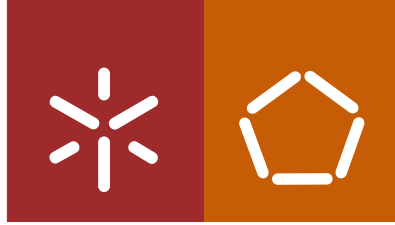




**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Pedro Almeida Carvalho

**Reabilitação energética de edifícios anteriores a 1970 para atingir níveis de balanço energético quase nulo**



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Pedro Almeida Carvalho

**Reabilitação energética de edifícios anteriores  
a 1970 para atingir níveis de balanço  
energético quase nulo**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva**

julho de 2016

## **AGRADECIMENTOS**

A presente dissertação é o resultado de uma etapa da minha vida, na qual contei com várias pessoas a quem devo agradecer, pois sempre me apoiaram ao longo destes anos.

Agradeço aos meus pais e irmã pelo seu apoio incondicional em todas as minhas decisões e por todos os conselhos sábios que me transmitiram.

À minha restante família por todo o apoio que sempre me deram.

À Professora Sandra Silva pela sua orientação e disponibilidade para esclarecer todas as minhas dúvidas.

À Joana Carvalho por todo o seu total apoio ao longo deste percurso e por estar presente nos bons e maus momentos.

Por último, aos meus amigos por todo o seu companheirismo e por estarem lá sempre que necessitei.



## RESUMO

Face à elevada dependência energética dos edifícios existentes, a União Europeia, em 2010, reforçou e atualizou os regulamentos que definem os requisitos energéticos mínimos para edificações, aparecendo, pela primeira vez, o conceito de edifícios de balanço energético nulo, edifícios altamente eficientes. Perante isto, os Estados Membros da União Europeia têm vindo a aumentar as suas exigências energéticas em edificações, de maneira a aumentar a sua eficiência e a reduzir as suas emissões e necessidades de energia, tornando-os extremamente sustentáveis.

Apesar do conceito de edifícios de balanço energético nulo ter sido idealizado para edificações novas, a sua aplicação em edifícios existentes pode tornar-se essencial para atingir as metas propostas da UE. Assim, uma reabilitação energética dos edifícios existentes, aliada a práticas sustentáveis, pode tornar-se o melhor meio para reduzir as necessidades energéticas e as emissões de carbono.

Na presente dissertação, foi analisada a hipótese de atingir um edifício de balanço energético quase nulo, através da reabilitação energética de uma habitação portuguesa, construída no final da década de 60. Face à inexistência de regulamentos energéticos para edifícios na época, a maioria do edificado apresenta grandes necessidades de energia e vastas emissões de carbono.

Com o intuito de encontrar as melhores soluções de reabilitação, recorreu-se à metodologia *Building Information Modeling* (BIM), cada vez mais presente na indústria construção, para efetuar análises de desempenho energético de modelos específicos das propostas de intervenção apresentadas. Deste modo, torna-se possível comparar rapidamente as vantagens e desvantagens de cada solução, numa fase inicial de projeto, o que poderá facilitar o trabalho de arquitetos e engenheiros, com o objetivo de atingir um edifício de balanço energético nulo.

Palavras-Chave: Eficiência energética, ZEB, BIM, reabilitação



## **ABSTRACT**

Given the high energy dependence of existing buildings, the European Union, in 2010, have strengthened and updated the regulations which regulate the minimum energy requirements for European buildings and also it appears for the first time, the concept of Zero Energy Buildings: highly efficient buildings. Given this, the EU member states have been increasing their energy requirements for buildings, in order to rise its efficiency, reduce their emissions and energy needs, making them extremely sustainable.

Despite the concept of Zero Energy Buildings have been designed for new buildings, their application in existing buildings can become an essential step to achieve the EU proposed targets. Thus, an energy rehabilitation of existing buildings, combined with sustainable practices can become the best way to reduce energy requirements and carbon emissions from the EU.

In this dissertation, it is analysed the possibility to achieve a *nearly* Zero Energy Building through an energy rehabilitation of a Portuguese residence, built in the late 60. Due to the lack of energy regulations for buildings at the time, most of them have large energy needs and huge carbon emissions.

With the purpose to find the best rehabilitation measures, BIM methodology was used, which presence is increasing in the construction industry, to make energy performance analysis of specific models from the proposals presented. This way, it becomes quickly possible to compare the advantages and disadvantages of each solution at an early stage of the project, which could help the work of architects and engineers in order to achieve a Zero Energy Building.

KEYWORDS: Energy performance, ZEB, BIM, rehabilitation





## Índice

1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Organização .....	3
2. Revisão de literatura e estado de arte .....	5
2.1 Legislação europeia e portuguesa .....	5
2.2 Reabilitação sustentável .....	7
2.3 Eficiência energética .....	10
2.4 Qualidade do ambiente interior .....	12
2.5 Edifícios de balanço energético nulo .....	14
2.6 Caracterização do parque edificado .....	19
2.6.1 Características construtivas.....	21
2.6.2 Carências habitacionais .....	27
2.6.3 Desempenho dos edifícios.....	28
2.7 Síntese.....	31
3. Metodologia .....	33
3.1 Metodologia geral.....	33
3.2 Caracterização edifício tipo .....	34
4. Medidas de reabilitação e respetivos impactos .....	39
4.1 Soluções passivas.....	39
4.1.1 Paredes exteriores.....	41
4.1.2 Cobertura.....	45
4.1.3 Envidraçados.....	48
4.1.4 Outras soluções .....	51

4.2	Soluções ativas.....	52
4.3	Boas práticas.....	57
5.	Análise térmica com recurso a metodologia BIM.....	59
5.1	Metodologia BIM.....	59
5.2	<i>Software</i> .....	65
5.3	Metodologia.....	67
5.4	Resultados.....	71
5.4.1	Modelo base.....	71
5.4.2	Green Building Studio (GBS).....	74
5.4.2.1	Modelo base.....	77
5.4.2.2	Proposta de intervenção 1 – Sistema ETICS.....	83
5.4.2.3	Proposta de intervenção 2 – Fachada ventilada.....	86
5.4.2.3	Proposta 1 vs Proposta 2.....	88
5.4.2.4	Energias renováveis e práticas sustentáveis.....	94
5.4.3	DesignBuilder.....	96
5.4.3.1	Modelo base.....	99
5.4.3.2	Proposta de intervenção 1 – Sistema ETICS.....	101
5.4.3.3	Proposta de intervenção 2 – Fachada ventilada.....	102
5.4.3.4	Proposta 1 vs Proposta 2.....	103
5.4.3.5	Best practice.....	106
5.4.4	Green Building Studio vs DesignBuilder.....	109
5.4.5	Análise económica.....	113
6.	Conclusões.....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Certificados energéticos em Portugal 2009 .....	7
Figura 2 – Princípios da construção sustentável .....	9
Figura 3 – Fontes de problemas da Qualidade do Ar Interior .....	13
Figura 4 – MIT Solar House I e Saskatchewan Conservation house.....	15
Figura 5 – Laboratório Nacional de Energia e Geologia .....	15
Figura 6 – Evolução dos edifícios de acordo com a sua relação necessidades/produção .....	17
Figura 7 – Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício.....	20
Figura 8 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o número de pisos, por época de construção .....	20
Figura 9 – Distribuição de edifícios clássicos segundo a forma de implantação, por época de construção do edifício (nota: Edifícios clássicos contruídos para possuírem 1 ou 2 alojamentos familiares).....	21
Figura 10 – Número de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção.....	22
Figura 11 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício.....	22
Figura 12 – Tipo de paredes construídas em Portugal.....	23
Figura 13 – Número de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes .....	23
Figura 14 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes, por época de construção do edifício .....	24
Figura 15 – Soluções de janelas instaladas em Portugal .....	24
Figura 16 – Número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura.....	25
Figura 17 – Tipos de cobertura construídas em Portugal .....	25
Figura 18 – Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação .....	26
Figura 19 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção do edifício .....	26
Figura 20 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por tipo de estrutura de construção .....	27

Figura 21 – Fontes de energia primária e final 2014.....	29
Figura 22 – Distribuição do consumo (a) e despesa (b) de energia no alojamento por tipo de energia e por tipo de utilização 2010.....	29
Figura 23 – Consumo energético de edifícios familiares por época de construção .....	30
Figura 24 – Desempenho energético dos edifícios portugueses por época de construção .....	31
Figura 25 – Vista área da habitação em estudo .....	35
Figura 26 – Planta da situação existente.....	36
Figura 27 – Pormenores construtivos da habitação em estudo .....	37
Figura 28 – Perdas de calor típicas numa habitação (exemplo para um T3 com 136 m2) .....	40
Figura 29 – Pormenor construtivo de isolamento pelo interior .....	41
Figura 30 – Pormenor construtivo sistema ETICS .....	42
Figura 31 – Pormenor construtivo da fachada ventilada .....	43
Figura 32 – Pormenor construtivo da cobertura invertida .....	45
Figura 33 – Isolamento sobre a laje de esteira.....	47
Figura 34 – Pormenor construtivo do Painel tipo sanduiche .....	47
Figura 35 – Proteção solar típica .....	51
Figura 36 – Exemplo de caldeira a biomassa.....	53
Figura 37 – Exemplo de ventilo-convetor .....	54
Figura 38 – Exemplo de split.....	55
Figura 39 – Exemplos de lâmpadas LED .....	56
Figura 40 – Evolução temporal da indústria da AEC .....	59
Figura 41 – Metodologia tradicional vs Metodologia BIM.....	61
Figura 42 – Tipos de LOD .....	62
Figura 43 – Potencialidade da metodologia BIM ao longo do ciclo de vida de um edifício .....	62
Figura 44 – Sustentabilidade e BIM.....	63
Figura 45 – Modelo BIM do terminal de passageiros do porto de Leixões.....	64
Figura 46 – Propriedades térmicas dos materiais .....	66
Figura 47 – Metodologia de simulação .....	68
Figura 48 – Pormenores construtivos das propostas de intervenção.....	70
Figura 49 – Modelo de simulação .....	71
Figura 50 – Definições energéticas do modelo I .....	74

Figura 51 – Sistemas AVAC – Green Building Studio .....	75
Figura 52 - Definições energéticas do modelo II .....	76
Figura 53 – Custo da energia e fontes nas proximidades.....	76
Figura 54 – Parâmetros de simulação .....	77
Figura 55 – Resultados sumários .....	78
Figura 56 – Fontes de consumo de energia.....	79
Figura 57 – Balanço das emissões de carbono.....	79
Figura 58 – Ganhos e perdas de calor - Inverno.....	80
Figura 59 – Ganhos e perdas de calor – Verão.....	81
Figura 60 – Consumo elétrico mensal .....	81
Figura 61 – Consumo de pico mensal.....	82
Figura 62 – Custo e consumo de água.....	82
Figura 63 – Ganhos e perdas de calor no inverno – Sistema ETICS .....	90
Figura 64 - Ganhos e perdas de calor no inverno – Fachada ventilada .....	91
Figura 65 - Ganhos e perdas de calor no verão – Sistema ETICS .....	91
Figura 66 - Ganhos e perdas de calor no verão – Fachada Ventilada .....	92
Figura 67 – Consumo elétrico mensal – Sistema ETICS.....	92
Figura 68 - Consumo elétrico mensal – Fachada ventilada.....	93
Figura 69 – Poupança de água com reaproveitamento das águas pluviais .....	94
Figura 70 – Custo e consumo de água com reaproveitamento de águas pluviais .....	94
Figura 71 - Custo e consumo de água com reaproveitamento de águas pluviais e equipamentos eficientes .....	95
Figura 72 – Potencial fotovoltaico.....	95
Figura 73 – Seleção da localização do projeto .....	97
Figura 74 - Parâmetros de simulação - Actividade.....	97
Figura 75 – Parâmetros de simulação - AVAC .....	98
Figura 76 – Balanço de calor dos elementos da envolvente.....	100
Figura 77 – Iluminação natural existente .....	100
Figura 78 – Balanço de calor dos elementos da envolvente – Sistema ETICS .....	105
Figura 79 - Balanço de calor dos elementos da envolvente – Fachada ventilada .....	105



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da classe energética das habitações portuguesas por ano de construção .....	7
Tabela 2 – Caracterização das propostas de intervenção .....	69
Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica (U) .....	72
Tabela 4 – Necessidades energéticas – Green Building Studio .....	77
Tabela 5 – Coeficientes de transmissão térmica (U) – Proposta 1.....	83
Tabela 6 – Preço e consumo de energia total – Proposta 1.....	84
Tabela 7 – Necessidades de climatização – Proposta 1 .....	85
Tabela 8 – Coeficientes de transmissão térmica (U) – Proposta 2.....	86
Tabela 9 - Preço e consumo de energia total – Proposta 2.....	87
Tabela 10 – Necessidades de climatização – Proposta 2 .....	88
Tabela 11 – Diferenças das necessidades de climatização e poupanças anuais.....	89
Tabela 12 – Necessidades energéticas - DesignBuilder .....	99
Tabela 13 – Necessidades de climatização anuais – Sistema ETICS.....	101
Tabela 14 - Necessidades de climatização anuais – Fachada ventilada.....	102
Tabela 15 - Diferenças das necessidades de climatização e poupanças.....	103
Tabela 16 – Diferenças entre solução simulada e <i>best practice</i> – Sistema ETICS.....	107
Tabela 17 – Diferenças entre simulada e <i>best practice</i> – Fachada ventilada .....	108
Tabela 18 – Diferenças das necessidades de aquecimento e arrefecimento entre programas .....	110
Tabela 19 – Diferenças das necessidades totais de climatização entre programas .....	110
Tabela 20 – Prós e contras – Green Building Studio .....	111
Tabela 21 – Prós e contras - DesignBuilder .....	112
Tabela 22 – Preços adotados para a análise económica .....	113
Tabela 23 – Análise económica entre propostas – Green Building Studio .....	114
Tabela 24 – Análise económica entre propostas com integração de um sistema fotovoltaico – Green Building Studio.....	115
Tabela 25 – Análise económica entre propostas – DesignBuilder .....	116

