insight 360°* fará uma simplificação das características dos envidraçados na computação do consumo energético, facto que poderia ser observável e posteriormente modelável através do ficheiro executável *EnergyPlus*, o que está fora do âmbito da presente dissertação.

Face ao exposto, os resultados relativos a *Envidraçados* foram excluídos do separador seguinte.

## 5.2 Comparação de resultados

Na comparação dos resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, optou-se pela elaboração de gráficos que relacionam os consumos energéticos em EUI e os custos de energia anuais em €/ m<sup>2</sup>/ ano. Considerando que o *software* utilizado opera por unidade de área foram realizados dois modelos de gráficos.

O primeiro modelo corresponde aos resultados das simulações, sendo que as abcissas e as ordenadas correspondem aos consumos energéticos anuais por unidade de área (EUI expressa em kWh/ m<sup>2</sup>/ ano) e aos custos de energia anuais por unidade de área (€/ m<sup>2</sup>/ ano), respetivamente. O segundo modelo obtém-se pelo produto de ambas as variáveis pela área de implantação do edifício, apresentando-se nas abcissas e nas ordenadas os consumos energéticos anuais (kWh/ ano) e os custos de energia anuais (€/ ano), respetivamente.

Para cada conjunto de soluções foram obtidos dois gráficos constituídos por símbolos que representam o par de resultados de cada simulação. Além destes gráficos, será apresentado um global que contempla todas as simulações realizadas.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Resultados de Paredes em kWh/ano e €/ano

Resultados Paredes <i>Plug-in Insight 360°</i>				
Simulações	Materiais Paredes	kWh/ano	€/ ano	Rt m <sup>2</sup> . K/ W
modelo LM Loulé	Parede exterior com espessura de 6,0 cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: espuma rígida de poliuretano (PUR), painéis sandwich de 35-50 kg/m <sup>3</sup> (Rt = 1,62 m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 6,0 cm ;	2 209 142,28	179 119,64	1,62
1	Parede exterior constituída por bloco de betão com 25 cm de espessura, resistência térmica (Rt) igual a 0,33 (m <sup>2</sup> . °C) /W ;	2 343 482,01	174 641,65	0,33
2	Parede exterior composta por: painel sandwich com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica 0,037 W/ m.°C e Rt= 1,351 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 238 995,55	191 060,95	1,35
3	Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: placa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade térmica de 110 W/(m.°C) , isolamento térmico em lâ de rocha com 0,046 m de espessura, condutibilidade de 0,045 W/(m.°C) e Rt = 1,02 m <sup>2</sup> .°C/W, placa metálica zinco com 0,002 m e condutibilidade térmica de 110 W/(m. °C) ;	2 253 922,19	177 626,98	1,02
4	Parede exterior de cor clara constituída por painel de sanduíche com isolamento térmico com 8 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,02 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 40 kg/m <sup>3</sup> , resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a 0,24 W/ m <sup>2</sup> . °C ;	2 194 215,64	179 119,64	2,95
5	Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: betão armado com 0,25 m de espessura e Rt = 0,11 m <sup>2</sup> . °C/W, caixa de ar com 0,04 m de espessura e Rt = 0,18 m <sup>2</sup> . °C/W, lâ de rocha com 0,04 m de espessura e Rt = 1 m <sup>2</sup> . °C/W e placa gesso cartonada 0,025 mm com Rt =0,1 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 492 748,38	173 148,99	0,16
6	Parede de Chapa de 100 mm constituída do interior para o exterior por 0,001 m de Aço com resistência de 0,00002 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,068 m de Espaços de Ar (Paredes) com resistência de 0,18 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,03 m de Lã de Rocha 35 -100 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,75 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,001 m de Aço com resistência de 0,00002 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 253 922,19	177 626,98	1,84
7	Parede Exterior Alvenaria 150 mm constituída do interior para o exterior por 0,02 m de Argamassas e rebocos tradicionais 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,01538 m <sup>2</sup> . °C/ W, 0,11 m de Blocos de Betão - leve 0,10 m ou de 0,11 m com resistência de 0,27 m <sup>2</sup> . °C/W, 0,02m de Argamassas e rebocos tradicionais 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> com resistência de 0,01538 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 388 261,92	174 641,65	0,93

Tabela 11 - Resultados de Coberturas em kWh/ano e €/ano

(1/2)

Resultados Coberturas <i>Plug-in Insight 360°</i>				
Simulações	Materiais Coberturas	kWh/ ano	€/ ano	Rt m <sup>2</sup> . K/ W
modelo LM Loulé	Cobertura exterior com espessura de 34,0cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: teto ou cobertura em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 21 a 28cm de altura (2 fiadas de furos) de =30 cm (Rt=0,23m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 23,0 cm; lâ de rocha de 35-100 kg/m <sup>3</sup> (Rt=2,50m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 10,0 cm; membrana impermeabilizante flexível impregnada com betume (Rt=0,04m <sup>2</sup> . °C/W) com espessura de 1,0 cm ;	2 209 142,28	179 119,64	1,62
8	Cobertura exterior (inclinada) constituída (do exterior para o interior) por: Painel sandwich com 5 cm de espessura e resistência térmica de 1,75 m <sup>2</sup> . °C/W; caixa-de-ar com resistência térmica de 0,16 m <sup>2</sup> . °C /W; Gesso cartonado com 0,02 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/ m <sup>2</sup> °C ;	2 194 215,64	179 119,64	1,99
9	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: Tela impermeabilizante, isolamento com 0,04 m de espessura e coeficiente de transmissão térmica de 0,037W/ m <sup>2</sup> . °C e laje aligeirada com blocos cerâmicos com 0,15 m de espessura ;	2 701 721,30	177 626,98	0,26
10	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: tela impermeabilizante com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 0,14 W/(m.°C) e resistência térmica de 0,01 m <sup>2</sup> . °C /W, chapa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 110 W/(m.°C) e resistência térmica desprezável, isolamento térmico em lâ de rocha com 0,06 m de espessura, condutibilidade de 0,045 W/(m.°C) e resistência térmica de 1,33 m <sup>2</sup> . °C /W, chapa metálica zinco com 0,002 m de espessura, condutibilidade de 110 W/(m.°C) e resistência térmica desprezável ;	2 268 848,82	177 626,98	1,35
11	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por membrana flexível impregnada com betume com coeficiente de transmissão térmica igual a 0,23 W/ (m <sup>2</sup> . °C) e massa volúmica igual a 1100 kg/m <sup>3</sup> ; chapa metálica com condutibilidade térmica igual a 110 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 7200 kg/m <sup>3</sup> ; isolamento térmico (PUR) com 5 cm de espessura, condutibilidade térmica igual a 0,037 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 50 kg/m <sup>3</sup> e chapa metálica com condutibilidade térmica igual a 110 W/(m.°C) e massa volúmica igual a 7200 kg/m <sup>3</sup> ;	2 253 922,19	177 626,98	1,53

Tabela 11 - Resultados de Coberturas em kWh/ano e €/ano

(2/2)

Simulações	Materiais Coberturas	kWh/ ano	€/ ano	Rt m <sup>2</sup> . K/ W
12	COB PLANA - Cobertura exterior de cor clara, com 0,06 m de espessura, é composta por (exterior para interior): cloreto de polivinilo (PVC) com 0,002 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,17 W/m.°C, lâ de rocha média 35-100 kg/m <sup>3</sup> com 0,06 m de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,04 W/m.°C e aço com 0,001 m de espessura e condutibilidade térmica de 50 W/m.°C ;	2 164 362,37	179 119,64	14,94
13	Cobertura exterior constituída (do exterior para o interior) por: tela de asfalto puro com resistência térmica desprezável e lâ de rocha (painel sandwich) com 0,08 m de espessura e resistência térmica de 1,9 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 238 995,55	179 119,64	1,90
14	Teto em painel zona de Frescos constituída(o) do interior para o exterior por 0,1 m de Espuma rígida de poliuretano (PUR) com resistência de 2,7027 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 194 215,64	179 119,64	11,50
15	Cobertura Horizontal de fibrocimento constituída do interior para o exterior por 0,347 m de Coberturas horizontais (em terraço) sem isolamento térmico (Fluxo Ascendente) (Laje maciça) com resistência de 0,435 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 522 601,65	176 134,32	0,44
16	Cobertura interior de compartimentação constituída por: betão armado com 0,2 m de espessura e resistência térmica de 0,1 m <sup>2</sup> . °C/W, isolamento térmico com 0,03 m de espessura e resistência térmica de 0,81 m <sup>2</sup> . °C/W e betonilha com 0,1 m de espessura e resistência térmica de 0,08 m <sup>2</sup> . °C/W ;	2 328 555,37	177 626,98	0,99

Pode afirmar-se que os resultados obtidos em *Revit* são consistentes em todas as simulações BIM, pois para valores elevados de resistências térmicas (Rt) foram obtidos consumos energéticos menores.

Os gráficos comparativos entre soluções de *Paredes* e *Coberturas* são apresentados na Figura 24 e Figura 25, respetivamente.

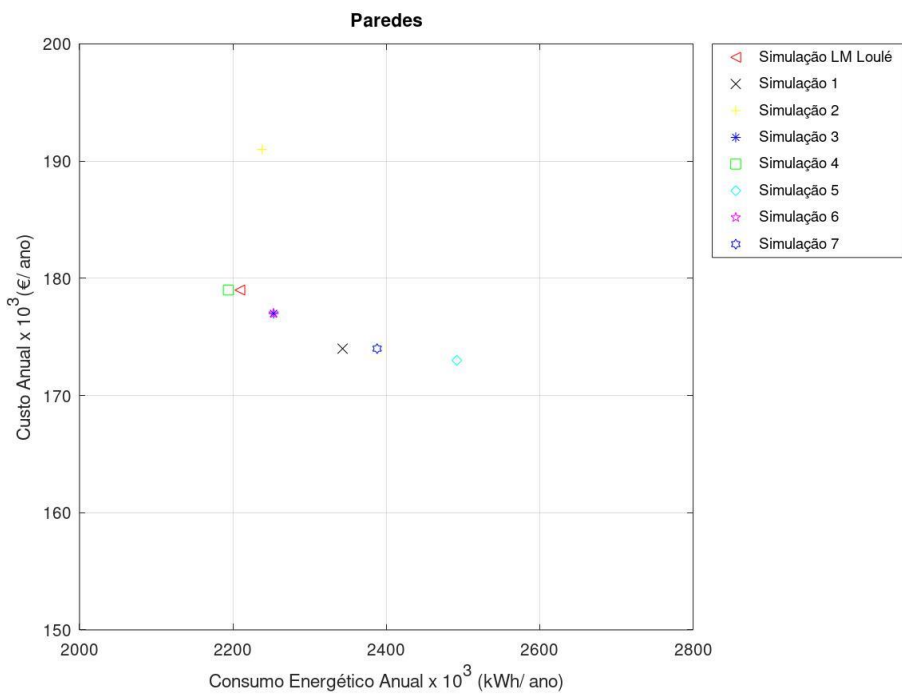
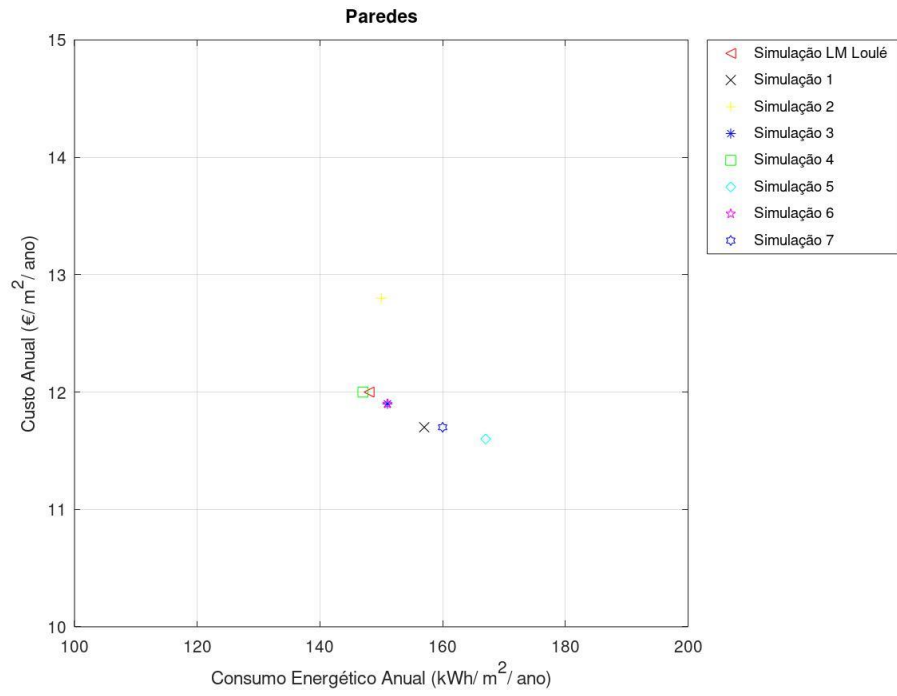