Tabela 26 – Análise económica entre propostas com integração de um sistema fotovoltaico - DesignBuilder.....	117
--	-----



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

- AEC – Arquitetura Engenharia e Construção
- ADENE – Agência para a Energia
- AQS – Águas Quentes Sanitárias
- AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
- BIM – *Building Information Modeling*
- BPIE – *Buildings Performance Institute Europe*
- CO – Monóxido de Carbono
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono
- COV – Compostos Orgânicos Voláteis
- DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia
- EDP – Energias de Portugal
- EH – Elementos Horizontais (laje de pavimento e laje de esteira)
- EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*
- EPS – *Expanded Polystyrene*
- ETICS – *External Thermal Insulation Composite System*
- GBS – *Green Building Studio*
- HCHO – Formaldeído
- IEQ – *Indoor Environmental Quality*
- INE – Instituto Nacional de Estatística
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia
- LED – *Light Emitting Diode*
- O<sub>3</sub> - Ozono
- PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
- PE – Paredes Exteriores
- PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
- PVC – *Polyvinyl Chloride*
- RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios  
RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços  
RED – *Renewable Energy Directive*  
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação  
RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas  
SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios  
U – Coeficiente de transmissão térmica  
UE – União Europeia  
XPS – *Extruded Polystyrene*  
ZEB – *Zero Energy Building*

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Na União Europeia (UE), os edifícios são responsáveis por 40% do total de energia consumida e por 36% de emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa [1-4]. A sustentabilidade dos edifícios é um importante campo de pesquisa nos dias de hoje em que a UE estabeleceu uma série de normas e medidas (*Energy Performance of Buildings Directive - EPBD*, *EPBD – recast* e *Renewable Energy Directive - RED*) [5-7] para aumentar a eficiência dos edifícios, de forma a reduzir as suas emissões e dependência de energia, tornando-os em edifícios com balanço energético nulo ou quase nulo [4, 8].

A reabilitação energética de edifícios com fraco desempenho energético é uma maneira de atingir esses objetivos, aumentando a eficiência energética e conforto, ao mesmo tempo que aumenta o seu valor no mercado imobiliário [9].

Além das normas definidas pela UE, recentemente, 195 países chegaram a acordo durante o COP21 em Paris, para combater as alterações climáticas, tentando limitar o aumento de temperatura a menos de 2°C até ao fim do presente século, tornando a reabilitação de edifícios mais importante e necessária [10].

O conceito de *Zero Energy Buildings (ZEB)* - Edifícios com balanço energético nulo - é uma “solução realista para a mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e para reduzir o uso de energia em edifícios” [11]. Segundo a *EPBD – recast*, (Diretiva 2010/31/EU), um “edifício com necessidades quase nulas de energia (*nearly ZEB*) é um edifício com um desempenho energético muito elevado (...). As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades” [5].

A ideia de ZEB foi inicialmente proposto para edificações novas, mas, recentemente, o número de projetos, estudos e interesse internacional na área aumentou a importância do conceito aplicado a edifícios existentes [8, 11, 12]. Vários autores utilizam a terminologia nZEB como referência a *Net Zero Energy Building* que, de uma maneira prática, significa que o balanço energético é nulo, o consumo de energia primária é de 0 kWh/m<sup>2</sup>a [12, 13].

Vários estudos têm sido realizados a nível mundial, para desenvolver e investigar diferentes oportunidades de eficiência energética, a fim de melhorar o desempenho energético dos edifícios existentes: os resultados mostram que a energia usada pode ser reduzida mediante a reabilitação energética adequada e a instalação de sistemas com elevado desempenho [8].

Segundo os dados dos Censos 2011, do Instituto Nacional de Estatística (INE), “verificou-se uma melhoria generalizada do estado de conservação dos edifícios” com um aumento de 34,8% de edifícios sem necessidade de reparação, face a 2001 [14, 15]. Apesar disso, o ritmo de Portugal para atingir as metas definidas pela UE está aquém do desejado, sendo os edifícios ainda responsáveis por 17,7% do consumo global de energia e 28,9% destes tem necessidade de algum tipo de reparação [14-18].

A reabilitação energética de edifícios residenciais fornece um potencial considerável para a conservação de energia e outros benefícios sustentáveis, apresentando-se como uma boa solução para a diminuição do consumo de energia em Portugal [19]. Reduções nas emissões de CO<sub>2</sub> do país podem ser alcançadas apenas atuando devidamente nos edifícios existentes, de forma a melhorar o desempenho energético dos mesmos [20, 21].

Pode-se então concluir que existe potencial para a reabilitação energética e redução das emissões de CO<sub>2</sub> em Portugal, não só pela favorável posição geográfica do país [9], mas também pela gestão eficaz dos edifícios existentes, tentando torná-los em *nearly* ZEB.

## **1.2 Objetivos**

Os objetivos da dissertação centram-se, principalmente, na identificação de medidas de reabilitação energética para edifícios habitacionais existentes em Portugal, bem como na identificação dos respetivos impactos na qualidade do ambiente interior, nomeadamente no conforto térmico. Outras metas para esta dissertação passam pela consolidação de conhecimentos relativos às características do parque habitacional português, no que diz respeito ao desempenho energético, com base em dados estatísticos existentes, definição de regras de boas práticas para projetos de reabilitação energética e ainda simulação do desempenho térmico e energético, com recurso a metodologias *Building Information Modeling* (BIM), de um edifício tipo, que será selecionado com base nas características do edificado em estudo e em bibliografia especializada, de forma a identificar e selecionar as melhores soluções de reabilitação para otimizar o desempenho térmico.

Para atingir os objetivos propostos, será efetuada uma pesquisa, recorrendo a bibliografia e documentos existentes referentes a soluções de reabilitação para uma construção sustentável e relativamente à integração de metodologias BIM para a análise do desempenho térmico e energético de edifícios. Também serão utilizados tutoriais dos programas escolhidos para as simulações térmicas.

## **1.3 Organização**

Esta dissertação foi dividida em seis capítulos, de forma a esclarecer e simplificar o tema descrito:

No primeiro capítulo, é apresentada uma visão geral do panorama europeu atual, no que diz respeito aos consumos energéticos de edifícios, legislação e edificado. É introduzido o conceito de edifícios de balanço energético nulo e quase nulo, bem como estes podem contribuir para as metas da União Europeia. São também apresentados os principais objetivos da presente dissertação e é ainda apresentada a organização da mesma.

No segundo capítulo, é realizada uma revisão de literatura existente que incide sobre os principais conceitos a desenvolver na dissertação. É explorado o conceito de eficiência energética em edifícios, bem como a reabilitação energética e sustentável. É também aprofundada a atual legislação europeia e como esta transitou para a legislação portuguesa, o conceito de edifícios de balanço energético quase nulo e é caracterizado o parque edificado português com especial destaque para a amostra em estudo.

No terceiro capítulo, clarifica-se a metodologia empregada no processo de investigação desta dissertação, retratado nos capítulos posteriores.

No quarto capítulo, começa-se por apresentar e desenvolver, com base na pesquisa do segundo capítulo, um edifício tipo, que irá ser utilizado para definir possíveis medidas de reabilitação a aplicar. São sugeridas várias soluções que pretendem intervir e melhorar diversos aspetos de um edifício, desde soluções passivas à utilização de sistemas de energias renováveis. Uma breve análise económica também é apresentada, de forma a analisar a viabilidade das diferentes soluções. Por fim, este capítulo encerra com a sugestão de regras de boas práticas para trabalhos de reabilitação energética.

No quinto capítulo, estão retratadas análises de desempenho térmico com recurso a *softwares* e metodologias BIM realizadas no edifício tipo definido anteriormente, onde, inicialmente, é exposto o estado de arte do conceito BIM aplicado à análise e otimização energética. Seguidamente, são apresentados os programas escolhidos para realizar as análises térmicas com base em bibliografia existente, potencialidades e interoperabilidade de *softwares*. Posto isto, é iniciada a modelação do edifício e são realizadas as simulações previstas e/ou necessárias. Por fim, é realizada a típica análise de resultados obtidos dos diferentes programas.

No Sexto e último capítulo, referem-se as conclusões da presente dissertação, bem com a apresentação das perspetivas futuras do tema.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA E ESTADO DE ARTE**

### **2.1 Legislação europeia e portuguesa**

Como já foi referido, atualmente, os edifícios são responsáveis por 40% da energia consumida na Europa e por 36% da emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa. De maneira a reduzir estes valores, a primeira legislação europeia para a eficiência energética em edifícios data de 2002 com a publicação da Diretiva 2002/91/CE do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) [6]. Esta diretiva veio reforçar as exigências mínimas de conforto térmico relativamente à construção e reabilitação energética de edifícios, certificação energética e aplicação de sistemas de energias renováveis [22]. Mais tarde, em 2010, essas exigências foram revistas com o lançamento da Diretiva 2010/31/UE (EPBD-recast), onde é introduzido o conceito de Edifícios de balanço energético nulo [5].

Algumas das principais reformulações à primeira diretiva passam pela introdução dos objetivos de que até ao final de 2018, todos os edifícios públicos devem ser edifícios de balanço energético quase nulo e que até ao final de 2020, todos os edifícios novos construídos sejam edifícios de balanço energético quase nulo [23, 24]. Outra importante reformulação no que toca à reabilitação de edifícios foi a alteração da área mínima para grandes remodelações, em que a certificação energética é necessária, passando de 1000 m<sup>2</sup> para 250 m<sup>2</sup> [24].

Em 2009, a União Europeia também aprovou a Diretiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que revogou e reformulou as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE [7].

De forma a atingir as metas propostas pela União Europeia, Portugal, em 2006, aprovou três Decretos-Lei para promover as exigências europeias:

- Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);

- Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Mais tarde, em 2013, face à reformulação da EPBD, Portugal aprovou um novo pacote legislativo que atualizou e reforçou os três regulamentos existentes: o Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de Agosto, que contém o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [25]. Uma importante regra introduzida foi a necessidade de certificação energética de qualquer edifício sujeito a processo de venda ou locação. Em 2015, foram introduzidas alterações ao Decreto-Lei nº 118/2013, através da aprovação do Decreto -Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, do Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro e o Decreto-Lei nº251/2015, de 25 de Novembro e, em 2016, através do Decreto-Lei nº 28/2016, de 23 de Junho.

Com a aplicação destes regulamentos, o governo português ambiciona atingir as metas estabelecidas pela UE, reduzindo a fatura energética dos edifícios, aumentando e preservando a qualidade do ambiente interior e reduzindo o impacto no meio ambiente, nomeadamente na emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa [24].

O Sistema de Certificação Energética tem como objetivo atribuir uma classificação aos edifícios, bem como listar uma série de medidas que melhoram o desempenho dos mesmos. Esta classificação é realizado numa escala de A+ (elevada eficiência energética) a G (pobre eficiência energética), similar à escala usada para os eletrodomésticos. Atualmente, os regulamentos impõem que edifícios novos tenham uma classificação mínima de B- e edifícios sujeitos a grandes remodelações uma classificação mínima de C [16].

Segundo os dados da Agência para a Energia (ADENE), que tutela o SCE, em Portugal são emitidos mensalmente cerca de 15 000 certificados energéticos tanto para licenciamento como venda de imóveis [16]. A classificação energética de edifícios existentes pode ser verificada na Figura 1 e na Tabela 1, sendo que a maioria apresenta uma classificação média de C, fator previsível quando esta é a classificação mínima exigida em obras de remodelação.



Apesar disso, verifica-se que uma grande percentagem (aproximadamente 95%) dos edifícios construídos antes de 1980, apresenta uma classificação entre C e G, ficando muito aquém das exigências de conforto mínimas.