Figura 24 - Resultados das Simulações de *Paredes*

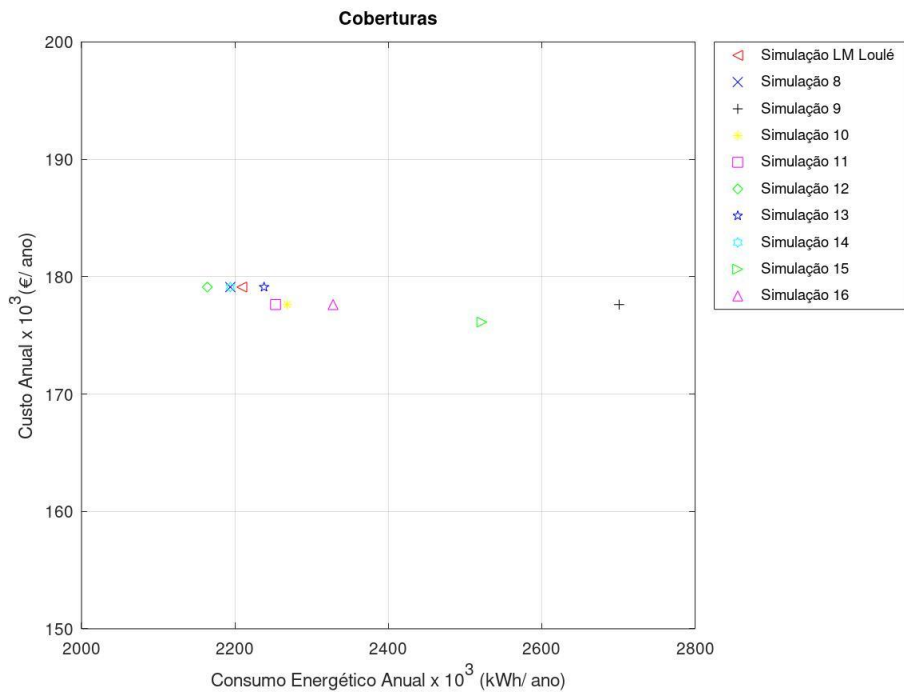
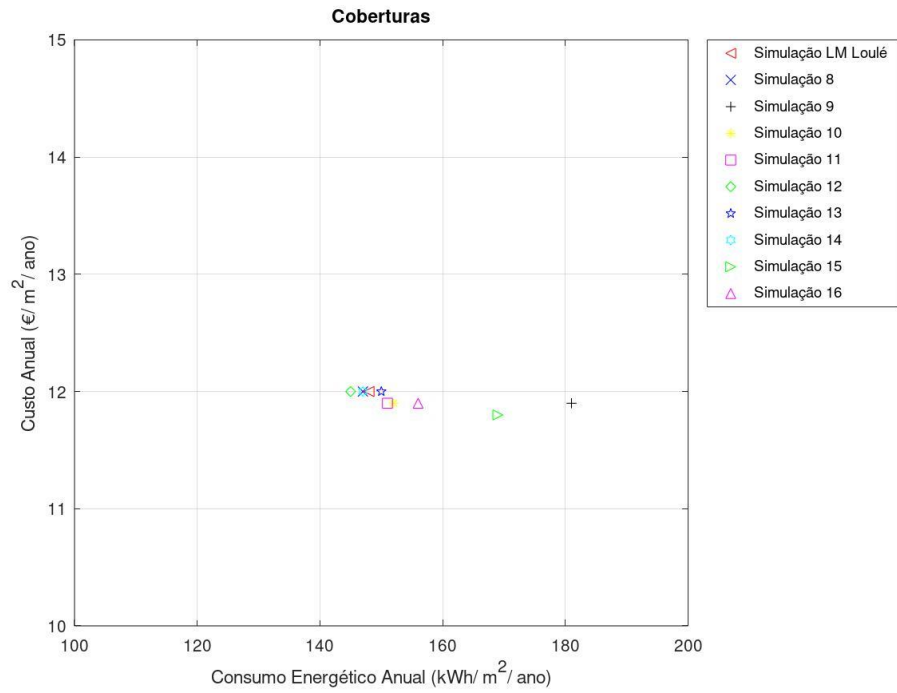


Figura 25 - Resultados das Simulações de *Coberturas*



Analisando os resultados das simulações relativas a *Paredes* pode concluir-se que:

- A Simulação 2 destaca -se das restantes por apresentar os maiores custos de energia anuais.
- A Simulação 5 corresponde aos menores custos de energia anuais e, simultaneamente, aos maiores consumos energéticos anuais.
- A Simulação 4 corresponde aos menores consumos energéticos anuais.
- As Simulações 3 e 6 apresentam resultados muito semelhantes relativamente aos consumos energéticos e custos anuais.

No que respeita a *Coberturas* pode concluir-se que:

- As Simulações 9 e 12 correspondem aos maiores e menores consumos energéticos anuais.
- A Simulação 15 apresenta os menores custos de energia anuais.
- Também se verifica uma proximidade de resultados nas Simulações 8 e 14 e estas simulações apresentam valores de consumos energéticos ligeiramente mais baixos que o do modelo referência.

A Figura 26 permite comparar os resultados de todas as simulações correspondentes às soluções alternativas adotadas. As Simulações relativas a *Paredes* e a *Coberturas* estão representadas a preto e a azul, correspondentemente.

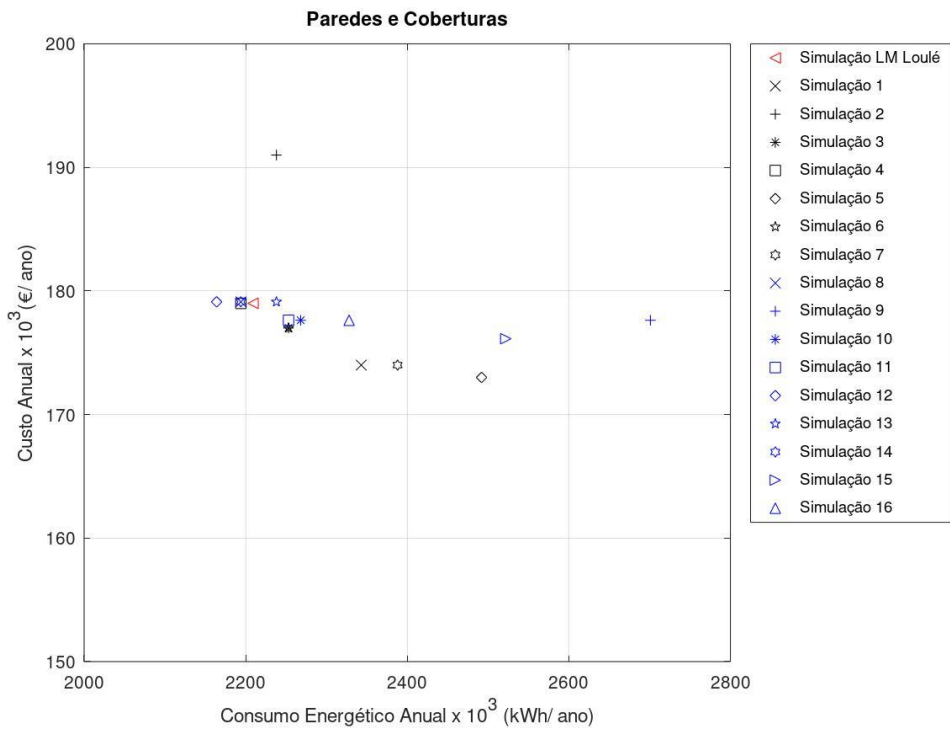
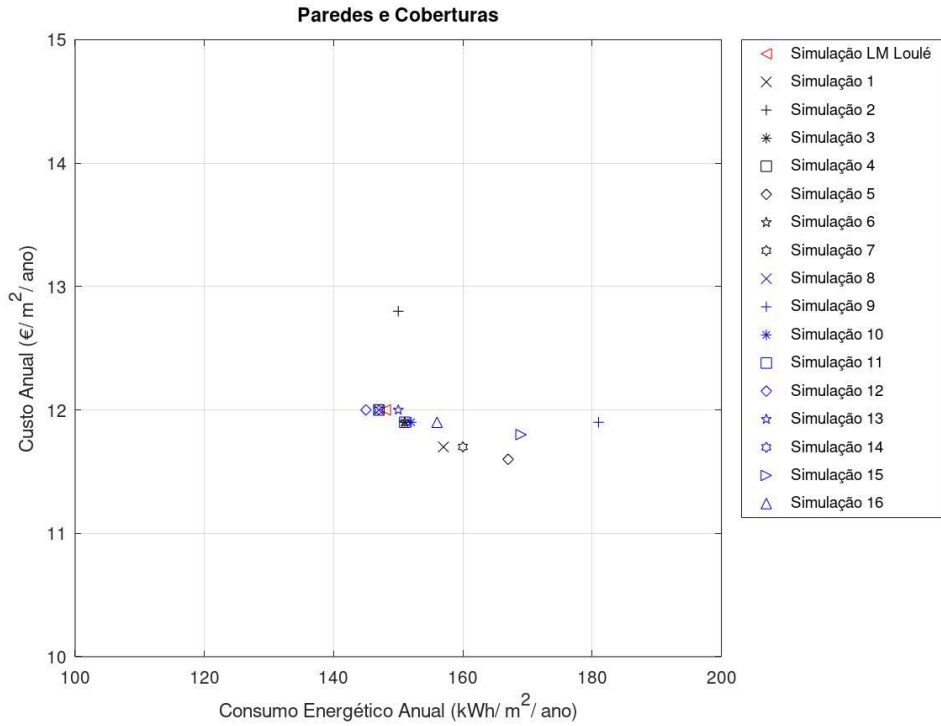


Figura 26 - Gráficos globais de soluções de *Paredes e Coberturas*

Analisando o gráfico por unidade de área constata-se que as soluções apresentam, maioritariamente, consumos energéticos anuais compreendidos entre 140 e 160 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano e os custos associados de energia anuais variam entre os 11 e os 12 €/ m<sup>2</sup>/ ano.

Na presente análise de resultados obtiveram-se as soluções relativas a *Paredes* e *Coberturas* com menores consumos energéticos e menores custos anuais.

De forma mais sintetizada:

- Soluções com consumos de energia anuais inferiores ao LM Loulé model – 4, 8,12,14;
- Soluções com custos anuais de energia inferiores ao LM Loulé model – 1,3, 5, 6, 7, 9, 10,11,15,16.

Respeitante a *Paredes*, a Simulação 5 (parede com elemento estrutural betão armado com 25 cm) corresponde aos menores custos de energia anuais e, simultaneamente, os maiores consumos energéticos anuais.

A Simulação 4 (painel sandwich 8 cm) corresponde aos menores consumos energéticos anuais.

No que respeita a *Coberturas* a Simulações 12 (cobertura tipo deck com revestimento em tela PVC) corresponde aos menores consumos energéticos anuais. A Simulação 15 (cobertura fibrocimento (sem amianto) + laje maciça) apresenta os menores custos energéticos anuais.

Era expectável que fosse obtida uma proporcionalidade entre consumos energéticos e custos anuais de energia visto que é colocado o custo de 0,10€ por kWh nas *Settings* (definições) do *Plug-in Insight 360°*. Porém, não se verifica tal proporcionalidade.

Uma das hipóteses para a obtenção dos presentes resultados pode estar relacionada com o modelo BEM gerado e com a assunção de parâmetros pelo *Green Studio Building* que é a ferramenta computacional de análise energética integrada no *Autodesk Revit* (*Autodesk*, 2014). Consoante a variação de material de envelope, o programa pode assumir soluções de AVAC diferentes, que por sua vez serão suportadas por misturas de energia elétrica e combustível diferentes.

Assim, uma razão para a variação aparente de custo de kWh nos resultados obtidos (de 0,07 a 0,09 €/kWh em vez dos 0,10€/kWh definidos pelo utilizador) pode ter a ver com o mix energético que está a servir de base ao cálculo do custo energético, que é feito de acordo com a localização do edifício. Na simulação energética verifica-se que o programa não assume o input do custo de energia dado pelo utilizador. Na Tabela 12 é possível ver a variação de 0,07 a 0,09€/kWh referida entre soluções.

Tabela 12 - Variação de custo de energia entre 0,07 a 0,09 €/kWh, de acordo com a solução de envelope simulada

Variação 0,07 a 0,09 €/kWh - mix americano (ASHRAE Standard 90.1 e Architecture 2030)			
Simulações	Consumo kWh/ano	€/kWh	Custos
			€/ano
modelo LM Loulé	2 209 142,28	0,08	179 119,64
1	2343482,01	0,07	174641,65
2	2238995,55	0,09	191060,95
3	2253922,19	0,08	177626,98
4	2194215,64	0,08	179119,64
5	2492748,38	0,07	173148,99
6	2253922,19	0,08	177626,98
7	2388261,92	0,07	174641,65
8	2 194 215,64	0,08	179 119,64
9	2 701 721,30	0,07	177 626,98
10	2 268 848,82	0,08	177 626,98
11	2 194 215,64	0,08	179 119,64
12	2 253 922,19	0,08	177 626,98
13	2 164 362,37	0,08	179 119,64
14	2 238 995,55	0,08	179 119,64
15	2 194 215,64	0,08	179 119,64
16	2 522 601,65	0,07	176 134,32

No próximo capítulo será efetuada a análise económica para testar a viabilidade de aplicação das soluções simuladas que foi feita com base nos custos anuais de energia apresentados pelo Insight 360°. Os valores resultantes das simulações e que apresentam a variação €/kWh presente na Tabela 12 vão ser utilizados para o estudo da viabilidade económica das soluções.

### 5.3 Cálculo de período de retorno de investimento

Uma solução construtiva pode ter melhor desempenho térmico, mas, no entanto, ter um custo inicial de construção demasiado elevado para ser implementada. Assim sendo, é necessário avaliar o período de retorno de investimento (PR) das soluções construtivas alternativas propostas na presente dissertação, de modo a encontrar as soluções que são mais adequadas na perspetiva da eficiência energética *versus* o seu custo.

A análise do período de retorno de investimento das soluções compreendeu três etapas. A primeira etapa teve como propósito estimar os custos de investimento do caso de estudo e das soluções alternativas. Os valores de mercado dos materiais constituintes de cada solução foram obtidos através do *site Gerador de Preços* (CYPE Ingenieros, S.A, 2021). Os cálculos realizados para a obtenção dos custos de investimento das soluções podem ser consultados no Anexo 3.

A segunda etapa consistiu na obtenção dos consumos energéticos e dos respetivos custos de energia anuais, recorrendo à modelação com o *Revit e Plug-in Insight 360º*. Estes valores encontram-se explicados no Capítulo 3.

A terceira etapa culminou com o cálculo do período de retorno do investimento para as soluções mais vantajosas. Para este fim, efetuou-se um balanço dos custos obtidos nas etapas anteriores e foram calculados o Valor Atualizado Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

A Tabela 13 sintetiza os custos de investimento, obtidos através do site *Gerador de Preços*, e os custos de energia anuais resultantes das simulações obtidas com o *Revit e Plug-in Insight 360º*.

No Capítulo 4 podem ser consultadas as informações relativas aos materiais constituintes do modelo LM Loulé (base do caso de estudo) e das soluções alternativas 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 e 16.

Tabela 13 - Custos de investimento e Custos das soluções alternativas obtidas com o *Revit e Plug-in Insight 360º*

Resultados dos Custos de investimento das soluções alternativas		
Simulações	Custos de Investimento	Custos energia
	€	€/ ano
modelo LM Loulé	5 293 216,60	179 119,64
1	5 268 639,11	174 641,65
2	5 171 856,55	191 060,95
3	5 267 875,40	177 626,98
4	5 326 542,02	179 119,64
5	5 212 333,04	173 148,99
6	5 278 428,45	177 626,98
7	5 239 132,23	174 641,65
8	5 303 716,36	179 119,64
9	5 259 766,05	177 626,98
10	5 255 956,40	177 626,98
11	5 295 260,80	177 626,98
12	5 100 597,15	179 119,64
13	5 203 829,29	179 119,64
14	5 107 008,51	179 119,64
15	5 059 248,55	176 134,32
16	5 472 455,83	177 626,98

Conclui-se que as Simulações 15 (cobertura fibrocimento (sem amianto) + laje maciça) e 16 (cobertura betão armado de 20 cm, com isolamento e betonilha leve) correspondem aos menores e maiores custos de investimento, respetivamente.

Relativamente aos resultados obtidos nas Simulações 2 (painel sandwich 5 cm) e 5 (parede betão armado 25 cm), estas apresentam os maiores e menores custos anuais com energia.

Analisando os valores presentes na Tabela 13, foi possível calcular o custo diferencial, as poupanças anuais das soluções obtidas com base nos valores das simulações, as poupanças no ciclo de vida, as poupanças totais e o período de retorno do investimento. Estes valores são apresentados na Tabela 14.

Os custos de investimento, provenientes do site *Gerador de Preços*, permitiram calcular o custo diferencial ( $I_v$ ), dado pela Equação (4).

$$I_v = \text{Custo Simulação}_{LM\ Loulé} - \text{Custo Simulação}_i \quad (4)$$

sendo o Custo de Simulação<sub>LM Loulé</sub> e o Custo de Simulação<sub>i</sub>, os custos, obtidos pelo *Gerador de Preços*, para a Simulação LM Loulé e para a  $i$ , respetivamente.

É importante notar que as simulações que apresentam  $I_v$  positivos correspondem a uma poupança quando comparadas com a Simulação LM Loulé. Conclui-se que as Simulações 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14 e 15 são mais económicas que a Simulação LM Loulé (Tabela 14).

Os custos de energia anuais resultantes das simulações do *Revit* e *Plug-in Insight 360°*, possibilitaram o cálculo das poupanças anuais de energia. Estas poupanças correspondem ao  $Cash\ Flow_{anual}$  ( $CF_{anual}$ ) obtido através da Equação (5).

$$CF_{anual} = \text{Custo Anual Energia}_{LM\ Loulé} - \text{Custo Anual Energia}_i \quad (5)$$

sendo Custo Anual Energia<sub>LM Loulé</sub> e o Custo Anual Energia<sub>i</sub> os custos anuais, obtidos em *Revit* e *Plug-in Insight 360°*, para a Simulação LM Loulé e para a  $i$ , respetivamente.

As Simulações 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15 e 16 apresentam  $CF_{anual}$  positivos, analogamente ao que se verificou nos custos diferenciais, estas simulações são mais económicas que a Simulação LM Loulé (Tabela 14).

Neste estudo, foi considerado que o ciclo de vida do edifício de retalho corresponde a quinze anos (Inaba, J. and Clouette B. (2014)). Assim, foi possível calcular as poupanças ao longo do ciclo de vida ( $Poupanças_{Ciclo\ de\ vida}$ ) para todas as simulações, mediante a Equação (6).

$$Poupanças_{Ciclo\ de\ Vida} = 15 \cdot CF_{anual} \quad (6)$$

Posto isto, as poupanças totais de cada simulação correspondem ao somatório dos custos diferenciais e das poupanças ao longo do ciclo de vida, como mostra a Equação (7).

$$Poupanças_{Totais} = I_g + Poupanças_{Ciclo\ de\ Vida} \quad (7)$$

Com base nos resultados, presentes na Tabela 14, conclui-se que as Simulações 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 são mais económicas que a Simulação LM Loulé.

Tabela 14 - Resultados obtidos para I9 e Poupanças

Simulações	Custos diferencial <i>I<sub>v</sub></i>	Poupanças anuais energia <i>CF</i>	Poupanças no ciclo de vida	Poupanças totais
	€	€/ano	€	€
modelo LM Loulé	-	-	-	-
1	24 577,49	4 477,99	67 169,87	91 747,36
2	121 360,06	-11 941,31	-179 119,64	-57 759,59
3	25 341,20	1 492,66	22 389,96	47 731,16
4	-33 325,42	0,00	0,00	-33 325,42
5	80 883,56	5 970,65	89 559,82	170 443,38
6	14 788,15	1 492,66	22 389,96	37 178,11
7	54 084,37	4 477,99	67 169,87	121 254,24
8	-10 499,76	0,00	0,00	-10 499,76
9	33 450,56	1 492,66	22 389,96	55 840,51
10	37 260,20	1 492,66	22 389,96	59 650,16
11	-2 044,20	1 492,66	22 389,96	20 345,75
12	192 619,45	0,00	0,00	192 619,45
13	89 387,32	0,00	0,00	89 387,32
14	186 208,09	0,00	0,00	186 208,09
15	233 968,05	2 985,33	-44 779,91	278 747,96
16	-179 239,23	1 492,66	22 389,96	-156 849,27

No Capítulo 4 podem ser consultadas as informações relativas aos materiais constituintes do modelo LM Loulé (caso de estudo) e das soluções alternativas 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 e 16.

O período de retorno do investimento (PR) corresponde ao tempo necessário de exploração que permite gerar lucros iguais ao investimento inicial (Kagan, 2021). Para calcular o PR, não atualizado, foi aplicada a Equação (8).

$$PR = \frac{I_v}{CF} \quad (8)$$



As Simulações 4, 8, 11 e 16 caracterizam-se por  $I_9$  negativos, o que significa que o custo destas simulações é superior à Simulação LM Loulé. As Simulações 2, 4, 8, 12, 13 e 14 apresentam  $CF_{\text{anual}}$  negativos, logo não apresentam poupanças anuais quando comparadas com a Simulação LM Loulé. Face ao exposto, as simulações referidas não foram consideradas no cálculo do PR.

Com base nos valores do PR da Tabela 16, conclui-se que a Simulações 1 e 5 apresentam o menor e o maior PR, respetivamente (Tabela 15). As Simulações 3, 9, 10 e 15 apresentam PR superiores ao ciclo de vida do edifício, pelo que não são economicamente viáveis.

Tabela 15 - Soluções economicamente viáveis com menor (1) e maior (5) PR

Soluções viáveis	Materiais Paredes
Paredes	1- Parede exterior constituída por bloco de betão com 25 cm de espessura, resistência térmica ( $R_t$ ) igual a $0,33 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C) / W}$ ;
	5- Parede exterior constituída (do exterior para o interior) por: betão armado com 0,25 m de espessura e $R_t = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ , caixa de ar com 0,04 m de espessura e $R_t = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/ W}$ , lã de rocha com 0,04 m de espessura e $R_t = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/ W}$ e placa gesso cartonada 0,025 mm com $R_t = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/ W}$ ;

Tabela 16 - Período de retorno de investimento sem valores atualizados das soluções

Período de retorno de investimento sem atualização das soluções					
Simulações	Custos diferencial	Poupanças anuais energia	Poupanças no ciclo de vida	Poupanças totais	PR
	$I_v$	$CF$			
	€	€/ano	€	€	Ano
modelo LM Loulé	Solução/ modelo referência para cálculo de PR				
1	24 577,49	4 477,99	67 169,8665	91 747,36	5,49
3	25 341,20	1 492,66	22 389,9555	47 731,16	16,98
5	80 883,56	5 970,65	89 559,822	170 443,38	13,55
6	14 788,15	1 492,66	22 389,9555	37 178,11	9,91
7	54 084,37	4 477,99	67 169,8665	121 254,24	12,08
9	33 450,56	1 492,66	22 389,9555	55 840,51	22,41
10	37 260,20	1 492,66	22 389,9555	59 650,16	24,96
15	233 968,05	2 985,33	44 779,911	278 747,96	78,37

No Capítulo 4 podem ser consultadas as informações relativas aos materiais constituintes do modelo LM Loulé e das soluções alternativas 1,3,5,6,7,9,10 e 15.