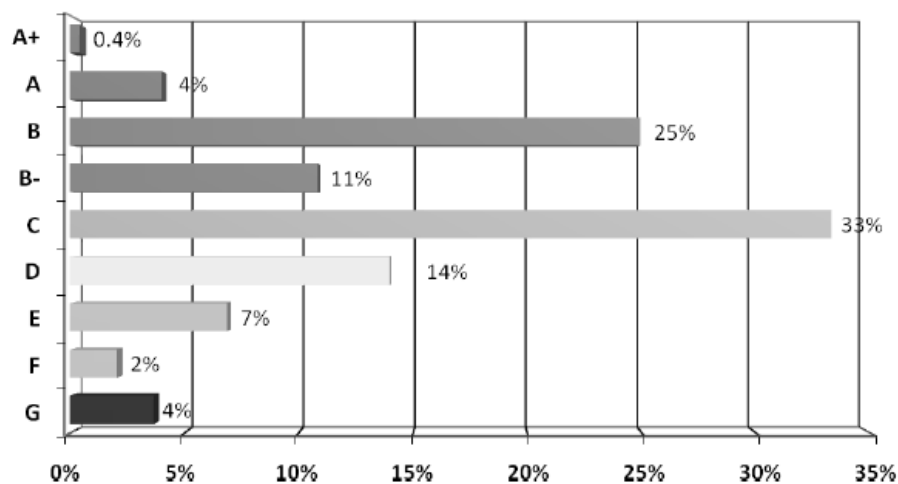


Figura 1 – Certificados energéticos em Portugal 2009  
(Fonte: [16])

Tabela 1 – Distribuição da classe energética das habitações portuguesas por ano de construção  
(Fonte: [26])

Ano de construção	Habitações de alta eficiência (A+ a B-)	Habitações de baixa eficiência (C a G)
1950-1959	4.67%	95.33%
1960-1969	5.62%	94.38%
1970-1979	5.00%	95.00%
1980-1989	5.98%	94.02%
1990-1999	16.26%	83.74%
2000-2005	46.08%	53.92%
2006-2009	62.83%	37.17%

## 2.2 Reabilitação sustentável

A definição de desenvolvimento sustentável tem sido amplamente discutida ao longo dos últimos anos, estando em constante construção e reconstrução [27, 28]. A primeira definição foi lançada em 1987 pela Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento no relatório Brundtland (O Nosso Futuro Comum) em que estabelecia que “Desenvolvimento sustentável

é aquele que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” [23, 27, 28]. Face à panorâmica do sector da construção, em que eram utilizados excessos de recursos e energia e eram produzidas grandes quantidades de resíduos para o ambiente, surge o conceito de construção sustentável e a aplicação das ideias de um desenvolvimento sustentável à indústria da construção [23, 29].

Após as primeiras grandes conferências das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Rio de Janeiro, 1992, e Joanesburgo, 2002), estabelecem-se três dimensões influentes e que devem estar em equilíbrio para um desenvolvimento sustentável, e por consequência, para uma construção sustentável: dimensão ambiental, dimensão económica e dimensão Sociocultural [27-29]. Vários autores adaptaram e suportaram essas dimensões, como Sage, em 1998, afirmando que o *“desenvolvimento sustentável reflete-se no cumprimento das necessidades humanas através do progresso simultâneo dos parâmetros socioeconómicos e tecnológicos, bem como na preservação dos sistemas naturais da Terra. Um mundo sustentável depende da evolução económica, social, cultural e do progresso tecnológico”* [27].

Com o aumento do interesse global no desenvolvimento sustentável, a importância da construção sustentável também aumentou, surgindo vários estudos na área e várias definições. A primeira definição surgiu em 1994, por Kibert na Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável, na Florida, que entende construção sustentável como *“criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (para evitar danos ambientais) e a utilização eficiente dos recursos”* [23, 27]. Também na mesma conferência, Kibert estabeleceu 6 princípios para realizar uma construção sustentável, conforme a Figura 2.

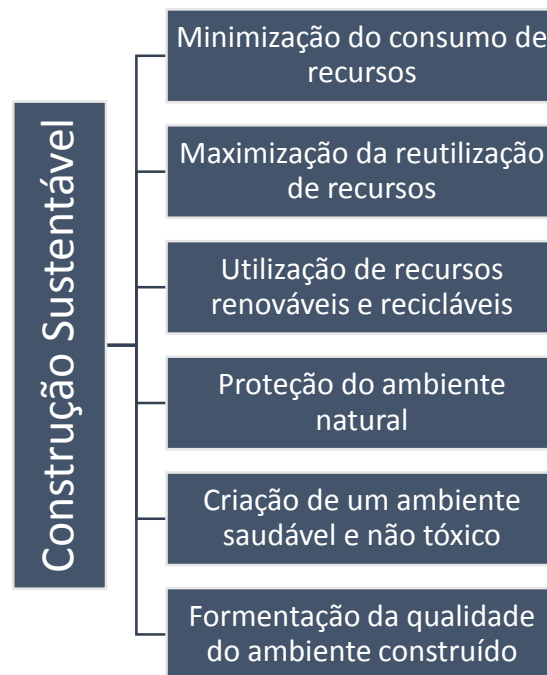


Figura 2 – Princípios da construção sustentável  
(Fonte: [27])

A reabilitação de edifícios existentes em vez de os demolir é um importante contributo para um desenvolvimento sustentável, apresentando-se como uma solução real para reduzir os impactos ambientais causados pelo setor da construção [20, 27, 29, 30]. A reabilitação de edifícios apresenta uma série de vantagens a diversos níveis, tais como [29, 30]:

- Redução de custos de demolição, taxas, licenças, estaleiro e matérias-primas;
- Aumento do conforto dos habitantes;
- Diminuição dos impactos ambientais, através da redução do consumo energético, recursos naturais e produção de resíduos;
- Preservação do património existente.

Segundo Costa [19], o caminho para uma reabilitação sustentável passa por aliar à reabilitação simples, uma série de práticas sustentáveis, na fase de intervenção e na fase de utilização de um edifício, sem nunca por em causa as exigências mínimas de conforto.

Atualmente, de forma a avaliar o desempenho energético dos edifícios, têm sido desenvolvidos diversos métodos e sistemas de avaliação, de entre os quais se podem destacar o *Sustainable Building Tool* (SBTool) [31], o *Building Research Establishment Environmental*

*Assesment Method* (BREEAM) [32], o *Comprehensive Assesment System for Built Environment Efficiency* (CASBEE) [33] e o *Leadership in Energy and Environment Design* (LEED) [34]. Estes sistemas centram-se na análise de diversos indicadores como local e integração, cargas ambientais e impacte da envolvente, recursos, gestão ambiental, aspetos políticos, entre outros [23].

Em Portugal, embora se continue a preferir a construção nova à reabilitada, nos últimos anos tem-se assistido a um aumento no sector de reabilitação de edifícios, resultado espelhado nos dados do INE, segundo os quais, em 2011, 71.1% dos edifícios habitacionais portugueses não necessitavam de nenhum tipo de reparação [14, 19]. Ainda assim, este sector é responsável por 17.7% do consumo global de energia do país, muito devido ao fraco desempenho térmico dos mesmos, como comprova a Tabela 1, sendo, assim, essencial pensar na reabilitação energética como uma solução [15].

### **2.3 Eficiência energética**

À medida que a sociedade cresce e se desenvolve, é natural existir um aumento nas necessidades de conforto e nos consumos energéticos. Esse aumento das necessidades é possível ser conseguido sem abdicar do conforto mas deve-se ter em consideração a eficiência energética de produtos, sistemas e edifícios. Os principais motivos que levam ao aumento no consumo de energia estão diretamente ligados ao fraco desempenho de edifícios e ao mau aproveitamento da energia [23, 29, 35].

A eficiência energética é essencial para um desenvolvimento sustentável e o conceito consiste na otimização da utilização de energia, sem comprometer o a qualidade do ambiente interior, através da utilização de tecnologias eficientes e soluções passivas e ativas de construção que otimizem a eficiência energética [23, 36].

As vantagens para a sociedade e para o ambiente são várias. De entre as mais significativas, destacam-se a redução de custos de operação do edifício, o aumento de produção de energia a partir de fontes renováveis e a diminuição da utilização de recursos naturais [37].

É assim essencial reabilitar energeticamente os edifícios, bem como otimizar o consumo de energia, através da introdução de medidas específicas que levem a uma Utilização Racional de Energia (URE).

A reabilitação térmica e energética de edifícios proporciona uma melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto dos ocupantes, permitindo reduzir os consumos de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, sendo assim uma boa solução para atingir os objetivos do país e da União Europeia [38].

Os principais aspetos que afetam o desempenho térmico do edifício e que devem ter-se em consideração aquando uma reabilitação energética são os seguintes [38]:

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Presença de humidade;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas;
- Falta de proteções solares adequadas nos envidraçados;
- Ventilação não controlada;
- Comportamentos inadequados dos ocupantes.

Para combater estes fatores, é necessário, numa primeira fase, reforçar termicamente a envolvente do edifício, controlar as infiltrações de ar e utilizar sistemas de energias renováveis para melhorar o desempenho de edifício em si, e numa segunda fase, atuar pedagogicamente junto dos ocupantes, de forma a melhorar o seu comportamento na habitação.

Atualmente, em Portugal, está em vigor o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), plano esse que visa atuar em vários setores como nos transportes, na indústria, na agricultura, nos edifícios do Estado e nos edifícios residenciais e de serviços. No que diz

respeito a estes últimos, o plano de ação é representado através de programas que visam melhorar a eficiência energética, através de incentivos e penalizações, nomeadamente:

- Programa Renove a Casa e o Escritório – conjunto de medidas que incentivam a eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos e reabilitação de espaços;
- Programa Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios – reúne as medidas que resultam do Sistema de Certificação Energética (SCE);
- Programa Integração de Fontes de Energia Renováveis Térmicas/Solar Térmico – promoção de uma maior integração de fontes de energia renovável em edifícios e equipamentos.

Neste mesmo setor, as poupanças energéticas conseguidas até 2013 situam-se em 267 008 toneladas equivalentes de petróleo (tep), o que representa que já foi alcançado 42% do objetivo traçado para 2016, de 634 265 tep [39].

Se for analisado num contexto global, o PNAEE já conseguiu poupar cerca de 729 000 tep até 2013 e pretende que as poupanças, no final de 2016, atinjam mais de 1 500 000 tep [39].

## **2.4 Qualidade do ambiente interior**

A qualidade do ambiente interior (*Indoor Environmental Quality* - IEQ) de edifícios tem vindo a ganhar importância nos últimos anos, muito devido ao aumento de exigências relativas ao bem-estar humano em habitações, espaços públicos ou locais de trabalho. Como se pode constatar na Figura 3, nestes espaços, os materiais de construção, o mobiliário, a ocupação humana, os processos de combustão, os produtos de limpeza, a deficiente ventilação e renovação de ar e as condições exteriores são as principais causas na existência de poluentes no interior que, dependendo das suas características e concentração, podem causar aos ocupantes sensações que vão desde ligeiro mal-estar até, no limite, originar doenças graves ou mesmo a morte [40-42].

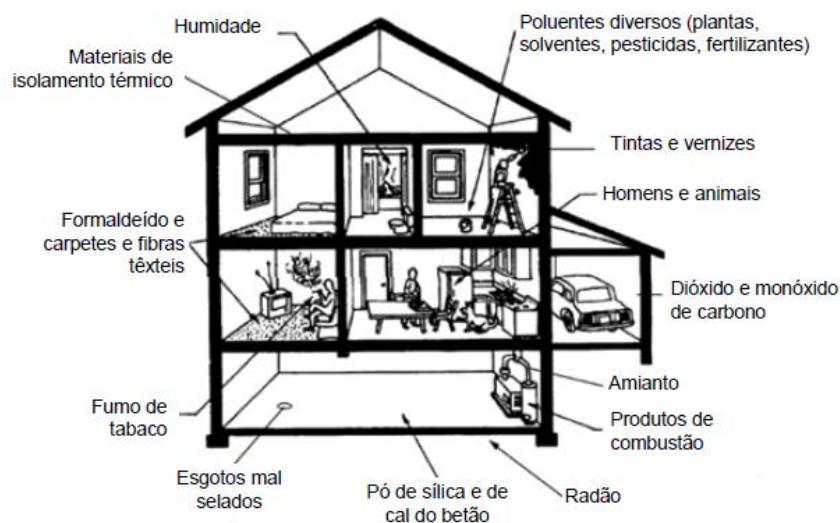


Figura 3 – Fontes de problemas da Qualidade do Ar Interior  
(Fonte: [43])

Devido aos efeitos nocivos produzidos no bem-estar humano pelas principais substâncias poluentes, resultantes dos fatores anteriormente referidos, as concentrações destas no ambiente interior foram reguladas ao abrigo de RSECE e podem dividir-se em dois grupos:

- Físico-químicos (Dióxido de carbono -  $\text{CO}_2$ , monóxido de carbono -  $\text{CO}$ , ozono  $\text{O}_3$ , Partículas respiráveis, compostos orgânicos voláteis – COV, radão e formaldeído –  $\text{HCHO}$ );
- Microbiológicos (Bactérias, fungos e legionela).

De forma a manter um apropriado ambiente para a ocupação humana, é necessário remover as substâncias poluentes, através da renovação de ar, para minimizar os efeitos na saúde dos ocupantes e, ao mesmo tempo, proporcionar ar fresco e agradável [43].

A IEQ é um conceito complexo e depende de vários fatores, como a temperatura, a humidade relativa, os odores, os ruídos, entre outros e, de forma a conseguir atingi-la, é necessário avaliar e atuar em quatro vertentes do edifício [42]:

- Conforto térmico – sendo a temperatura a principal responsável pelo conforto térmico, esta deve ser ajustada conforme os ocupantes e atividades que aí se realizam (REH estabelece  $18^\circ$  e  $25^\circ$  para inverno e verão, respetivamente), através de uma

ventilação eficiente do edifício. A humidade também é um fator que afeta o conforto térmico e problemas como condensações e pontes térmicas devem ser corrigidos;

- Qualidade do Ar Interior – deve ser assegurada a qualidade do ar interior para evitar que poluentes perigosos atinjam elevadas concentrações que possam pôr em risco a saúde humana (critério de saúde) e, ao mesmo tempo, manter um ambiente agradável (critério sensorial);
- Conforto Acústico – a envolvente do edifício deve ser devidamente isolada acusticamente e, no caso de edifícios habitacionais familiares, também as paredes de separação entre frações. O posicionamento e isolamento de sistemas de ventilação mecânica devem ser devidamente estudados;
- Conforto Visual – a envolvente do edifício deve ser esteticamente agradável, tal como no interior, deve existir uma adequada exposição solar e os sistemas de ventilação não devem estar muito visíveis.