O PR atualizado permite aferir qual a melhor solução alternativa ensaiada. A simulação que apresentar o menor PR atualizado traduz a solução alternativa que necessita de menos tempo para recuperar o capital de investimento. Para a obtenção do PR atualizado foi necessário calcular o VAL e a TIR.

O VAL corresponde à diferença entre o somatório dos  $CF_{\text{atualizado}}$  durante o ciclo de vida do projeto e o investimento inicial (Nogueira, 2011). Neste estudo o VAL foi obtido mediante as variáveis conhecidas, quer isto dizer que este parâmetro foi calculado com base no  $I_0$  e  $CF_{\text{anual}}$ . Assumiu-se uma taxa de atualização ( $r$ ) constante e igual a 0,03.

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (9)$$

sendo  $t$  o ano de exploração.

Atendendo aos resultados da Tabela 16, conclui-se que as Simulações 1 e 7 apresentam VAL positivo, o que significa que são melhores economicamente que a Simulação LM Loulé.

A TIR (10) corresponde à taxa que permite igualar o somatório do  $CF_{atualizado}$  ao investimento inicial, ou seja, a taxa que permite igualar o VAL a zero (Cordeiro *et al.*, 2018).

$$-Iv + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (10)$$

O  $PR_{atualizado}$  (11) corresponde ao número de anos necessário para que se recupere investimento inicial, quer isto dizer o número de anos necessário para que o VAL seja igual a zero (Leckner and Zmeureanu, 2011).

$$PR_{atualizado} = \frac{1-(1+TIR)^{-15}}{TIR} \quad (11)$$

O  $PR_{atualizado}$  não é um indicador de rentabilidade do projeto, mas sim de risco. Posto isto, a análise económica de um projeto terá de ser fundamentada, também, com outros indicadores que não serão abordados nesta dissertação.

Na Tabela 17 apresentam-se os resultados obtidos para VAL, TIR e  $PR_{atualizado}$  relativos às Simulações 1, 3, 5, 6, 7, 9,10, e 15. No Anexo 4 podem ser consultados os valores de  $CF_{atualizado}$  obtidos ao longo do ciclo de vida do edifício, para as referidas simulações.

Tabela 17 - Período de retorno de investimento com atualização das soluções

Período de retorno de investimento com atualização das soluções					
Simulações	Somatório CF atual	$Iv$	VAL	TIR	$PR_{atualizado}$
	€	€	€		ano
modelo LM Loulé	Solução/ modelo referência para cálculo de $PR_{atualizado}$				
1	53 457,97	24 577,49	28 880,47	0,13	6,48
3	17 819,32	25 341,20	-7 521,88	-0,04	21,86
5	71 277,29	80 883,56	-9 606,27	-0,02	17,18
6	17 819,32	14 788,15	3 031,17	0,03	12,27
7	53 457,97	54 084,37	-626,41	0,00	15,19
9	17 819,32	33 450,56	-15 631,23	-0,07	29,37
10	17 819,32	37 260,20	-19 440,88	-0,09	32,92
15	35 638,64	233 968,05	-198 329,41	-0,18	108,86

No Capítulo 4 podem ser consultadas as informações relativas aos materiais constituintes do modelo LM Loulé e das soluções alternativas 1, 3, 5, 6, 7, 9,10, e 15.

Observando os valores da Tabela 17, conclui-se que as Simulações 1 e 6 conduzem a VAL e TIR positivos, o que se traduz em  $PR_{atualizado}$  viáveis. As Simulações 3, 5, 7, 9,10, e 15 apresentam VAL e TIR negativos, o que se reflete em  $PR_{atualizado}$  superiores ao ciclo de vida do projeto, não sendo exequíveis.

## 5.4 Discussão de resultados e limitações

Os resultados facilitam a escolha das soluções a aplicar na construção e renovação das lojas de retalho com base no desempenho térmico expectável do envelope, com consequentes implicações nos custos da fatura energética. Serão úteis para retalhistas e para projetistas no apoio à decisão da escolha de soluções construtivas para este tipo de edifícios.

Permitem também validar que quanto maior é a resistência térmica maior é o desempenho energético.

Os valores obtidos nos resultados das simulações de *Envidraçados* impossibilitaram um estudo comparativo de soluções. As obtenções destes resultados limitaram o estudo de soluções alternativas mais promissoras a *Paredes* e *Coberturas* do envelope do edifício.

Analisando os resultados das simulações de *Paredes* concluiu-se que a Simulação 5 (parede com elemento estrutural betão armado com 25 cm) corresponde aos maiores consumos energéticos anuais e, simultaneamente, aos menores custos anuais. A simulação 4 (painel sandwich 8 cm) representa a solução alternativa com menores consumos energéticos anuais de energia.

No que respeita às simulações de *Coberturas* observou-se que a Simulação 12 (cobertura tipo deck com revestimento em tela PVC) corresponde aos menores consumos anuais de energia. A Simulação 15 (cobertura fibrocimento (sem amianto) + laje maciça) corresponde à solução alternativa com menores custos anuais de energia.

A proporcionalidade de valores entre consumos energéticos e custos anuais de energia não se verifica. Esta constatação é facilmente retirada com a simulação 5 que apresenta maiores consumos energéticos anuais e menores custos anuais de energia.

Era expectável que fosse obtida uma proporcionalidade entre consumos energéticos e custos anuais de energia visto que é colocado o custo de 0,10€ por kWh nas *Settings* (definições) do *Plug-in Insight 360°*. Porém, não se verifica tal proporcionalidade.

Uma das hipóteses para a obtenção dos presentes resultados pode estar relacionada com o modelo BEM gerado e com a assunção de parâmetros pelo *Green Studio Building* que é a ferramenta computacional de análise energética integrada no *Autodesk Revit* (Autodesk, 2014). Consoante a variação de material de envelope, o programa pode assumir soluções de AVAC diferentes, que por sua vez serão suportadas por misturas de energia elétrica e combustível

diferentes. Assim, uma razão para a variação aparente de custo de kWh nos resultados obtidos (de 0,07 a 0,09 €/kWh em vez dos 0,10€/kWh definidos pelo utilizador) pode ter a ver com o mix energético que está a servir de base ao cálculo do custo energético, que é feito de acordo com a localização do edifício. Assim, na simulação energética verifica-se que o programa não assume o input do custo de energia dado pelo utilizador.

Esta limitação encontrada pode restringir a viabilidade económica de algumas soluções que de outra forma poderiam ser consideradas. Apesar do referido, os valores dados pelo Insight 360° foram os valores utilizados para estudar a viabilidade económica das soluções em análise.

A segunda fase desta dissertação corresponde à análise económica das soluções alternativas ensaiadas. Esta análise é necessária pois uma solução construtiva pode ter um bom desempenho térmico, mas, no entanto, ter um custo inicial de construção demasiado elevado para ser implementada. Este estudo foi feito comparando os custos de investimento e as poupanças ao longo do ciclo de vida da simulação LM Loulé (modelo de referência) com as simulações de soluções alternativas.

Relativamente aos custos de investimento, obtidos pelo site *Gerador de Preços*, observou-se que as simulações 15 (cobertura fibrocimento (sem amianto) + laje maciça) e 16 (betão armado, isolamento térmico e betonilha) correspondem aos menores e maiores custos de investimento, correspondentemente. Por outro lado, as Simulações 2 (painel sandwich 5 cm) e 5 (parede com elemento estrutural betão armado com 25 cm) apresentam os menores e os maiores custos anuais.

Comparando os custos de investimento das Simulações 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14 e 15 com a Simulação LM Loulé pode afirmar-se que estas são mais económicas.

Comparando os custos de energia anuais resultantes das simulações do *Revit* e *Plug-in Insight 360°*, com os custos de energia anuais da Simulação LM Loulé, constatou-se que as Simulações 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15 e 16 representam poupanças quando comparadas com a Simulação LM Loulé.

Posto isto, as poupanças totais de cada simulação correspondem ao somatório dos custos diferenciais e das poupanças ao longo do ciclo de vida e conclui-se que as Simulações 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 são mais económicas que a Simulação LM Loulé.

Por fim, foi calculado o  $PR_{\text{atualizado}}$  e concluiu-se que apenas as soluções 1 e 6 são economicamente viáveis. Todas as outras em que existe uma poupança total não apresentam um  $PR_{\text{atualizado}}$  viável, ou seja, inferior a quinze anos.

As soluções economicamente viáveis encontradas são a Parede 1 e 6. A solução 1 trata-se de uma parede exterior composta por bloco de betão com 25 centímetros de espessura e a solução 6 trata-se de uma parede painel *sandwich* de 10 cm. Estas soluções estão de acordo com as soluções mais encontradas na revisão de literatura e apresentadas no Capítulo 2.

O desvio entre os valores obtidos através da modelação da base do caso de estudo (LM Loulé) via *Autodesk Revit* e *Plug-in Insight 360º* e os valores das faturas energéticas de 12 meses do *Leroy Merlin* Loulé utilizados para validar o modelo foi de 0%. No que diz respeito ao Pré-certificado energético (1 211 233 kWh/ ano) há um desvio de 6,9 % em relação à estimativa efetuada e os consumos reais da loja (1 301 612 kWh/ ano).

A modelação de um projeto de arquitetura em 3D segundo a metodologia BIM é muito mais vantajosa para o utilizador, principalmente com o fim de eliminar erros durante a fase de projeto. Qualquer alteração feita nos elementos de um modelo 3D é aplicada e atualizada automaticamente a todo o modelo, o que poupa tempo e é uma das principais vantagens desta ferramenta (Arquiteto Leandro Amaral, 2021). Foi possível validar esta vantagem ao longo da elaboração dos modelos 3D construídos para as simulações da presente dissertação.

Ao longo da presente dissertação foram ainda encontradas incertezas e possíveis limitações que como sugestão podem ser exploradas com recurso a outros *softwares* BIM e BEM em estudos futuros. A interoperabilidade entre *Autodesk Revit* e *EnergyPlus* para simulações térmicas de edificações não é perfeita.

Apesar da transferência de informações ser possível, esta apresenta erros devido a distorções nas geometrias e à falta de dados necessários para a correta execução da simulação em todos os modelos de edificações exportados. Ainda se mantém recomendada a produção de modelos energéticos para o *EnergyPlus* a partir do *Plug-in Euclid* no *SketchUp* (Queiróz et al., 2019). Este poderá ser um caminho a tomar num estudo futuro.

A maior parte das limitações e incertezas encontradas ao longo do presente trabalho foram observadas nos resultados dos consumos energéticos dos modelos energéticos devolvidos pelo *Plug-in Insight 360º*, nomeadamente nos envidraçados.

Foram também encontradas outras dificuldades que revelam problemas de interoperabilidade entre BIM (*Revit*) e BEM (modelação energética), como já referidos em literatura (Fernald et al., 2018, Samuel et al., 2017e Queiróz et al., 2019).

Durante a fase inicial de criação do modelo 3D em *Autodesk Revit* não foi possível selecionar uma estação meteorológica perto do caso de estudo. Considerando a distância entre esta estação meteorológica e o *Leroy Merlin* de Loulé é possível que existam repercussões nos resultados obtidos.

O uso da opção *Varejo* (retalho) no *Building Type* do modelo energético devolveu sempre resultados muito superiores aos esperados (talvez por considerarem por defeito consumos de iluminação acima de 15 W/ m<sup>2</sup>/ ano) e, portanto, o uso desta opção não foi validado. Foi escolhida a opção *Escritório* como opção de trabalho para a análise dos modelos, como já referido anteriormente.

Na análise de resultados as simulações relativas a Envidraçados, apresentadas no Capítulo 5, foram excluídas da análise comparativa devido a resultados inconclusivos. Não obstante, o estudo de envidraçados foi alargado e testaram-se soluções adicionais para se elaborar uma melhor análise dos mesmos.

Nesta análise alargada foi utilizado um segundo modelo de base simplificada, com diferentes tipos de caixilho e de exposição solar, para verificar se as alterações nos modelos 3D se repercutiam nos resultados das simulações obtidas pelo *Plug-in Insight 360°*. Os resultados obtidos continuaram a ser insatisfatórios. Os motivos para a obtenção destes resultados podem ser diversos, desde a baixa representatividade dos envidraçados para o ganho térmico do edifício em estudo, à simplificação do impacto dos envidraçados no programa de mecânica de fluidos / simulação energética, à inexperiência no uso deste *software*.

As limitações encontradas podem ser oportunidades para futuros estudos. Como afirma Albert Einstein: “Em toda a dificuldade existe uma oportunidade.”

## 6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

A presente dissertação teve como objetivo principal a análise de potenciais soluções sustentáveis de elevado desempenho aplicadas ao envelope de superfícies comerciais em Portugal. O estudo centrou-se numa análise de caso, a loja *Leroy Merlin* de Loulé (que disponibilizou os dados e para quem os presentes resultados têm aplicabilidade).

Para esse efeito foi efetuada uma modelação inicial 3D com recurso a *Autodesk Revit* e efetuada a simulação energética do modelo através do *Plug-in Insight 360°*. Este modelo foi validado comparando os resultados obtidos com as faturas energéticas reais do edifício.

Posto isto, o objetivo principal do estudo foi cumprido, tendo-se estudado 18 soluções construtivas alternativas de *Paredes*, *Coberturas* e *Envidraçados* para o envelope da loja *Leroy Merlin* de Loulé e tendo-se seriado resultados relativamente a consumos energéticos anuais (EUI) e custos de energia anuais.

É importante referir que os resultados obtidos através das simulações dos modelos energéticos das soluções foram questionados. As simulações devolveram valores de consumos energéticos e custos anuais de energia que não se revelaram proporcionais.

Esta era uma proporcionalidade esperada devido à inserção do custo de energia unitário de 0,10€/ kWh nas *settings* do *Plug-in Insight 360°*. É levantada a hipótese de assunção de parâmetros pelo *Green Studio Building* diferentes daqueles indicados pelo utilizador. Consoante a variação de material de envelope, o programa pode assumir soluções de AVAC diferentes, que por sua vez serão suportadas por misturas de energia elétrica e combustível diferentes.

Uma razão para a variação aparente de custo de kWh nos resultados obtidos (de 0,07 a 0,09 €/kWh em vez dos 0,10€/kWh definidos pelo utilizador) pode ter a ver com o mix energético que está a servir de base ao cálculo do custo energético, que é feito de acordo com a localização do edifício. Assim, na simulação energética verifica-se que o programa não assume o input do custo de energia dado pelo utilizador. Não obstante, estes valores podem viabilizar economicamente mais soluções.

Os dados de consumos energéticos de referência e obtidos na simulação do modelo base (LM Loulé) do caso de estudo são de 148 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano. O desvio obtido entre modelo e as faturas de energia foi de 0%, o que validou o modelo criado.

Ao longo das simulações efetuadas foi permitido também validar que quanto maior é a resistência térmica dos materiais de envelope, melhor é o desempenho energético do edifício.

Os envidraçados foram excluídos da análise de resultados pois os resultados obtidos das simulações revelaram-se inconclusivos.



É de realçar que com as 18 simulações foram encontradas soluções energeticamente mais eficientes (consumos energéticos inferiores aos 148 kWh/ m<sup>2</sup>/ ano da loja): a Solução 4 de *Paredes* (painel de sanduíche 8 cm com isolamento térmico), a Solução 8 de *Coberturas* (painel sandwich 5 cm com gesso cartonado), a Solução 12 de *Coberturas* (cobertura tipo *deck* com revestimento em tela PVC) e a Solução 14 de *Coberturas* (Painel 10 cm com PUR). Porém, após análise económica e cálculo de PR<sub>atualizado</sub> estas não se mostraram viáveis.

As soluções viáveis encontradas a nível económico foram as soluções de *Paredes* 1 (Betão) e 6 (painel sandwich) pois apresentam um PR<sub>atualizado</sub> viável ( inferior a 15 anos).

A otimização energética das soluções alternativas para a envolvente em relação ao caso de estudo LM Loulé não excede 2% (Solução 12). Estes resultados indicam que o caso de estudo projetado é o mais favorável conjugando fatores energéticos e económicos.

Com o presente estudo retiram-se informações úteis relativamente ao desempenho energético dos materiais correspondentes às soluções utilizadas no envelope de edifícios de retalho. Para além de informações relativamente aos consumos dos materiais, o estudo efetuado nesta dissertação apresenta uma análise económica que também é útil para retalhistas e projetistas no apoio à decisão da escolha de soluções construtivas para edifícios de retalho, quer sejam lojas novas ou remodelações.

Apesar das limitações e incertezas encontradas, o objetivo da dissertação foi cumprido. Foram estudadas diversas soluções alternativas com o fim de elevar o desempenho energético do edifício e foram encontradas as soluções mais eficientes para o seu envelope também do ponto de vista do retorno do investimento.

Como pesquisa futura, sugere-se o estudo aprofundado de envidraçados e de outras soluções alternativas que não constem da lista de soluções mais frequentes neste tipo de edifício.

É importante referir que o estudo teve em conta o período de vida útil do edifício e não teve em conta o período de vida útil dos materiais constituintes de cada solução constitutiva. Com um estudo mais abrangente tendo em conta os dois períodos de vida útil poderiam obter-se resultados mais precisos relativamente à viabilidade das soluções.

Este estudo, com o objetivo de elevar o desempenho energético do edifício, pode revelar-se uma boa contribuição para o desenvolvimento sustentável e para a comunidade académica no que diz respeito ao sector do edificado.

## Referências Bibliográficas

- Abreu, V. (2019) Eficiência Energética Num Edifício do Setor do Retalho, <https://1library.org/document/zw3wm5vy-eficiencia-energetica-num-edificio-do-setor-do-retalho.html>
- Amaral, A. (2014) A SUSTENTABILIDADE NA CONCEÇÃO DE EDIFÍCIOS DE RETALHO, <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/39039/1/A%20sustentabilidade%20na%20concecao%20de%20edificios%20de%20retalho.pdf>
- Andrade, P. B. (2012) 'Eficiência Energética em Edifícios de Serviços', Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp. 1–134.
- 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/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.019>
- Andriamamonjy, A., Saelens, D., & Klein, R. (2019). A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation. *Journal of Building Engineering*, 22, 513–527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.12.021>
- Autodesk. (2015). Autodesk® Revit® 2015 Getting Started Guide. Autodesk Revit Getting Started Guide.
- Bissani, K., & Pereira, R. (2019). O DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL E OS TRATADOS INTERNACIONAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Revista Jurídica Da FA7*, 16(1). <https://doi.org/10.24067/rjfa7;16.1:955>
- Bragrança, L. and Mateus, R. (2019) 'Métodos de apoio à decisão para desenvolvimento de edificações mais sustentáveis', in *Ambiente Construído e Estratégias Sustentáveis*.
- Butts, D. (2016) Powering BIM—Capitalizing on Revit for Building Energy Modeling, Autodesk University. Available at: <http://au.autodesk.com/au-online/classes-ondemand/class-catalog/2016/revit/mep19638#chapter=0> (Accessed: 5 November 2017).
- Carvalho, G. O. (2019). SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA VISÃO CONTEMPORÂNEA. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(1). <https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e12019789-792>
- Cordeiro, S. A., da Silva, M. L., Neto, S. N. de O., & Oliveira, T. M. (2018). Influence of spacing simulation in the economic viability of an agroforestry system. *Brazilian Journal of Forestry and Environment*, 25(1). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.034613>

- da Silva, S. M. and de Almeida, M. G. (2010) Achieving Sustainability through Energy Efficiency while Assuring Indoor Environmental Quality, Portugal Sb10: Sustainable Building Affordable to All - Low Cost Sustainable Solution. Edited by L. Braganca et al. Univ Minho.
- Energy Services Fundamentals and Financing. (2021). In *Energy Services Fundamentals and Financing*. <https://doi.org/10.1016/c2018-0-04950-6>
- Fernald, H., Hong, S., Bucking, S., & Brien, W. O. (2018). BIM to BEM translation workflows and their challenges: a case study using a detailed BIM model. *ESim-2018*, 482–491. <http://www.ibpsa.org/proceedings/eSimPapers/2018/2-3-A-3.pdf>
- Ferreira, A., Pinheiro, M. D., de Brito, J., & Mateus, R. (2018). Combined carbon and energy intensity benchmarks for sustainable retail stores. *Energy*, 165, 877–889. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.020>
- Ferreira, A., Pinheiro, M. D., de Brito, J., & Mateus, R. (2019). Decarbonizing strategies of the retail sector following the Paris Agreement. *Energy Policy*, 135, 110999. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110999>
- Ferreira, A., Pinheiro, M. D., de Brito, J., & Mateus, R. (2020). Relating carbon and energy intensity of best-performing retailers with policy, strategy and building practice. *Energy Efficiency*, 13, 597–619. <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09840-0>
- Fischer Nunes Kita, M. (2018). ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS AOS DESAFIOS DA AGENDA 2030. *Revista Internacional de Ciências*, 8(1). <https://doi.org/10.12957/ric.2018.30754>
- Foladori, G., y Delgado Wise, R. (2020). Para comprender el impacto disruptivo del covid-19, un análisis desde la crítica de la economía política. *Revista Migración y Desarrollo*, 18(34), 139-156.
- Gálvez-Martos, J. L. et al. (2018) 'Construction and demolition waste best management practice in Europe', *Resources, Conservation and Recycling*, 136. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.04.016.
- Gómez Rudy, C. M. (2020). Consideraciones para expandir su actividad comercial e impulsar su competitividad post COVID-19. *Revista Científica CENTROS*, IX(2), 158-177. Obtenido de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros>
- Hosseini, S. M., Shirmohammadi, R., Kasaeian, A., & Pourfayaz, F. (2021). Dynamic thermal simulation based on building information modeling: A review. *International Journal of Energy Research*, 45(10), 14221–14244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/er.6740>
- Inaba, J. and Clouette B. (2014), *The Life of Buildings: Design for Adaptation*, Fall 2014 Joint Studio Syllabus, [http://www.columbia.edu/cu/arch/courses/facsyl/20143/67796\\_014\\_2014\\_3\\_140902\\_Tokyo%20Design%20Studio.pdf](http://www.columbia.edu/cu/arch/courses/facsyl/20143/67796_014_2014_3_140902_Tokyo%20Design%20Studio.pdf)

- Kagan, J. (2021). Payback Period Definition. In Investopedia.
- Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. In *Automation in Construction* (Vol. 97, pp. 164–180). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>
- Leckner, M., & Zmeureanu, R. (2011). Life cycle cost and energy analysis of a Net Zero Energy House with solar combisystem. *Applied Energy*, 88(1), 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.031>
- Long, N., Fleming, K., CaraDonna, C., & Mosiman, C. (2021). BuildingSync: A schema for commercial building energy audit data exchange. *Developments in the Built Environment*, 7, 100054. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100054>
- Loureiro, S. M., Pereira, V. L. D. do V., & Pacheco Júnior, W. (2016). A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável na educação em engenharia. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20(1), 306. <https://doi.org/10.5902/2236117019818>
- Mahiwal, S. G., Bhoi, M. K., & Bhatt, N. (2021). Evaluation of energy use intensity (EUI) and energy cost of commercial building in India using BIM technology. *Asian Journal of Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00352-5>
- Najjar, M. K., Tam, V. W. Y., Di Gregorio, L. T., Evangelista, A. C. J., Hammad, A. W. A., & Haddad, A. (2019). Integrating parametric analysis with building information modeling to improve energy performance of construction projects. *Energies*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/en12081515>
- Nejeliski, D. M., Duarte, L. D. C., & Ferreira, É. D. S. (2020). USO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS ISOLANTES. *MIX Sustentável*, 7(1). <https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2020.v7.n1.47-60>
- Nogueira, N. (2011). *O que é o Valor Atualizado Líquido (VAL)?* Portal Gestão.
- Oliveira, A. S. (2020). O TRATAMENTO DIFERENCIADO DOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO NO DIREITO INTERNACIONAL AMBIENTAL: PERSPECTIVAS A PARTIR DO ACORDO DE PARIS. *Novos Estudos Jurídicos*, 25(1). <https://doi.org/10.14210/nej.v25n1.p186-207>
- Oliveira, M. F. et al. (2020) 'SUSTENTABILIDADE, CERTIFICAÇÃO LEED E USUÁRIO: ESTUDO EM RETROFIT DE EDIFÍCIO CORPORATIVO', *MIX Sustentável*, 6(3). doi: 10.29183/2447-3073.mix2020.v6.n3.91-106.
- Pezeshki, Z., Soleimani, A., & Darabi, A. (2019). Application of BEM and using BIM database for BEM: A review. *Journal of Building Engineering*, 23, 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.021>
- Pinheiro, M. D. (2010) Manual para projectos de licenciamento com sustentabilidade segundo o sistema LiderA., 4Rs. doi: 10.13140/2.1.4477.3444.