Além deste aspeto, é também necessário introduzir regras de boas práticas junto dos utilizadores e proprietários e implementar planos de manutenção dos edifícios [40].

Torna-se, assim, claro pensar na IEQ como parte integrante de uma intervenção energética de um edifício, dada a existência de objetivos comuns, em que a eficiência energética é chave para atingir as metas propostas.

## **2.5 Edifícios de balanço energético nulo**

Alguns dos primeiros estudos para desenvolver o conceito de Edifícios de balanço energético nulo datam de 1955, com a “*MIT Solar House I*”, na Figura 4, que possuía um coletor solar de grandes dimensões com um depósito de água. Mais tarde, em 1955, a “*Casa Bliss*” utilizou coletores solares a ar em conjunto com armazenamento térmico em pedra [44, 45]. Em 1977, a “*Vagn Korsgaard Zero Energy House*” e, em 1979, a “*Saskatchewan Conservation House*”, também na Figura 4, foram equipadas com coletores solares e depósitos de água para armazenamento, concebidos para aquecimento ambiente e água quente sanitária [45].



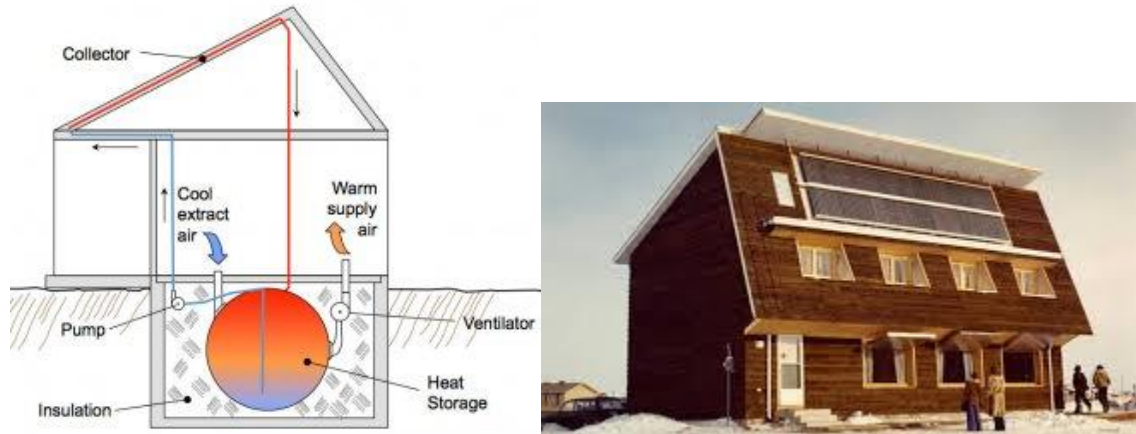


Figura 4 – MIT Solar House I e Saskatchewan Conservation house  
(Fonte: www.ecohome.net)

Estes primeiros estudos, embora apontassem para um balanço térmico nulo, contribuíram e influenciaram as atuais ideologias de edifícios de balanço energético nulo e ainda influenciaram a abordagem a projetos deste tipo [44, 45].

De entre os inúmeros estudos recentes, é de destacar um exemplo de 2006, em Portugal: o edifício do LNEG “SOLARXXI”, evidenciado na Figura 5, em que foram adotadas soluções passivas de *design*, aliadas a painéis solares instalados na fachada principal, capazes de produzir 78% da energia elétrica necessária no edifício [46]. Além disso, também é aproveitada a inércia térmica da terra, fazendo passar uma tubagem subterrânea, onde o ar é arrefecido para, posteriormente, ser injetado no interior do edifício, dispensando a utilização de ar condicionado [47].



Figura 5 – Laboratório Nacional de Energia e Geologia  
(Fonte: www.lneg.pt)

Com a EPBD-recast, a União Europeia pretende que, até 2020, todos os edifícios novos construídos e todos os públicos sejam edifícios de balanço energético quase nulo, de forma a reduzir as necessidades energéticas dos Estados Membros. Com isto, inúmeros estudos foram desenvolvidos na área, aumentando o interesse no tema a um nível global [11, 24, 48].

Segundo a EPBD – recast, (Diretiva 2010/31/EU), um *“edifício com necessidades quase nulas de energia (nearly ZEB), é um edifício com um desempenho energético muito elevado (...). As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”* [5].

A definição do EPDB é considerada um pouco vaga, pois não impõe quaisquer limites, não fornece uma metodologia de cálculo e não define a percentagem de energia que deve ser proveniente de fontes renováveis, cabendo essa tarefa a cada Estado Membro, tornando o objetivo de criar uma definição comum quase impossível [9, 49].

Segundo Torcellini [50], existem diferentes abordagens para a definição de edifícios de balanço energético nulo, dependendo dos objetivos do projeto, do valor da equipa e do proprietário do edifício. Também Marszal [11], defende a existência de várias abordagens para o mesmo conceito, apelidando-o de complexo e difícil de atingir. Apesar de todas as divergências, existe um consenso nos dois grandes pilares do conceito de edifícios de balanço energético nulo: reduzir a necessidade energética do edifício e gerar energia para atingir um balanço energético favorável. Para tal, é necessário intervir com as adequadas soluções construtivas, selecionar os devidos sistemas mecânicos e produzir energia através de fontes renováveis.

De acordo com a Figura 6, de forma a atingir um Edifício de balanço energético nulo, existem dois passos fundamentais a adotar: Inicialmente é preciso reduzir a necessidade energética do edifício; depois, numa segunda fase, é preciso produzir a energia necessária à habitação através de fontes renováveis.

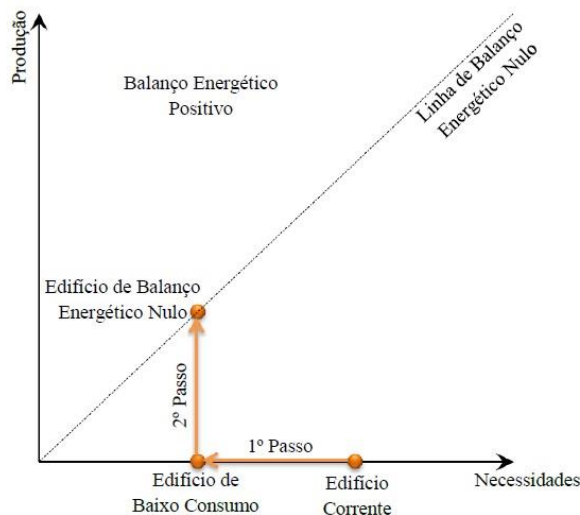


Figura 6 – Evolução dos edifícios de acordo com a sua relação necessidades/produção  
(Fonte: [22])

De acordo com vários estudos e casos práticos existentes na área, existem duas designações mais citadas: *nearly ZEB* e *net ZEB*. Um edifício de balanço quase nulo (*nearly ZEB* - nZEB) refere-se a um edifício de alto desempenho, em que o consumo de energia primária é fornecido a partir de fontes renováveis no local, nas proximidades ou em ambos. Este tipo de edificações necessita de ter um consumo energético mínimo - conforme um limite nacional. A ideia de *nearly ZEB* deriva do conceito de edifícios de balanço energético nulo líquido (*net ZEB*), em tudo semelhante ao anterior, mas em que o balanço energético anual é nulo (0 kWh/m<sup>2</sup>a) [12, 13, 49].

Um típico edifício de balanço energético nulo tem de estar ligado à rede, pois se a geração de energia no local for superior à necessária, esta pode ser injetada para a rede mediante celebração de contrato com o comercializador. Caso o edifício não esteja ligado à rede, será muito difícil atingir um edifício de balanço energético nulo, visto que a atual tecnologia de armazenamento ainda não é suficiente [11, 50]. Torcelini, divide assim o conceito de net ZEB em quatro definições diferentes conforme a energia é usada e/ou produzida:

- Balanço energético do local nulo (Net Zero Site Energy) – o edifício/local nZEB produz pelo menos tanta energia renovável como a que é utilizada anualmente no edifício/local;

- Balanço energético da fonte nulo (Net Zero Source Energy) – o edifício/local nZEB produz uma quantidade de energia equivalente à que é utilizada anualmente quando contabilizada na fonte (“energia na fonte” refere-se à energia primária utilizada para extrair, processar, gerar e distribuir a energia ao edifício/local. Para calcular esta energia, a energia importada e exportada é multiplicada por um fator de conversão apropriado baseado no tipo de fonte energética);
- Custos do balanço energético nulos (Net Zero Energy Costs) – o valor que o fornecedor de energia paga ao proprietário pela energia renovável que o edifício exporta para a rede é, pelo menos, igual ao valor que o proprietário paga ao fornecedor pelos serviços energéticos e pela energia consumida anualmente;
- Emissões do balanço energético nulas (Net Zero Energy Emissions) – o edifício/local produz (ou compra) pelo menos a mesma quantidade de energia renovável, livre de emissões necessária para compensar as emissões de toda a energia que é usada anualmente no edifício/local.

Portugal apresenta condições favoráveis à implementação de edifícios de balanço energético nulo, não só pela prolongada exposição solar que o país apresenta, mas também devido à tecnologia existente [9]. Apesar disso, ainda se verificam vários problemas no país, principalmente relativos à falta de informação detalhada sobre poupanças de energia. Existem apenas resultados agregados, o que torna difícil a definição de um plano de ação nacional. Outro problema identificado é a falta de formação, no que diz respeito a poupanças energéticas em edifícios e, apesar de já existirem mais de 1600 especialistas certificados a implementar o SCE, ainda não existe uma certificação de edifícios de balanço energético nulo. Ainda assim, vários especialistas portugueses acreditam que Portugal irá atingir os objetivos propostos pela UE [1].

Como já foi referido, apesar de este conceito ter sido inicialmente criado para edifícios novos, tem vindo a ganhar importância no setor da reabilitação. O *Buildings Performance Institute Europe* (BPIE) apresenta requisitos que consideram, após reabilitação, um edifício existente um edifício de balanço energético nulo [51]:

- Se, após reabilitação o edifício cumprir os requisitos de edifícios de balanço energético nulo para edificações novas;
- Se, após reabilitação forem reduzidas 75% das necessidades de energia primária do edifício;

- Se for produzida, pelo menos, 50% das necessidades de energia do edifício, as necessidades de energia primária forem inferiores a 50-60 kWh/m<sup>2</sup>/ano e o edifício produzir menos de 3 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/ano.

Estes requisitos parecem ser um pouco mais exigentes do que os atuais requisitos em edifícios novos mas estes devem ser ajustados conforme as condições de cada país. Atualmente, em Portugal, o REH estabelece um valor máximo para energia primária que depende da forma do edifício e das condições climáticas. Já o SCE impõe uma classificação energética mínima para edifícios novos e remodelações superiores a 250 m<sup>2</sup>.

Contudo, no que toca a este tipo de edifícios, a legislação nacional deve ser adaptada, de forma a identificar e certificar os mesmos. Devem ser criados incentivos para estimular os donos de obra a atingir um edifício de balanço energético nulo, de maneira a reduzir as necessidades globais de energia do país e a atingir os objetivos da União Europeia.

Pode-se concluir que atingir um edifício de balanço energético nulo não é fácil em edifícios novos e é ainda mais difícil atingir esse patamar em edifícios existentes, não só por razões técnicas mas também financeiras [9, 12, 52].

## **2.6 Caracterização do parque edificado**

O parque habitacional português seguiu as tendências de outros países da União Europeia, que apresentaram elevados picos de construção, a partir da década de 70, de maneira a responder à elevada procura que se verificava [53]. Atualmente existem 36.9% de edifícios construídos antes de 1970 (Figura 7), o que se traduz em 1 308 210 de edifícios e, em 2011, verificou-se uma diminuição desta percentagem em relação a 2001 (-42 910). Esta redução pode dever-se a várias causas, tais como demolições, alteração para uso não habitacional ou reclassificação da época de construção do edifício devido à requalificação. Em 2011, dos 3 544 389 edifícios destinados a habitação, 6.7% estavam também afetos a comércio e a outros fins, totalizando assim 3 305 062 edifícios exclusivos para habitação.

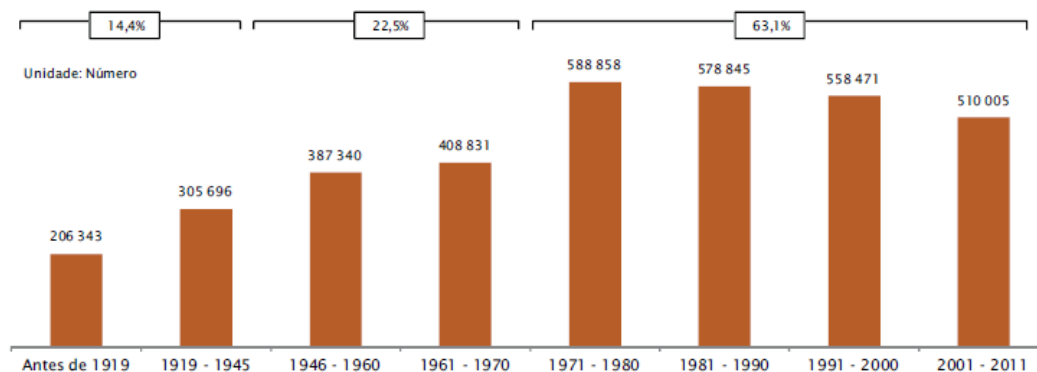


Figura 7 – Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício  
(Fonte: [14])

Relativamente ao número de pisos, apresentados na Figura 8, verifica-se que quase 90% dos edifícios anteriores a 1970, apresentam 1 ou 2 pisos, que, na sua maioria suportam apenas um alojamento (88%). Destes, aproximadamente 49% são edifícios isolados, 32% em banda e 19% germinados. O norte do país apresenta quase 80% de edifícios isolados, à exceção dos grandes centros urbanos, em que essa percentagem se reduz para a média global do país, de acordo com a Figura 10.