- Pinheiro, M. D.(2019) Sustentabilidade na Gestão Ambiental, [https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/21994/1/EBOOK\\_SGA2019.pdf](https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/21994/1/EBOOK_SGA2019.pdf)
- Pinto, R. M. das N. (2014). Reabilitação energética de um edifício de serviços: convergência para NZEB. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: subsídios para a promoção da construção civil sustentável. São Paulo: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2014. 133 p.
- P&R - ADENE (2019) 'Sistema de Certificação Energética dos Edifícios ( SCE ) - Perguntas & Respostas', *ADENE*.
- Pučko, Z., Maučec, D. and Šuman, N. (2020) 'Energy and cost analysis of building envelope components using BIM: A systematic approach', *Energies*, 13(10). doi: 10.3390/en13102643
- Queiróz, G. R. de, Grigoletti, G. de C., & Santos, J. C. P. dos. (2019). Interoperability between Autodesk Revit and EnergyPlus for thermal simulations of buildings. *PARC Pesquisa Em Arquitetura e Construção*, 10. <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652852>
- Q. Lu, M.P. Student, A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide, *J. Inf. Technol. Constr.* 20 (July) (2015) 442–478 (<https://www.itcon.org/paper/2015/27>).
- Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia. (2014). *Revista Política Hoje*, 23(1), 193–215.
- Sampaio, A. Z., & Gomes, A. M. (2021). BIM Interoperability Analyses in Structure Design. *CivilEng*, 2(1), 174–192. <https://doi.org/10.3390/civileng2010010>
- Samuel, E. I., Joseph-Akwara, E., & Richard, A. (2017). Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy. *Frontiers of Architectural Research*, 6(1). <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.01.002>
- Seifhashem, M., Capra, B. R., Milller, W., & Bell, J. (2018). The potential for cool roofs to improve the energy efficiency of single storey warehouse-type retail buildings in Australia: A simulation case study. *Energy and Buildings*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.034>
- Spinelli, R., Cambeiro, F. P., & Konrad, O. (2017). Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(3), 121–135. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.003.0011>
- Sugahara, E. S., Freitas, M. R. de and Cruz, V. A. L. da (2021) 'ANÁLISE DAS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS DE EDIFICAÇÕES', *Interação - Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 23(1). doi: 10.33836/interacao.v23i1.285.AMARA
- Tushar, Q., Bhuiyan, M. A., Zhang, G., & Maqsood, T. (2021). An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125622. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125622>

- van Ooteghem, K., & Xu, L. (2012). The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada. *Building and Environment*, 49(1). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.028>
- Vaquero, P. (2020). Buildings Energy Certification System in Portugal: Ten years later. *Energy Reports*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.023>
- Vinicius Pereira Holanda, M. and Lacroix, I. (2018) 'CONFERÊNCIA ENTRE SOFTWARES DE REPRESENTAÇÃO DE PROJETO DE ARQUITETURA (REPRESENTAÇÃO 2D AUTOCAD E BIM REVIT)', Programa de Iniciação Científica - PIC/UniCEUB - Relatórios de Pesquisa, (2). doi: 10.5102/pic.n2.2016.5547.
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>

### Sites da Web

- ArchDaily, Novas estimativas da ONU para a população mundial em 2100, 2013, <https://www.archdaily.com.br/01-131885/novas-estimativas-da-onu-para-a-populacao-mundial-em-2100> , consultado em maio de 2021
- ArchDaily Brasil. Trad. Souza, Eduardo (Carvalho, 2019), Como calcular a transmitância térmica (valor U) na envoltória de um edifício?, 2018, <https://www.archdaily.com.br/899167/como-calcular-a-transmitancia-termica-valor-u-na-envoltoria-de-um-edificio> , consultado em junho 2021
- Arquiteto Leandro Amaral, BIM Arquitetura: Porque é importante? 2021 <https://arquitetoleandroamaral.com/bim-arquitetura/> , consultado em maio de 2021
- Autodesk, Assumptions and Default Values in GBS, 2014, <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-GBSWebService/files/GUID-051B623C-279A-400A-BDE0-06BB54FED673-htm.html> consultado em outubro de 2021
- Berkeley Lab, Cool Roofs Really Can Be Cool, 2011, <https://newscenter.lbl.gov/2011/11/03/cool-roofs-really-can-be-cool/> , consultado em junho 2021
- Colégio Qi, A questão energética na atualidade, 2015, <http://educacao.globo.com/artigo/questao-energetica-na-atualidade.html>, consultado em setembro de 2021
- Copyright © 2014 Rio Renovável, Tipos de Telhados Frios, 2014, <https://riorenovavel.com/efficient-design/cool-roofs> , consultado em maio de 2021
- CYPE Ingenieros, S.A., Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A., <http://www.geradordeprecos.info/> , consultado em maio de 2021

- DECO PROTESTE, Certificado energético: o que é, onde pedir e quanto custa, 2020, <https://www.deco.proteste.pt/dinheiro/comprar-vender-casa/noticias/certificado-energetico-o-que-e-onde-pedir-quanto-custa> , consultado em maio de 2021
- Diário da República, 2.<sup>a</sup> série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013, Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, 2013, <https://gestao.academiaadene.pt/download/pt/13-despacho-15793-f2013-zonamento-climatico-e-respetivos-dados.pdf> , consultado em junho 2021
- DGEG, Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios, 2021, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/> consultado em maio de 2021
- EDP Distribuição, Manual de ligações à rede, 2018, [https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o\\_Manual\\_Ligacoes\\_Rede\\_2018\\_9%C2%AA\\_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://www.edpdistribuicao.pt/sites/edd/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Ligacoes_Rede_2018_9%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf), consultada em maio de 2021
- European Commission, Energy performance of buildings directive, 2021, [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en), consultado em abril de 2021
- PORDATA, Consumo de energia elétrica: total e por sector de atividade económica, 2021, <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+sector+de+atividade+econ%C3%B3mica-1125-9096> , consultado em maio de 2021
- U.S. Department of Energy, “Energy Efficiency Building Envelope”, 2017, [http://www2.lbl.gov/mfea/assets/docs/posters/17\\_MEAW\\_Poster\\_Selk\\_Envelope\\_Final.pdf](http://www2.lbl.gov/mfea/assets/docs/posters/17_MEAW_Poster_Selk_Envelope_Final.pdf), consultado em maio de 2021
- Vendramini, Roberta & Professores Convidados, Revit Viabilidade Aula 3.5: Norte verdadeiro e Norte do projeto - Rumo e Azimute, 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=gBtLu8MfdCY> , consultado em abril de 2021
- WWF (2016) O que é desenvolvimento sustentável? World Wide Fund for Nature Brasil.

## **Anexos**



# Anexo 1 – Pré- certificado energético

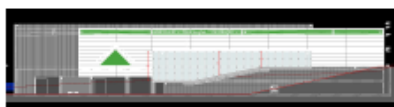


Certificação Energética e Ar Interior  
EDIFÍCIOS

## Pré-Certificado Energético

Grande Edifício de Comércio e Serviços

SCE132773528  
Válido até 27/09/2026



### IDENTIFICAÇÃO POSTAL

Morada CALIÇOS - LOTEAMENTO 1/2015, LOTE 3  
Localidade ALMANCIL  
Freguesia ALMANCIL  
Concelho LOULE

GPS 37.087808, -7.987725

### IDENTIFICAÇÃO PREDIAL/FISCAL

Conservatória do Registo Predial de LOULÉ  
Nº de Inscrição na Conservatória 11826  
Artigo Matricial nº 11866

Fração Autónoma

### INFORMAÇÃO ADICIONAL

Area útil de Pavimento 16.473,80 m<sup>2</sup>

Leroy Merlin Loulé

Este certificado apresenta a classificação energética deste edifício ou fração. Esta classificação é calculada comparando o desempenho energético deste edifício nas condições atuais, com o desempenho que este obtaria nas condições mínimas (com base em valores de referência ou requisitos aplicáveis para o ano assinalado) a que estão obrigados os edifícios novos. Saiba mais no site da ADENE em [www.adene.pt](http://www.adene.pt).

### INDICADORES DE DESEMPENHO

Determinam a classe energética do edifício e a eficiência na utilização de energia, incluindo o contributo de fontes renováveis. São apresentados comparativamente a um valor de referência e calculados em condições padrão.

Aquecimento Ambiente	
Referência:	1,4 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Edifício:	0,4 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Renovável	- %

**68%**  
MAIS eficiente  
que a referência

Arrefecimento Ambiente	
Referência:	24 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Edifício:	22 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Renovável	- %

**6%**  
MAIS eficiente  
que a referência

Iluminação	
Referência:	31 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Edifício:	31 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Renovável	- %

IGUAL  
a referência

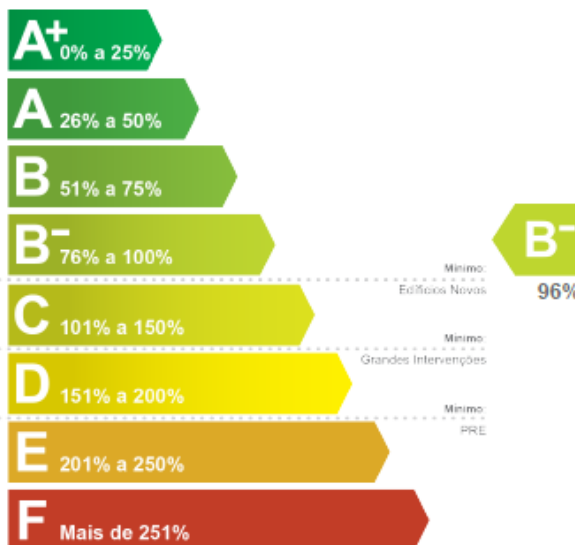
Água Quente Sanitária	
Referência:	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Edifício:	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Renovável	%

IGUAL  
a referência

### CLASSE ENERGÉTICA

Mais eficiente

Julho 2006    Dez. 2013    Janeiro 2016



### ENERGIA RENOVÁVEL

Contributo de energia renovável no consumo de energia deste edifício.



### EMISSIONES DE CO<sub>2</sub>

Emissões de CO<sub>2</sub> estimadas devido ao consumo de energia.



Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



Direcção Geral  
de Energia e Geologia

1 de 7

#### DESCRIÇÃO SUCINTA DO EDIFÍCIO OU FRAÇÃO

O presente pré-certificado é referente a um grande edifício de serviços, localizado numa zona rural na freguesia de Almancil, concelho de Loulé, zona climática I1-V3, a uma altitude de 80 m e uma distância à costa marítima de 8,0 km. O edifício encontra-se isolado, possuindo fachadas nas orientações noroeste, nordeste, sudoeste e sudeste. Apresenta uma tipologia principal de "Vendas por Grosso", sendo composto por um único corpo, com dois pisos acima da cota soleira. As soluções construtivas conferem uma inércia térmica média ao edifício. O edifício dispõe de três sistemas de climatização autónomos do tipo "Rooftop" reversíveis (bomba de calor), alimentados a energia eléctrica, para a climatização do espaço de vendas e escadas rolantes adjacentes à loja. Para os gabinetes e escritórios encontra-se preconizado um sistema do tipo VRF alimentado a energia eléctrica. A renovação de ar do espaço de vendas e da zona das escadas rolantes será efectuada directamente pelas unidades "Rooftop", enquanto na zona de gabinetes e escritórios será efectuada por intermédio de uma unidade de tratamento de ar. Dada a tipologia do edifício, não se prevê o consumo de águas quentes sanitárias. A iluminação será efectuada por intermédio de luminárias com tecnologia Fluorescente e LED.