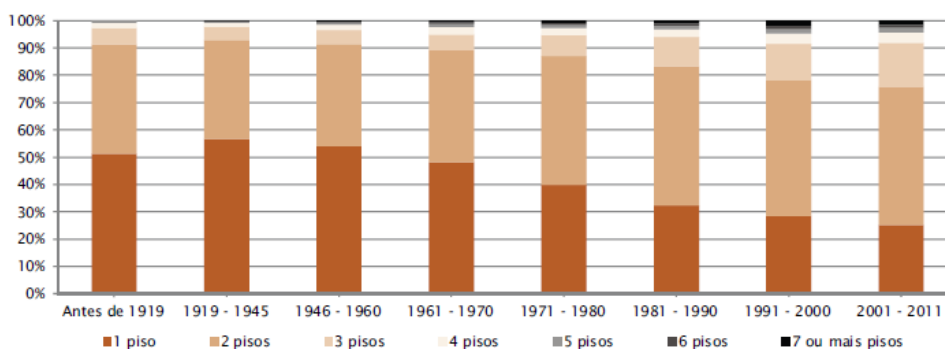


Figura 8 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o número de pisos, por época de construção  
(Fonte: [14])

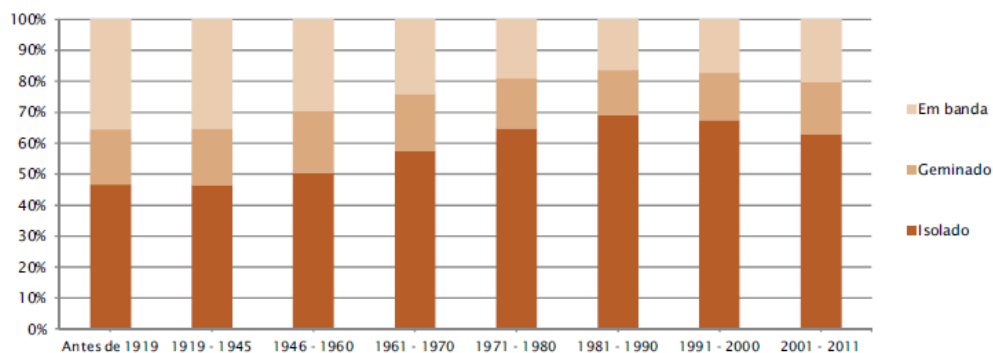


Figura 9 – Distribuição de edifícios clássicos segundo a forma de implantação, por época de construção do edifício (nota: Edifícios clássicos contruídos para possuírem 1 ou 2 alojamentos familiares)  
(Fonte: [14])

### 2.6.1 Características construtivas

Segundo os Censos 2011, quase metade dos edifícios habitacionais portugueses tinha estrutura de betão armado, existindo também uma grande percentagem de edifícios com paredes de alvenaria com ou sem placa. Segundo as Figuras 10 e 11, a estrutura em betão armado apresenta menos frequência nos métodos construtivos anteriores a 1970, onde as paredes de alvenaria com ou sem placa eram mais utilizadas. De realçar que um quarto dos edifícios construídos até 1945 apresentam paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe. O litoral norte do país apresenta valores semelhantes à média nacional, com aumento da predominância de edifícios de paredes de alvenaria com ou sem placa e de paredes de alvenaria com pedra solta, conforme se caminha para o interior norte. Atualmente, os principais métodos construtivos passam pelas estruturas em betão armado e ainda pelo uso de paredes de alvenaria com placa.

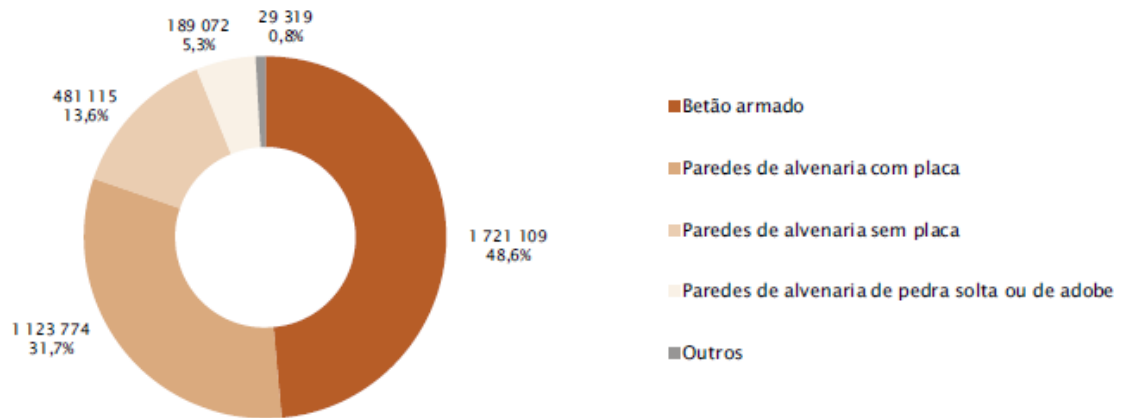


Figura 10 – Número de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção  
(Fonte: [14])

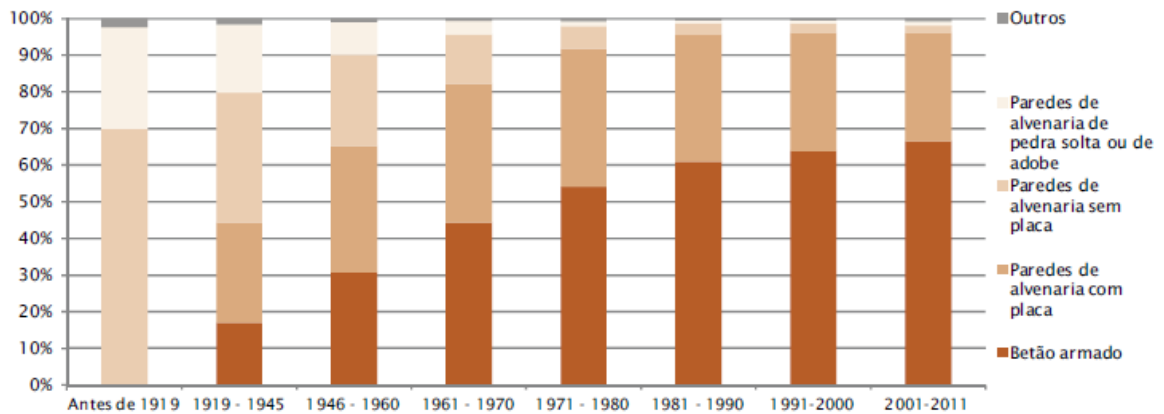


Figura 11 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício  
(Fonte: [14])

A Figura 12, mostra a predominância da parede em alvenaria simples ou dupla e da parede de pedra solta nos edifícios anteriores a 1970. A utilização de isolamento só se começou a utilizar a partir da década de 90, embora fosse insuficiente ou incorretamente aplicado devida à falta de conhecimento.



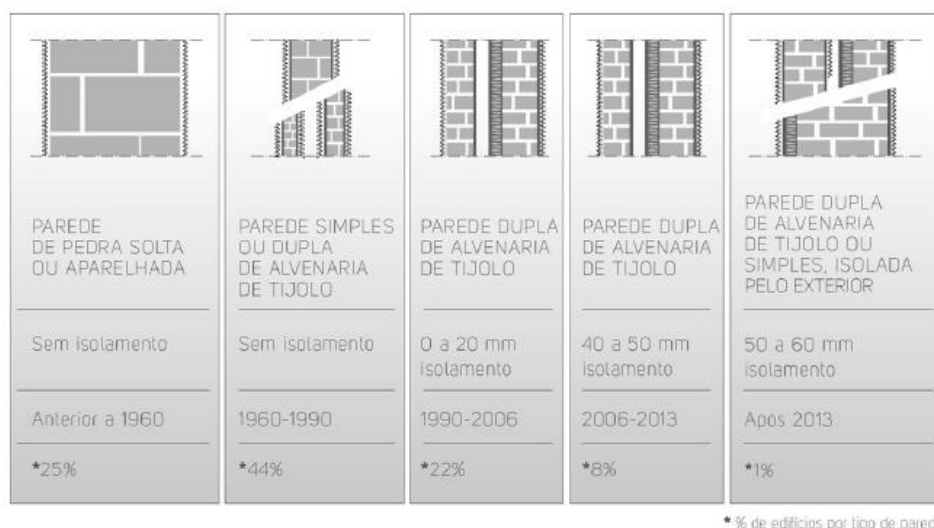


Figura 12 – Tipo de paredes construídas em Portugal  
(Fonte: [54])

O revestimento exterior de paredes típico em Portugal, representado na Figura 13, é o reboco tradicional ou marmorite, correspondendo a 84% dos edifícios. Na região norte do país, a pedra e o ladrilho cerâmico ou mosaico assume maior importância em relação à média nacional com cerca de mais 10% em detrimento do reboco tradicional ou marmorite. Os edifícios construídos antes de 1970 representam, em média, 70% do parque habitacional cabendo a maioria da restante percentagem à pedra (Figura 14). Os resultados do Censo em 2011, mostram que nos dias de hoje, verifica-se cada vez mais a diminuição da pedra com revestimento exterior de paredes e uma maior utilização do reboco tradicional e do betão à vista.

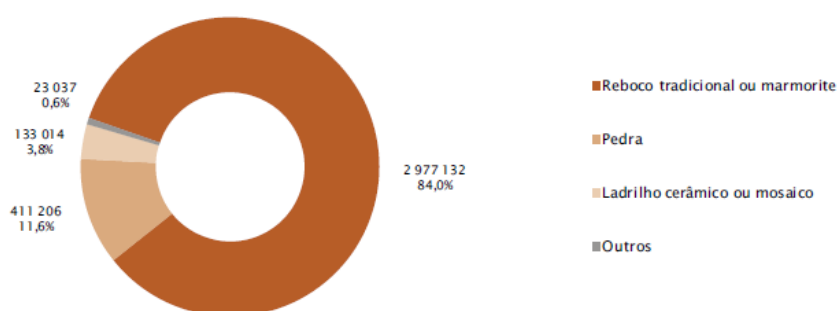


Figura 13 – Número de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes  
(Fonte: [14])

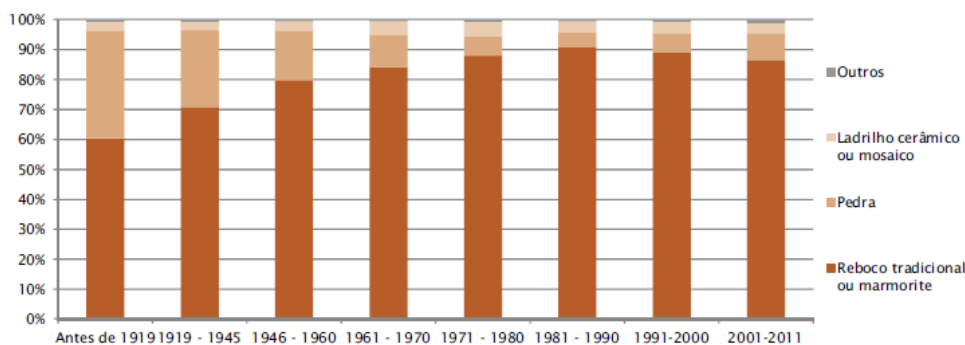


Figura 14 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes, por época de construção do edifício  
(Fonte: [14])

Relativamente aos envidraçados, a grande maioria das habitações possui vidros simples (Figura 15), existindo assim uma grande margem para melhorar o isolamento térmico das janelas dos edifícios portugueses.



Figura 15 – Soluções de janelas instaladas em Portugal  
(Fonte: [55])

No que diz respeito ao tipo de cobertura dos edifícios portugueses, na Figura 16, a predominância mantém-se numa cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão, com 93.1% dos casos, mas assistiu-se na última década, a um pequeno aumento das coberturas em terraço, representando 3% do edificado atual.

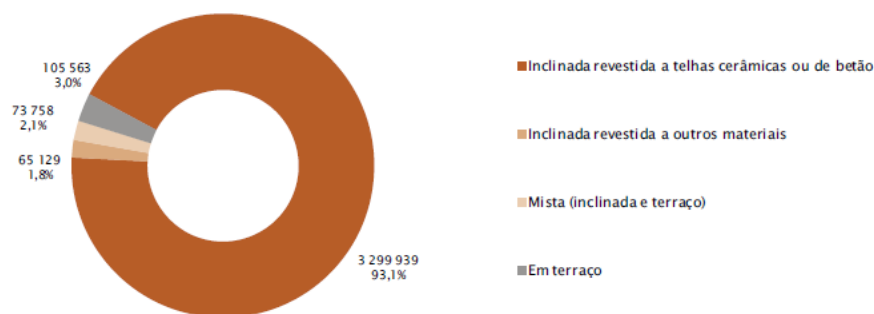


Figura 16 – Número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura  
(Fonte: [14])

Como se pode constatar através da Figura 17, o método tradicional de execução de coberturas é a estrutura em madeira, sem aplicação de qualquer tipo de isolamento. A sua aplicação, mais uma vez, só se começou a utilizar a partir da década de 90.

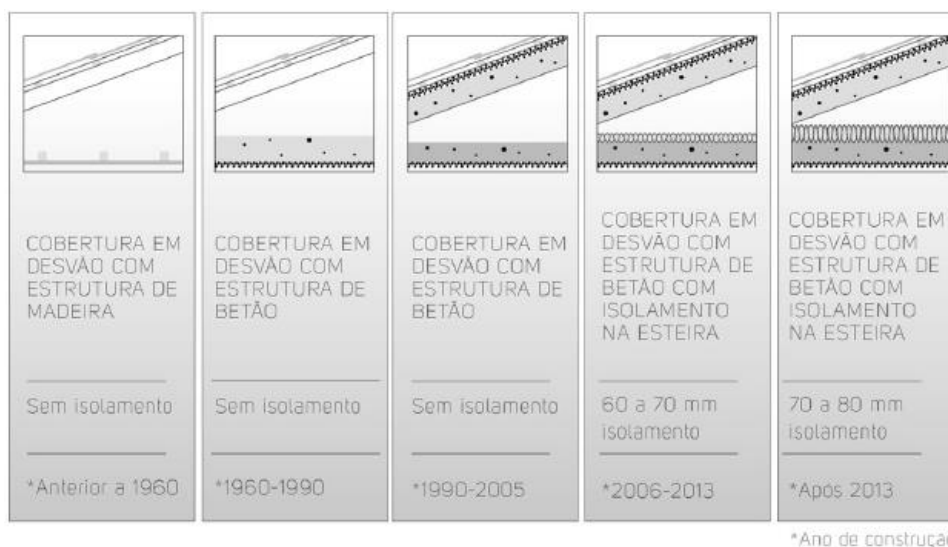


Figura 17 – Tipos de cobertura construídas em Portugal  
(Fonte: [56])

De acordo com os Censos 2011, o parque habitacional português apresenta uma melhoria generalizada no estado de conservação e a maioria dos edifícios não tinha necessidades de reparação (71.1%), tal como mostra a Figura 18. Ainda assim, existem 17.6% de edifícios com pequenas necessidades de reparação, 6.9% com necessidades médias e 2.7% com grandes necessidades. Apesar de o número ser pouco significativo, ainda existem 59 155 edifícios muito degradados em Portugal.

De realçar que estes valores foram obtidos por observação visual dos edifícios, executada por pessoal sem as devidas qualificações na área da construção e, por isso, as necessidades de reabilitação associadas a “deficiências não visíveis”, como por exemplo a fraca eficiência energética ou a qualidade acústica, não estão consideradas.

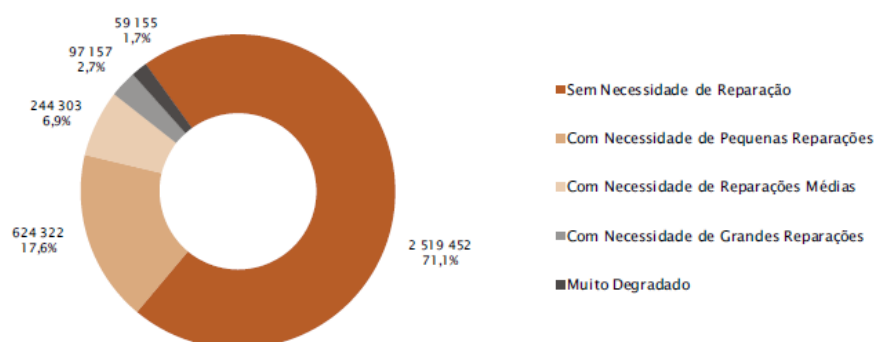


Figura 18 – Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação  
(Fonte: [14])

Como seria de esperar, pouco mais de metade dos edifícios anteriores a 1970 tem necessidade de algum tipo de reparação, com especial ênfase nos edifícios anteriores a 1945. Os tipos de estruturas de construção com mais necessidades de reparações são as paredes de alvenaria sem placa e de pedra solta, onde mais de 60% tem necessidade de algum tipo de reparação (Figura 19). A estrutura em betão armado é a que apresenta menos necessidades de reparações, seguida da parede de alvenaria com placa, ambas com mais de 70% dos edifícios sem necessidade de reparação (Figura 20).

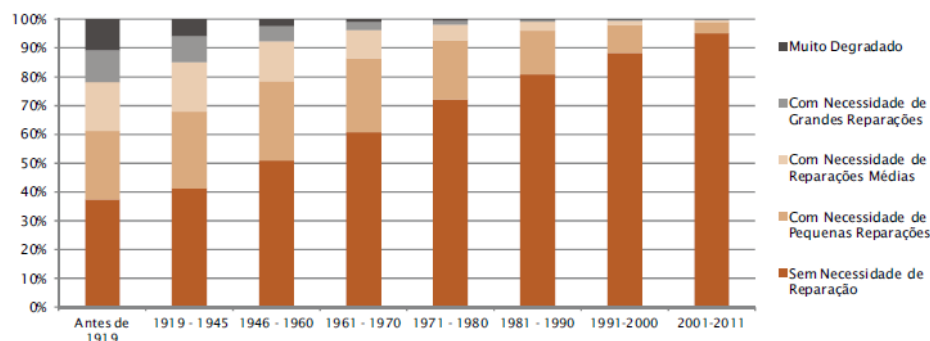


Figura 19 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção do edifício  
(Fonte: [14])

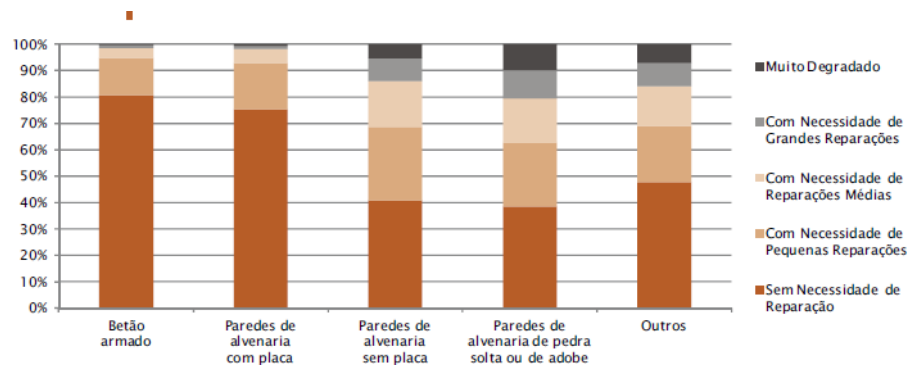


Figura 20 – Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por tipo de estrutura de construção  
(Fonte: [14])

Em 2011, aproximadamente 4% do parque edificado português tinha necessidades de grandes reparações, estando um terço desse parque situado nas regiões do Grande Porto, Tâmega, Grande Lisboa, Douro e Algarve, mais de metade, 58.1%, são edifícios construídos antes de 1945.

### 2.6.2 Carências habitacionais

Em 2011, verificou-se uma diminuição das carências habitacionais quantitativas globais em Portugal, muito devido à diminuição da ocupação de alojamentos não clássicos. A região norte, especialmente o Grande Porto, e Lisboa são as zonas que apresentam maiores carências habitacionais no território. Apesar disso, a taxa de cobertura de alojamentos vagos é quase 100%, conseguindo o mercado cobrir a necessidade de alojamentos [14].

Em Portugal, as carências habitacionais quantitativas podem ser consideradas residuais, devido ao número de alojamentos disponíveis no mercado.

As carências habitacionais qualitativas têm como objetivo analisar as condições de habitabilidade do alojamento, no que diz respeito ao índice de lotação, necessidade de infraestruturas básicas e de alojamentos em edifícios muito degradados.

Segundo os Censos 2011, o número de alojamentos sobrelotados diminuiu 20.8%. Ainda assim, existem mais de 450 000 alojamentos sobrelotados em Portugal, com os maiores

valores (entre 20% e 40%) registados em Albufeira e várias localidades nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira [14].

Em 2011, também se registou uma diminuição significativa (67.8%) da ocupação de alojamentos em edifícios muito degradados, que podem pôr em causa a segurança e saúde dos habitantes, passando assim a existirem 56 774 alojamentos ocupados em edifícios degradados. A maior incidência regista-se nas regiões da Grande Lisboa, Grande Porto e Tâmega [14].

Por fim, a carência de uma infraestrutura básica nos alojamentos portugueses diminuiu face a 2001, registando uma queda de 8.8%, para um total de 1.9% dos alojamentos [14].

### 2.6.3 Desempenho dos edifícios

Atualmente o parque habitacional português é responsável por 17% do consumo global de energia no país, pois a maioria do edificado português é anterior à introdução e aplicação da primeira regulamentação térmica nacional, muitos deles, mesmo os que não evidenciam necessidades de reparação, apresentam fracos desempenhos energéticos, existindo uma necessidade de intervencionar esses edifícios, de modo a melhorar as condições de habitabilidade e desempenho [38, 57]. A implantação das medidas preconizadas nos atuais regulamentos (EPBD) da UE, podem trazer melhorias significativas ao edifício, reduzindo também em 60% as emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa [58].

Segundo o Balanço Energético Sintético 2014, da DGEG [59], a dependência energética do país tem vindo a baixar progressivamente desde 2012, situando-se agora nos 71.1%, devido à redução das importações de gás natural e petróleo e aumento na produção de energia doméstica.

Ainda assim, conforme a Figura 21, a principal fonte de energia em Portugal é o petróleo, sendo responsável por 55.1% da energia final consumida no país. As fontes de energia renovável têm ganho mais importância ao longo dos últimos anos e já começam a ter

percentagens significativas como fonte de energia, mas, ainda assim, apenas representam 25.1% dos alojamentos portugueses em 2010 [15].

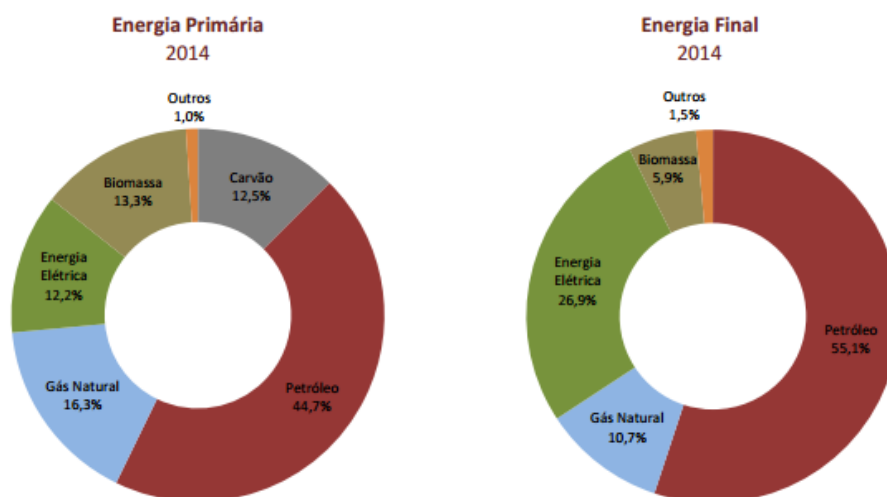


Figura 21 – Fontes de energia primária e final 2014  
(Fonte: [59])

No que diz respeito ao destino da energia consumida e respetivas despesas (Figura 22), a cozinha a continua a ser a principal responsável pelo consumo de energia, representando 39.1% do destino final de energia, que se traduz em 40% do valor da fatura energética. O aquecimento ambiente e de água surge imediatamente a seguir, com 21.5% e 23.5%, respetivamente, como destino da energia nas habitações portuguesas [15].

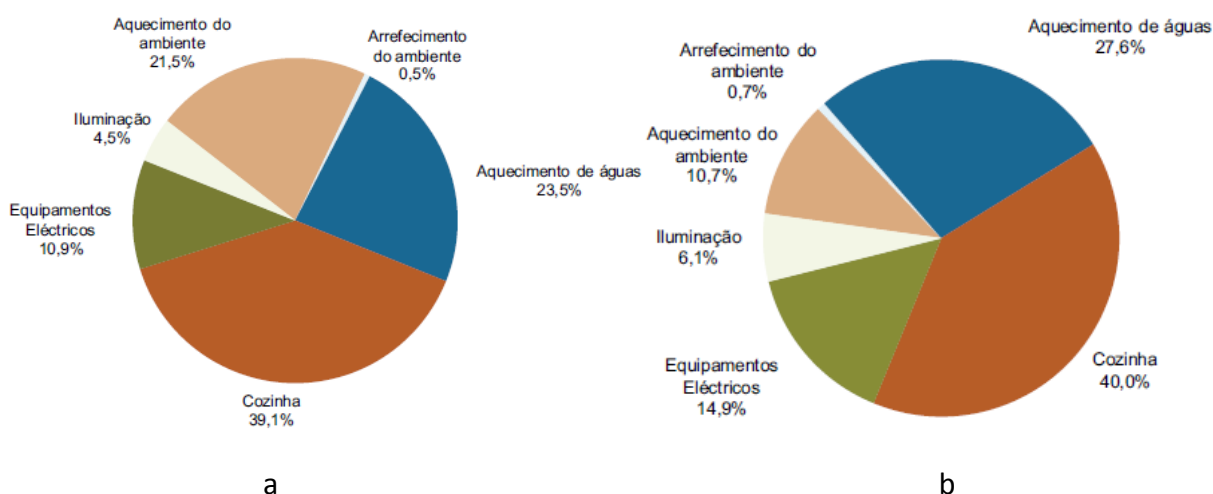


Figura 22 – Distribuição do consumo (a) e despesa (b) de energia no alojamento por tipo de energia e por tipo de utilização 2010  
(Fonte: [15])

Relativamente aos edifícios anteriores a 1970, apresentam níveis de consumo de energia final muito elevados e, em média, 60% superiores aos edifícios recentemente construídos (Figura 23). Alguns dos principais motivos, passam pela inexistência de isolamento ou isolamento ineficiente e/ou utilização de sistemas mecânicos de baixo desempenho.