#### CONSUMOS ESTIMADOS POR FORMA DE ENERGIA

Representa uma previsão do consumo das diversas formas de energia utilizadas no edifício. Este consumo é estimado para um ano, tendo em consideração condições padrão no que respeita à utilização do edifício e dos seus sistemas técnicos. Caso não existam sistemas de climatização na previsão do consumo, considera-se a existência de um sistema por defeito.



#### CONSUMOS ESTIMADOS POR TIPOLOGIA

O gráfico apresenta uma previsão do consumo de energia para a(s) tipologia(s) do edifício com maior consumo, desagregado por diversos usos, tendo sido consideradas condições padrão no que respeita à utilização do mesmo e seus sistemas técnicos. Caso não existam sistemas de climatização na previsão do consumo, considera-se a existência de um sistema por defeito.

Principais Tipologias	Área [m <sup>2</sup> ]	Consumos [kWh/ano]	Distribuição de Consumos por Uso [%]			Legenda
			Aquecimento	Arrefecimento	Iluminação	
Vendas por grosso	8.799	1.211.233	17	41	42	<ul style="list-style-type: none"> <li> Aquecimento</li> <li> Arrefecimento</li> <li> Iluminação</li> <li> Água Quente Sanitária</li> <li> Outros</li> </ul>

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



#### PROPOSTAS DE MEDIDAS DE MELHORIA

Não foram identificadas medidas de melhoria.



Face ao reduzido potencial de melhoria, não são propostas quaisquer medidas no âmbito do processo de certificação energética

#### CONJUNTO DE MEDIDAS DE MELHORIA

O gráfico representa o Impacte no consumo de energia e custo associado. A desagregação apresentada, reflete o Impacte Individual de cada medida de melhoria, bem como de um conjunto de medidas seleccionadas pelo Perito Qualificado.

Formas de Energia = Custo  
[€/kWh]

CLASSE ENERGÉTICA  
CENÁRIO FINAL

-  Medidas de melhoria incluídas na avaliação do cenário final.
-  Medidas de melhoria não incluídas na avaliação do cenário final.



#### RECOMENDAÇÕES SOBRE SISTEMAS TÉCNICOS

Dada a natureza e diversidade dos edifícios de comércio e serviços, estes apresentam um potencial de melhoria e otimização muito variado. Pese embora este facto, os sistemas técnicos responsáveis pelo aquecimento e arrefecimento, bem como pela produção de águas quentes sanitárias, são determinantes no consumo de energia. Face a essa importância é essencial que sejam promovidas, com regularidade, ações que assegurem o correto funcionamento desses equipamentos, especialmente em sistemas com caldeiras que produzam água quente sanitária e/ou aquecimento, bem como sistemas de ar condicionado. A implementação destas ações em articulação com um Técnico de Instalação e Manutenção (TIM), contribuem para manter esses sistemas regulados de acordo com as suas especificações, garantir a segurança e o funcionamento otimizado do ponto de vista energético e ambiental.

Nas situações de aquisição de novos equipamentos ou de substituição dos atuais, deverá obter, através um técnico qualificado, informação sobre o dimensionamento e características adequadas em função das necessidades. A escolha correta de um equipamento permitirá otimizar os custos energéticos e de manutenção durante a vida útil do mesmo.

Estas recomendações foram produzidas pela ADENE - Agência para a energia. Caso necessite de obter mais informações sobre como melhorar o desempenho dos seus equipamentos, contacte esta agência ou um técnico qualificado.

#### DEFINIÇÕES

**Energia Renovável** - Energia proveniente de recursos naturais renováveis como o sol, vento, água, biomassa, geotermia entre outras, cuja utilização para suprimento dos diversos usos no edifício contribui para a redução do consumo de energia fóssil deste.

**Emissões CO<sub>2</sub>** - Indicador que traduz a quantidade de gases de efeito de estufa libertados para a atmosfera em resultado do consumo de energia nos diversos usos considerados no edifício.

**Valores de Referência** - Valores que expressam o desempenho energético dos elementos construtivos ou sistemas técnicos e que conduzem ao cenário de referência determinado para efeito de comparação com o edifício real.

**Condições Padrão** - Condições consideradas na avaliação do desempenho energético do edifício, admitindo-se para este efeito, uma temperatura interior compreendida entre 20°C e 25°C.

**Plano de Racionalização Energética (PRE)** - Plano para a implementação de um conjunto de medidas exequíveis e economicamente viáveis, identificadas através de uma avaliação energética. A obrigação de implementação deste plano, é determinada de acordo com um conjunto de critérios e apenas aplicável aos Grandes Edifícios de Serviços.

#### INFORMAÇÃO ADICIONAL

Tipo de Certificado Pré-Certificado Novo

Morada Alternativa Caliços - Loteamento 1/2015, Lote 3,

Nome do PQ MANUEL LUIS LOPES PORTELA

Número do PQ PQ01194

Data de Emissão 27/09/2016

#### NOTAS E OBSERVAÇÕES

A classe energética foi determinada com base na comparação do desempenho energético do edifício nas condições em que este se encontra, face ao desempenho que o mesmo teria com uma envolvente e sistemas técnicos de referência. Considera-se que os edifícios devem garantir as condições de conforto dos ocupantes, pelo que, caso não existam sistemas de climatização no edifício/fracção, assume-se a sua existência por forma a permitir comparações objetivas entre edifícios.

Os consumos efetivos do edifício/fracção podem divergir dos consumos previstos neste certificado, pois dependem da ocupação e padrões de comportamento dos utilizadores.

- Pré-Certificado limita-se a garantir a conformidade do projecto em questão com o regulamento. Não é tida em conta qualquer conformidade com regras definidas pelo IPAAR ou planos de ordenamento;
- Qualquer alteração em obra aos projectos licenciados obriga à elaboração de novo projecto a efectuar pelo projectista de modo a verificar se essas alterações garantem o cumprimento do regulamento. No final da obra, o perito irá confirmar essas alterações de modo a certificar o edifício;
- O Técnico Responsável/Director da Obra é responsável pelo cumprimento do projecto em obra, devendo fazer uma reportagem fotográfica da execução ao pormenor (literalmente);
- O Coordenador de Segurança em Obra é legalmente responsável pela elaboração da Compilação Técnica (DL 273/2003), documento que passou a ser essencial para verificação da conformidade dos equipamentos e materiais com a marcação CE;
- Qualquer alteração ao projecto não confirmada pelo projectista ou perito, irá resultar na não emissão do Certificado Energético e, em consequência, da Licença de Utilização, se as mesmas alterações não cumprirem os requisitos regulamentares;
- Aconselha-se o promotor a informar o projectista e a contratar um perito de modo a que possam acompanhar a obra.

Entidade Gestora



Entidade Fiscalizadora



Esta secção do certificado energético apresenta, em detalhe, os elementos considerados pelo Perito Qualificado no processo de certificação do edifício/fracção. Esta informação encontra-se desagregada entre os principais indicadores energéticos e dados climáticos relativos ao local do edifício, bem como as soluções construtivas e sistemas técnicos identificados em projeto e/ou durante a visita ao imóvel. As soluções construtivas e sistemas técnicos encontram-se caracterizados tendo por base a melhor informação recolhida pelo Perito Qualificado e apresentam uma indicação dos valores referenciais ou limites admissíveis (quando aplicáveis).

RESUMO DOS PRINCIPAIS INDICADORES			DADOS CLIMÁTICOS	
Síglia	Descrição	Valor / Referência	Descrição	Valor
IEE	Indicador de Eficiência Energética (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	213,5 / 219,6	Altitude	80 m
IEEs	Indicador de Eficiência Energética de Consumos do tipo S (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	164,2 / 170,3	Graus-dia (18° C)	870
IEEt	Indicador de Eficiência Energética de Consumos do tipo T (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	49,3 / 49,3	Temperatura média exterior (I / V)	11,69 / 23,1 °C
IEEren	Indicador de Eficiência Energética Renovável (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	0,0	Zona Climática de Inverno	11
Eren, ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,0	Zona Climática de verão	V3

Descrição dos Elementos Identificados	Área Total [m <sup>2</sup> ]	Coeficiente de Transmissão Térmica* [W/m <sup>2</sup> .°C]		
		Solução	Referência	Máximo
<b>Paredes</b>				
PD - Parede exterior com espessura de 6.0cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: espuma rígida de poluretano (PUR), em painéis sanduíche de 35-50 kg/m <sup>3</sup> (Rt=1.62m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 6.0 cm;	2248,8	0,56	0,70	0,70
PD1 - Parede interior em contacto com Espaços não Úteis, com espessura de 51.3cm, com a seguinte composição: blocos de betão normal de 30 cm (Rt=0.37m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 30.0 cm; caixa de ar (fluxo horizontal) de 200 mm (Rt=0.18m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 20.0 cm; placa de gesso cartonado de 750-1000 kg/m <sup>3</sup> (Rt=0.05m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 1.3 cm;	452,3	1,16	0,70	2,00
<b>Coberturas</b>				
COB - Cobertura exterior com espessura de 34.0cm, cor branca (tonalidade clara), com a seguinte composição: tecto ou cobertura em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 21 a 28cm de altura (2 fiadas de furos) de ~30 cm (Rt=0.23m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 23.0 cm; la de rocha de 35-100 kg/m <sup>3</sup> (Rt=2.50m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 10.0 cm; membrana impermeabilizante flexível impregnada com betume (Rt=0.04m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 1.0 cm;	8005,2	0,34	0,50	0,50
<b>Pavimentos</b>				
PAV1 - Pavimento térreo com espessura de 70.0cm, com a seguinte composição: mosaico cerâmico (Rt=0.02m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 2.0 cm; betonilha de argamassas tradicionais de 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> (Rt=0.02m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 2.0 cm; betão normal de 2300 kg/m <sup>3</sup> (Rt=0.21m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 35.0 cm; membrana impermeabilizante flexível impregnada com betume (Rt=0.04m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 1.0 cm; betonilha de argamassas tradicionais de 1800-2000 kg/m <sup>3</sup> (Rt=0.08m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 10.0 cm; betão armado de inertes correntes com percent. de armadura = 1% (vol) de 2300-2400 kg/m <sup>3</sup> (Rt=0.10m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 20.0 cm;	1450,6	1,00	1,00	-
PAV - Pavimento interior em contacto com Espaços não Úteis, com espessura de 38.0cm, com a seguinte composição: mosaico cerâmico (Rt=0.01m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 1.0 cm; la de rocha de 35-100 kg/m <sup>3</sup> (Rt=2.00m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 8.0 cm; betão armado de inertes correntes com percent. significativa de armadura paralela ao fluxo de calor de ~ 2400 kg/m <sup>3</sup> (Rt=0.12m <sup>2</sup> .°C/W) com espessura de 29.0 cm;	7051,9	0,41	0,50	-

\* Menores valores representam soluções mais eficientes.

Entidade Gestora



Entidade Fiscalizadora



5 de 7



VÃOS ENVIDRAÇADOS

Descrição dos Elementos Identificados	Área Total [m <sup>2</sup> ]	Coef. de Transmissão Térmica [W/m <sup>2</sup> .°C]		Fator Solar	
		Solução	Referência	Vidro	Global
Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, fixo com calilhão simples metálico com corte térmico e sem quadricula, com vidro duplo laminado + incolor Guardlan Float ExtraClear 10+10 com PVB Clear 1.52 + 16mm Ar + SunGuard SN 70/37 HT; permeabilidade ao ar: classe 4; Uwdn = 3.70 W/m <sup>2</sup> .°C	66,0	3,70	4,30	0,36	0,36
Vão horizontal (clarabóia) inserido em cobertura/techo, de abertura fixa/gratória em PVC com 10mm; permeabilidade ao ar: classe 4; Uwdn = 2,54 W/m <sup>2</sup> .°C	548,0	2,54	4,30	0,49	0,49

\* Menores valores representam soluções mais eficientes.