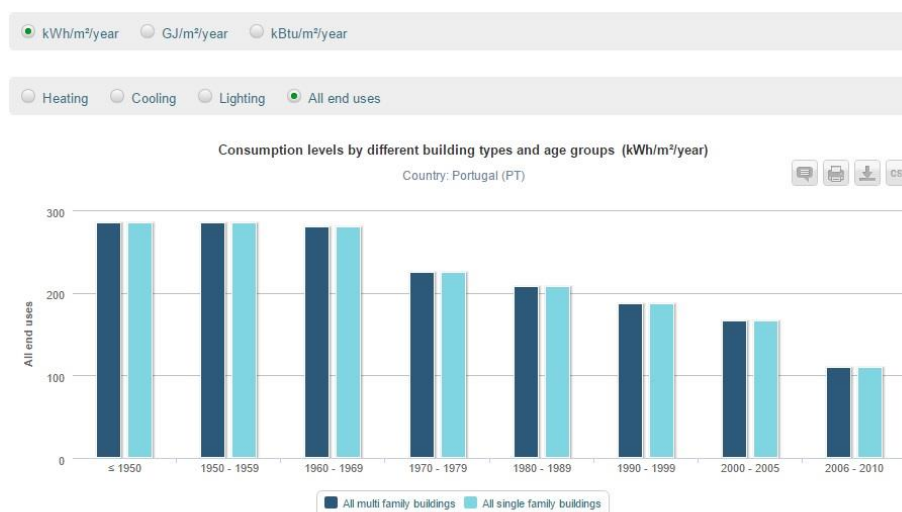


Figura 23 – Consumo energético de edifícios familiares por época de construção  
(Fonte: <http://www.buildingsdata.eu>)

Estes valores corroboram os dados oficiais portugueses. Como podemos ver na Figura 24, os resultados do SCE para edifícios anteriores a 1970 ficam um pouco a desejar, pois a grande maioria dos edifícios apresenta uma classificação de C ou inferior. Visto que a classificação mínima para grades remodelações é C, era expectável a existência destes resultados. Mais preocupante é a situação se analisarmos apenas os edifícios anteriores a 1970 com classificação inferior a C, em que mais de 45% do edificado tem classificação D ou pior.



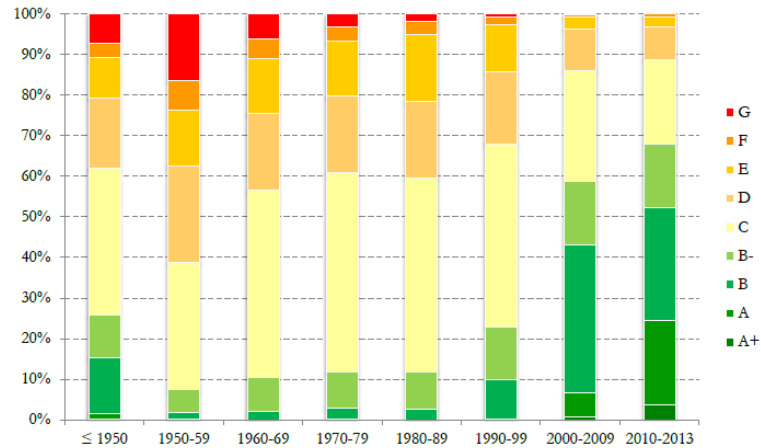


Figura 24 – Desempenho energético dos edifícios portugueses por época de construção  
(Fonte: [60])

## 2.7 Síntese

Face à necessidade de reduzir a dependência energética e a emissão de gases nocivos para a atmosfera, a União Europeia introduziu diretivas (EPDB) que obrigam os seus Estados Membros a criar regulamentos específicos para edifícios, com o objetivo de os tornar mais sustentáveis e eficientes. Em Portugal, o principal setor do edificado responsável pela elevada necessidade energética e emissões de CO<sub>2</sub>, é o conjunto de edifícios construídos antes 1970, onde, além da fraca eficiência energética, existe uma percentagem com necessidade de reparações. Isto deve-se ao facto deste edificado ser anterior à implementação de regulamentação energética. Surge assim a oportunidade de reabilitar estes edifícios, de maneira a atingir as metas propostas pela UE.

Com a revisão da EPBD e a introdução do conceito de edifícios de balanço energético nulo (ZEB), este conceito tem-se vindo a tornar no novo objetivo do setor da construção, pois apresenta uma série de vantagens para o utilizador e para o ambiente. Este conceito também tem vindo a ganhar importância no que toca à reabilitação de edifícios, onde a base para o seu desenvolvimento deve, inicialmente, assentar numa reabilitação sustentável, de forma a melhorar o conforto dos ocupantes e reduzir os impactos ambientais. Posteriormente, devem ser idealizadas e concretizadas tecnologias de produção de energia renovável, de forma a diminuir ou mitigar a dependência energética da habitação.



### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Metodologia geral**

Para atingir as principais metas da presente dissertação, ao longo dos próximos capítulos são realizados estudos e análises que visam melhorar a eficiência energética de um edifício tipo que representa uma parte relevante o parque habitacional nacional.

Inicialmente, com base na caracterização do parque habitacional português presente no segundo capítulo, foi definido um edifício tipo que tem em consideração as características construtivas do norte do país, típicas de anos anteriores a 1970. Este edifício tipo também terá em atenção as informações disponibilizadas por diversas entidades governamentais.

De seguida, foram propostas medidas de reabilitação adequadas ao edifício em estudo, tendo em consideração os requisitos e exigências da habitação. Estas medidas são bastante abrangentes, iniciando com o aumento de isolamento na envolvente do edifício e a substituição dos envidraçados e caixilharias pouco eficientes da época. São propostos sistemas mecânicos de climatização, bem como possíveis tecnologias de energias renováveis a introduzir de forma a produzir energia no local, reduzindo a dependência energética da habitação.

Posteriormente, será realizada uma análise económica, relativa às possíveis medidas implementadas, de maneira a avaliar a viabilidade das mesmas.

Através de programas computacionais integrados na metodologia BIM, serão realizadas diversas simulações que visam determinar quais as principais e mais vantajosas medidas a adotar. Inicialmente, será efetuada uma simulação ao edifício sem quaisquer intervenções de forma a avaliar o atual desempenho do mesmo. De seguida, foram introduzidas as diferentes medidas propostas e avaliado o seu impacto, comparando com o edifício sem intervenções, no desempenho energético.

Os programas utilizados foram escolhidos conforme as potencialidades e a interoperabilidade apresentada, pois a capacidade de exportar e importar ficheiros de diferentes programas, é uma das principais vantagens da metodologia BIM, na construção civil.

Posto isto, para modelar o edifício, foi escolhido o Revit da Autodesk, que se apresenta como um dos principais programas para modelar edifícios no contexto BIM e exhibe inúmeras potencialidades em várias áreas, de onde se pode destacar a existência de um simulador de desempenho energético incorporado e da capacidade de exportar o ficheiro para outros programas de análises térmicas e energéticas.

Apesar da existência de um simulador do desempenho energético, este ainda se encontra pouco desenvolvido, sendo por isso, necessário explorar outros programas mais avançados na área. Assim, surge a oportunidade de explorar dois novos programas dedicados à eficiência energética e sustentabilidade, o Green Building Studio (GBS), da Autodesk, e o DesignBuilder. O principal motivo para a escolha destes programas, é a facilidade de troca de informação com o Revit, diminuindo a perda de informação e simplificando processos, aquando da transição.

Quando possível, foi realizada uma comparação de resultados entre os diferentes programas computacionais utilizados, de forma a avaliar as vantagens e desvantagens de cada um.

Por fim, são expostas algumas conclusões sobre a metodologia BIM, aplicada à eficiência energética, bem como, o seu desenvolvimento futuro.

### **3.2 Caracterização edifício tipo**

De maneira a caracterizar o edificado em estudo, foi necessário definir um Edifício-tipo a ser analisado, que reúna uma série de características que permitam assemelhá-lo aos edifícios e às técnicas de construção utilizadas antes de 1970, de modo a poder extrapolar os resultados para outros casos semelhantes.

Assim, o edifício escolhido para o estudo, é um edifício exclusivamente de habitação de 1 piso que contém apenas 1 alojamento, e destina-se a habitação permanente, representado na Figura 25. É um edifício isolado situado em Braga, que foi construído nos finais dos anos 60, juntamente com os outros 3 edifícios vizinhos que são idênticos e apresentam inúmeras características análogas aos métodos construtivos praticados já antes de 1919, como se poderá constatar. Encontra-se na zona climática de inverno I2 e na zona climática V2 de verão, definidas no REH e está em local abrangido pelo Plano Diretor Municipal (PDM) de Braga, como área residencial, circundado por áreas agrícolas. De realçar que a habitação se encontra num dos locais de maior precipitação no país, com valores médios entre 1750mm e 2000mm anuais de acordo com os dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), na Imagem I.1 (Anexo I).



Figura 25 – Vista área da habitação em estudo  
(Fonte: imagens retiradas do Google Maps)

Os 4 edifícios estão ocupados, pertencem a privados e destinam-se a aluguer de longa duração. A habitação é apenas constituída por um volume de 351 m<sup>3</sup> que se encontra à cota de soleira, tem uma área total de pavimento de 90m<sup>2</sup>, uma área de implantação aproximada de 380 m<sup>2</sup> e é constituída por 7 divisões: 3 quartos, uma cozinha, uma sala de estar, arrumos e ainda uma casa de banho dotada de banheira e infraestruturas básicas. A ventilação é assegurada pelos meios habituais, através de 7 janelas e 2 portas de acesso ao exterior, como se pode constatar na Figura 26.

As divisões da habitação cumprem os requisitos mínimos de área estabelecidos no Regulamento Geral de Edificações Urbanas - RGEU (Tabela II.1, Anexo II), estabelecidos para a tipologia de habitação T3.

Em termos de equipamentos, a habitação possui um fogão e esquentador a gás, um frigorífico, uma máquina de lavar roupa e diversos aparelhos móveis de aquecimento.

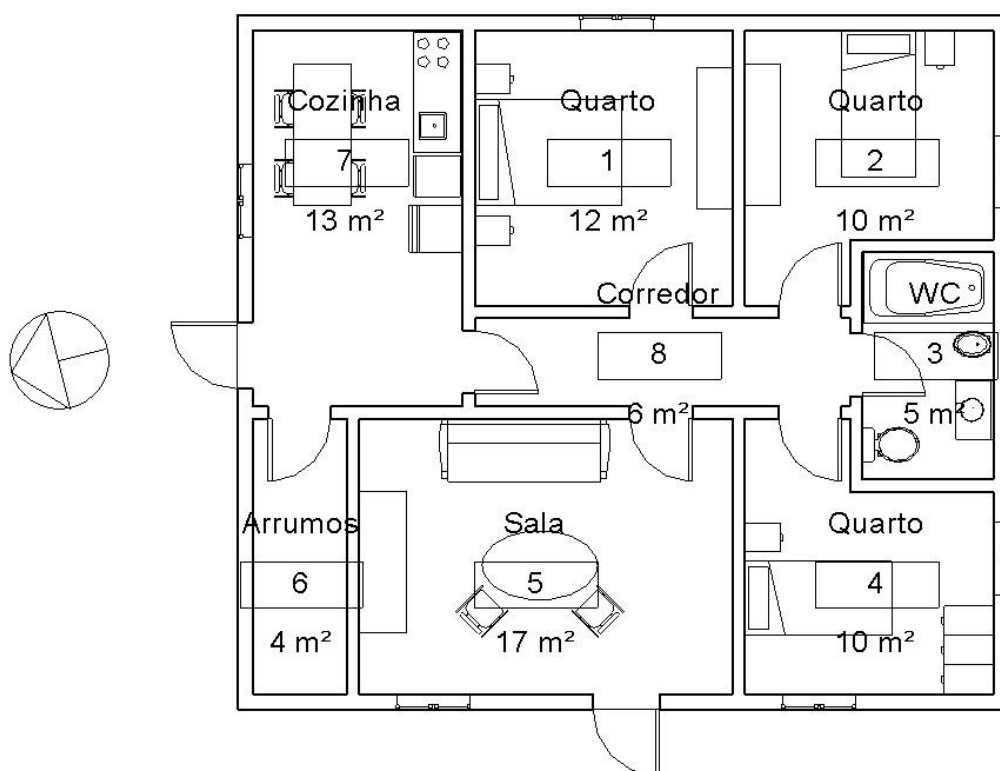


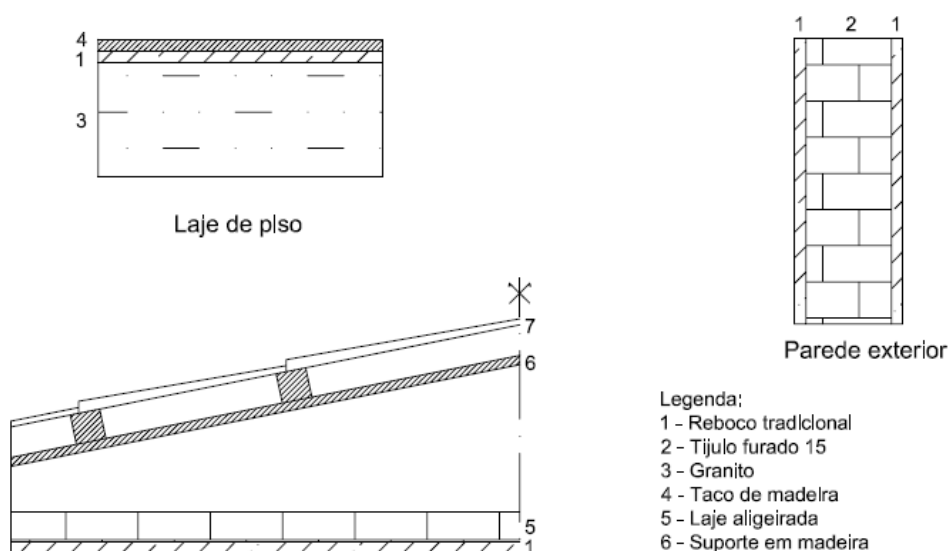
Figura 26 – Planta da situação existente

O edifício possui paredes de alvenaria simples de tijolo furado de 15 cm, rebocada em ambas as faces. As paredes interiores são constituídas por tijolo furado de 11 cm e rebocadas em ambos os lados. A cobertura original é inclinada de duas águas, com telhas cerâmicas, suportadas em vigas de madeira, com um desvão de 1.7 m (posteriormente, a cobertura foi revestida com painel do tipo sanduiche em zinco com 5 cm de espessura).