SISTEMAS TÉCNICOS E VENTILAÇÃO

Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Desempenho Nominal*	
				Solução	Ref.
<b>Compacto</b> Unidades autónomas do tipo Rooftop/Bomba de calor marca/gama/modelo Lennox E027AH160FM1M RE, com uma capacidade calorífica unitária de 158,51 e uma capacidade frigorífica unitária de 154,64 kW, com rendimentos COP=3,88 / EER=3,18. Esta unidade serve a área de venda. Estas unidades são responsáveis pela climatização da zona de vendas.	☒	3.148,32	317,02	3,88	3,20
		160.288,00	309,28	3,18	2,80
Unidades autónomas do tipo Rooftop/Bomba de calor marca/gama/modelo Lennox BAH 030 DNM3M BEH, com uma capacidade calorífica unitária de 24,9 e uma capacidade frigorífica unitária de 24,8 kW, com rendimentos COP=3,88 / EER=3,18. Esta unidade serve a área de venda. Esta unidade é responsável pela climatização da zona de escadas rolantes.	☒	275,48	24,90	3,30	3,20
		14.025,20	24,80	2,87	2,80

\*Valores maiores representam soluções mais eficientes.

Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Desempenho Nominal*	
				Solução	Ref.
<b>VRF</b> Sistema de climatização do tipo VRF reversível (bomba de calor), alimentado a energia eléctrica, marca/gama/modelo Mitsubishi PUHY-P350YKB, com uma potência térmica para aquecimento/arrefecimento unitária de 45,0/40,0 kW, e eficiências respectivas COP/EER de 4,04/3,42. Estas unidades são responsáveis pela climatização da lavandaria.	☒	393,54	45,00	4,04	3,40
		20.036,00	40,00	3,42	3,00

\*Valores maiores representam soluções mais eficientes.



Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Tipo de Espaço	Caudal de Ar [m³/h]	
			Insuflação*	Extração
<b>Sistemas de Ventilação</b>				
		Sala de reuniões	200,00	200,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Sala de reuniões	400,00	400,00
		Salas de aula	750,00	750,00
		Lojas e similares	6000,00	6000,00
		Salas de repouso	21750,00	21750,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Sala de reuniões	200,00	200,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Copa	100,00	100,00
		Café, pastelaria e similares	350,00	350,00
		Atrio e circulações	1650,00	1650,00
		Gabinetes	50,00	50,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Lojas e similares	600,00	600,00
		Atrio e circulações	950,00	950,00
		Gabinetes	50,00	50,00
		Gabinetes	100,00	100,00
		Gabinetes	150,00	150,00

A renovação de ar do espaço de vendas e da zona das escadas rolantes será efectuada directamente pelas unidades "Rooftop", enquanto na zona de gabinetes e escritórios será efectuada por intermédio de uma unidade de tratamento de ar.



\*Respetante apenas a caudal de ar novo

Legenda:

Uso

- Aquecimento Ambiente
- Arrefecimento Ambiente
- Água Quente Sanitária
- Iluminação
- Outros Usos (Elev, Exit)
- Ventilação e Extração

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



Direcção Geral  
de Energia e Geologia

## AFIXAÇÃO DO CERTIFICADO ENERGÉTICO

### VERSÕES ALTERNATIVAS OU COMPLEMENTARES

#### Nota de apoio à utilização da informação nesta página

De acordo com o estabelecido no Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto, os edifícios ou frações de comércio e serviços devem afixar os certificados energéticos em posição visível e de destaque. Esta obrigação recai, tipicamente, sobre edifícios que apresentem uma área útil de pavimento superior a 500m<sup>2</sup>, ou, a partir de 1 de Julho de 2015, superior a 250m<sup>2</sup> e refere-se em concreto à afixação da 1ª página do certificado.

Para além deste dever, a afixação do certificado energético demonstra um compromisso e preocupação com aspetos relacionados com o desempenho energético dos edifícios. Permite igualmente dar a conhecer aos utilizadores do edifício, o desempenho energético que este apresenta.

Atendendo à possibilidade de alguns edifícios apresentarem constrangimentos na afixação da 1ª página do certificado, quer pela sua dimensão em A4, quer pela inexistência de um local que o permita fazer de uma forma visível e destacada, foram criadas versões alternativas.

As versões alternativas aqui apresentadas, podem ser usadas como alternativa ou complemento da 1ª página do certificado energético. A escolha do modelo a utilizar fica ao critério do proprietário, podendo este utilizar qualquer uma das versões apresentadas.

O layout desta página encontra-se preparado para dar resposta à impressão sobre papel autocolante. Para esse efeito, poderá ser usado qualquer papel A4 que apresente uma configuração de 4 etiquetas por página (etiquetas com 105mm x 148,5mm).

Em algumas circunstâncias, poderá ser especialmente relevante a compatibilidade entre o suporte onde a etiqueta será afixada e o tipo de papel escolhido, bem como a exposição que o mesmo terá ao exterior.



Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS

### Pré-Certificado Energético

Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCB19277928



Entidade Gestora



Entidade Fiscalizadora



Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS

### Pré-Certificado Energético

Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCB19277928



Entidade Gestora



Entidade Fiscalizadora





**Anexo 2 - Faturas energéticas de 2018 para validação  
do modelo BIM do caso de estudo**

EDP Distribuição - anassferreira@ x E-REDES Online - Área Reservada x

https://online.e-redes.pt/premises

REDES Locais de Consumo Pedidos Edgar Rebelo Hortas Malato Sair

## Onde quer começar?

Partilha de dados 1 - 3 de 3

Pesquise por CPE ou Morada

Locais Todos Estado Todos Distrito Faro Nível de tensão Todos

	Descrição	Data de certificação	CPE	Morada do local de consumo	Tipo local de consumo	Nível de Tensão	Estado
<input type="checkbox"/>	LOULE	28-01-2019	PT0002990126099857RB Local Próprio	ZONA COMPLEXO IKEA LOULE	Local comercial	Média tensão	Ativo

## Anexo 2 - Consulta de faturas energéticas 2018

Anexo 2 - Valores das faturas energéticas de 2018 para validação do modelo BIM do caso de estudo

Tabela de Leituras	Energia Ativa Super Vazio (kWh)	Energia Ativa Vazio Normal (kWh)	Energia Ativa Ponta (kWh)	Energia Ativa Cheias (kWh)	Energia Reativa Consumida vazio (kVAh)	Energia Reativa Consumida fora vazio (kVAh)	Energia Reativa Reativa Fornecida vazio (kVAh)	Energia Reativa Reativa Fornecida fora vazio (kVAh)	
Data leitura									
31/12/2018	4 662	23 808	16 255	35 108*	277	554	7 453	7 776	
2018-11-30	4 302	19 247	15 751	34 162*	117	371	6 588	7 994	
2018-10-31	2 736	10 790	5 447	25 634*	212	1218	3 571	2813	
falta setembro									
2018-08-31	10 739	35 760	15 191	72 049	10 690,00	14 550	115	88	
2018-07-31	6 318	27 095	13 116	62 144	3 578,00	10 640	3 829	2 321	
2018-06-30	5 130	22 880	10 906	55 772	1 833,00	6 313	5 127	4 165	
2018-05-31	5 666	25 914	10 376	50 723	1 077,00	2 602	5 855	4 694	
2018-04-30	4 994	24 099	9 680	45 288	342	827	7 412	8 226	
2018-03-31	5 391	24 700	18 660	4 114	353	1 093	6 944	6 663	
2018-02-28	5 025	23 664	22 285	47 168	866,00	3 462	5 520	38 36	
2018-01-31	8 064	27 195	23 564	53 116	988,00	1 948	5 006	4 731	
2017-12-31	12 616	31 064	15 214	39 493	440,00	456	57 12	5 291	
2017-12-07	0	0	0	0	0	0	0	0	
Somatório Individuais	75 623	296 216	176 445	566 771	20 773	44 034	63 132	58 618	
Somatório Total	1 301 612	*Leituras com painéis fotovoltaicos							
Certificado energético (m²)	8 799								
Resultado (kWh/m².ano)	148								

**Anexo 3- Parcelas de custos calculados para a  
obtenção do custo de investimento de cada solução  
simulada**

Anexo 3 - Parcelas de custos calculados para a obtenção do custo de investimento de cada solução simulada

SIMULAÇÕES	CUSTOS														
	Paredes			Cobertura			Envidraçados			Paredes Interiores			Lajes		
	Área	Custo unitário	Custo	Área	Custo unitário	Custo	Área	Custo unitário	Custo	Área	Custo unitário	Custo	Área	Custo unitário	Custo
	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)
modelo LMLoulé	6 943	70	485 857	9 292	80	743 624	305	123	37 376	6 543	25	164 157	37 309	104	3 862 202
1		66	461 279												
2		53	364 497												
3		66	460 516												
4	6 943	75	519 182	9 292	80	743 624	305	123	37 376	6 543	25	164 157	37 309	104	3 862 202
5		58	404 973												
6		68	471 069												
7		62	431 772												
8					81	754 124									
9					76	710 174									
10					76	706 364									
11					80	745 669									
12	6 943	70	485 857	9 292	59	551 005	305	123	37 376	6 543	25	164 157	37 309	104	3 862 202
13					70	654 237									
14					60	557 416									
15					55	509 656									
16					99	922 864									

(Gerador de preços para custo €/ m<sup>2</sup>)

**Anexo 4- Cash-Flow atualizado para o ciclo de vida de  
15 anos - Simulações de *Paredes e Coberturas***

Anexo 4 - Cash-Flow atualizado para o ciclo de vida de 15 anos - Simulações de Paredes e Coberturas

Simulações	ANO															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Simulação_1	4477,99	4347,56	4220,94	4098,00	3978,64	3862,75	3750,25	3641,02	3534,97	3432,01	3332,05	3235,00	3140,77	3049,29	2960,48	2874,25
	-	6981,49	9909,67	14741,70	21929,85	32622,98	49530,17	72193,79	107395,96	159782,94	237694,40	353551,13	529544,98	782369,22	1163902,22	1731428,61
Simulação_3	1462,66	1449,19	1406,98	1368,00	1326,21	1287,59	1250,08	1213,67	1178,32	1144,00	1110,68	1078,33	1046,92	1016,43	986,83	958,08
	-	1449,19	1406,98	1368,00	1326,21	1287,59	1250,08	1213,67	1178,32	1144,00	1110,68	1078,33	1046,92	1016,43	986,83	958,08
Simulação_5	5970,65	5796,75	5627,91	5463,99	5304,85	5150,34	5000,33	4854,69	4713,29	4576,01	4442,73	4313,33	4187,70	4065,73	3947,31	3832,34
	-	5863,94	5818,21	5743,45	5669,66	5596,81	5524,89	5453,91	5383,83	5314,65	5246,37	5178,96	5112,41	5046,73	4981,88	4917,87
Simulação_6	1462,66	1449,19	1406,98	1368,00	1326,21	1287,59	1250,08	1213,67	1178,32	1144,00	1110,68	1078,33	1046,92	1016,43	986,83	958,08
	-	1412,21	1336,08	1264,07	1195,93	1131,47	1070,48	1012,78	958,16	906,54	857,67	811,44	767,70	726,32	687,17	650,13
Simulação_7	4477,99	4347,56	4220,94	4098,00	3978,64	3862,75	3750,25	3641,02	3534,97	3432,01	3332,05	3235,00	3140,77	3049,29	2960,48	2874,25
	-	4364,35	4234,13	4117,23	4003,55	3893,01	3785,53	3681,01	3579,38	3480,55	3384,46	3291,01	3200,15	3111,79	3025,88	2942,33
Simulação_9	1462,66	1449,19	1406,98	1368,00	1326,21	1287,59	1250,08	1213,67	1178,32	1144,00	1110,68	1078,33	1046,92	1016,43	986,83	958,08
	-	1565,36	1641,60	1721,55	1805,40	1893,33	1985,54	2082,24	2183,66	2290,01	2401,54	2518,50	2641,16	2769,80	2904,70	3046,17
Simulação_10	1462,66	1449,19	1406,98	1368,00	1326,21	1287,59	1250,08	1213,67	1178,32	1144,00	1110,68	1078,33	1046,92	1016,43	986,83	958,08
	-	1584,26	1681,47	1794,65	1894,16	2010,39	2133,76	2264,69	2403,66	2551,15	2707,70	2873,85	3050,20	3237,37	3436,02	3646,86
Simulação_15	2985,33	2898,38	2813,96	2732,00	2652,42	2575,17	2500,16	2427,34	2356,65	2288,00	2221,36	2156,66	2093,85	2032,86	1973,65	1916,17
	-	3550,56	4222,82	5022,37	5973,29	7104,27	8449,38	10049,17	11951,86	14214,81	16906,22	20107,22	23914,29	28442,19	33827,39	40232,21