O pavimento é em granito, revestido com tacos de madeira e a laje de esteira é aligeirada rebocada na face inferior. Como era habitual na época, não existe qualquer tipo de isolamento ou impermeabilização no edifício, apresentado assim, um deficiente desempenho energético.

Os pormenores construtivos dos elementos descritos podem ser consultados na Figura 27. Como já foi referido, a habitação possui 7 janelas, que totaliza uma área de envidraçados de 6.3 m<sup>2</sup> (7% da área de pavimento). Destes, 2.3 m<sup>2</sup> estão orientados a sul, 1 m<sup>2</sup> a Este, 2 m<sup>2</sup> a Oeste e 1 m<sup>2</sup> a Norte. O vidro utilizado é simples e a caixilharia das janelas é em alumínio, sem corte térmico. De realçar a existência de obstruções e sombreamentos a Sul e a Este da habitação.

Por fim, as portas de acesso, também de alumínio, localizam-se nos alçados Norte e Oeste da habitação.



Através do Quadro Resumo – Edifícios Residenciais de Referência da ADENE, pode-se constatar que o edifício em estudo apresenta uma série de características semelhantes aos edifícios referência da sua época de construção:

- Edifício residencial isolado com 1 piso, totalmente destinado a habitação;
- Contém 1 alojamento com tipologia T3;
- Envolvente em alvenaria de tijolo furado rebocada em ambas as faces;
- Cobertura inclinada com desvão revestida a telha cerâmica e laje aligeirada;
- Caixilharia em alumínio sem corte térmico.

Contudo, o edifício contém algumas diferenças relativamente ao de referência, nomeadamente:

- Área útil aproximadamente 10% inferior (referência: 80 a 100 m<sup>2</sup>);
- Área de envidraçados cerca de 40% inferior (referência: 11,45% a 13,56% da área de pavimento).



#### **4. MEDIDAS DE REABILITAÇÃO E RESPETIVOS IMPACTOS**

O processo e métodos construtivos da habitação em estudo foram realizados segunda as tendências da época (final da década de 60), sem qualquer tipo de isolamento, apresentando assim, um fraco desempenho energético. Sendo assim, de modo a torná-la mais eficiente, torna-se necessário intervir energeticamente, atuando não só na envolvente do edifício, como também introduzindo equipamentos e tecnologias mais eficientes, de maneira a diminuir as necessidades energéticas. Estas medidas pretendem tornar possível alcançar um edifício de balanço energético quase nulo na habitação e, ao mesmo tempo, melhorar o conforto térmico.

O Decreto-Lei nº 118/2013 impõe que os edifícios sujeitos a processos de reabilitação com área superior a 50 m<sup>2</sup> têm a necessidade de cumprir determinados requisitos de comportamento térmico. Além disso, visto que a habitação se destina a processos de locação, a regulamentação em vigor exige que seja emitido um certificado energético, apesar de não exigir uma classificação mínima. Ainda assim, torna-se necessário que as medidas a aplicar no caso de estudo estejam de acordo com os mesmos requisitos definidos para uma reabilitação. Seguidamente, são apresentadas medidas, passivas e ativas, que, quando combinadas, contribuem para reduzir a fatura energética da habitação e as emissões de carbono. Será também possível melhorar o conforto dos habitantes e o valor do imóvel, ao mesmo tempo que se reduzem patologias e despesas de manutenção.

##### **4.1 Soluções passivas**

Dado o aumento das exigências relativas ao conforto térmico em edificações, a indústria da Arquitetura Engenharia e Construção (AEC) tem vindo a desenvolver tecnologias económicas e ecológicas que permitem atingir esses mesmo padrões. A aplicação de isolamento térmico assume-se como fundamental na estratégia adotada, garantindo alguns requisitos de

conforto, reduzindo a fatura energética do edifício e corrigindo eventuais problemas técnicos, tornando-se assim essencial para atingir um edifício de balanço energético nulo [61].

Dada a inexistência de qualquer isolamento, a aplicação do mesmo no edifício, torna-se a principal medida a ser estudada, no que diz respeito à envolvente do edifício, pois esta é a grande responsável pelas trocas de calor com o exterior (Figura 28). A aplicação deste deve ser realizada nas paredes exteriores e na cobertura ou laje de esteira e pode ser executado pelo interior ou pelo exterior, sendo que o revestimento pelo exterior é mais vantajoso, pois permite eliminar pontes térmicas, aumenta a resistência da envolvente contra a chuva, aumenta a capacidade da parede armazenar calor (inércia térmica), melhora a eficiência energética e não impede a utilização do edifício durante a sua aplicação.

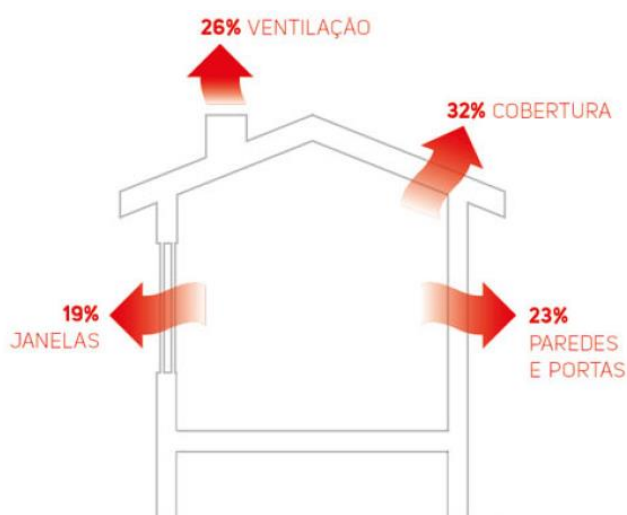


Figura 28 – Perdas de calor típicas numa habitação (exemplo para um T3 com 136 m<sup>2</sup>)  
(Fonte: [56])

Para o caso em estudo, será apenas considerada uma intervenção na envolvente da habitação, sendo que as paredes interiores não serão alteradas. Além disso, apresenta determinadas características que podem ser vistas como restrições ao tipo de revestimento a aplicar:

- Área útil da habitação de apenas 77m<sup>2</sup>, o que dificulta a aplicação de revestimento pelo interior, pois irá diminuir o espaço habitável da habitação;
- As palas de sombreamento da cobertura ultrapassam o limite das paredes exteriores em 20 cm e em 30 cm nas fachadas Norte/Sul e Este/Oeste, respetivamente, o que limita a aplicação de revestimento pelo exterior, pois este deve ter espessura inferior.

#### 4.1.1 Paredes exteriores

A parede exterior existente n...o edifício é responsável por elevadas perdas ou ganhos de calor e desenvolve focos de condensação, fungos e bolores, possível sinal da ausência de isolamento [54].

Considerando as restrições anteriores, foram definidas 3 diferentes hipóteses, devidamente justificadas, para a aplicação de isolamento nas paredes exteriores da habitação, de forma a selecionar a solução mais viável. Qualquer que seja a solução adotada, além de responder aos requisitos da habitação, deve ainda melhorar o conforto térmico da habitação, reduzir as patologias no interior, reduzir o valor da fatura energética e ainda melhorar o isolamento acústico do edifício.

##### 1ª Hipótese

Revestimento pelo interior, através da colocação de isolamento em EPS, placa de gesso cartonado colada (Figura 29).

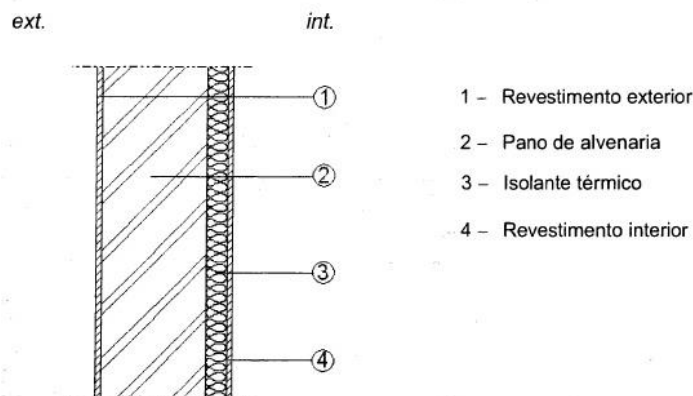


Figura 29 – Pormenor construtivo de isolamento pelo interior  
(Fonte: Adaptado de LNEC ITE 50)

Como já foi referido, o revestimento pelo exterior é mais vantajoso do que pelo interior. Ainda assim, foi analisada esta solução de modo a representar os impactos da realização do revestimento pelo interior, numa habitação com reduzido espaço.

Mesmo considerando uma hipótese com baixa espessura de isolamento, a sua aplicação, iria reduzir a área útil da habitação, deixando assim algumas divisões de cumprir os requisitos do RGEU. A título de exemplo, foi realizado um modelo em que se colocou um isolamento de 4 cm, mais 2 cm de gesso cartonado pelo interior nas paredes exteriores, o que resultou numa diminuição da área útil em quase 3%, de 77 m<sup>2</sup> para 75 m<sup>2</sup>. Um dos quartos da habitação passou também a não ter a área mínima exigida, de 9.5 m<sup>2</sup>.

## 2.ª Hipótese

Revestimento pelo exterior através de um sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), representado na Figura 30, constituído por uma camada de isolamento (EPS) seguida de uma camada base com armadura em fibra de vidro e revestimento de acabamento (isolamento térmico com revestimento delgado).

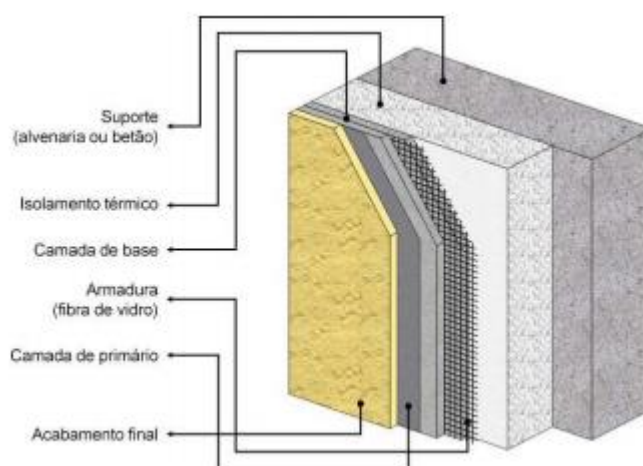


Figura 30 – Pormenor construtivo sistema ETICS  
(Fonte: [61])

A escolha do revestimento delgado deve-se ao facto de este melhorar a resistência estrutural do sistema, relativamente ao revestimento espesso.

As principais vantagens desta solução é a reduzida espessura de isolamento necessária para obtenção de um mesmo coeficiente de transmissão térmico global da envolvente, a diminuição da fatura energética, aumento da proteção contra agentes atmosféricos, aumento

do conforto interior, melhoria da impermeabilização da envolvente, aumento da durabilidade, grande variedade de soluções de acabamento e possibilidade de aplicação sem interferir com o interior da habitação [61, 62].

No verão, esta solução permite regularizar a temperatura interior e, no inverno, aumenta a sua capacidade de armazenar calor [61].

Apesar de todas as vantagens deste tipo de sistema, também existem algumas desvantagens como, por exemplo, reação elevada ao fogo, elevado custo inicial, aplicação dificultada em aberturas e/ou pormenores complicados, necessidade de mão-de-obra especializada e possibilidade de surgimento de fungos e algas [62].

### 3ª Hipótese

Revestimento pelo exterior através da colocação de isolamento (XPS), seguido de caixa de ar e pano exterior fixado pontualmente no pano de alvenaria - fachada ventilada (Figura 31).

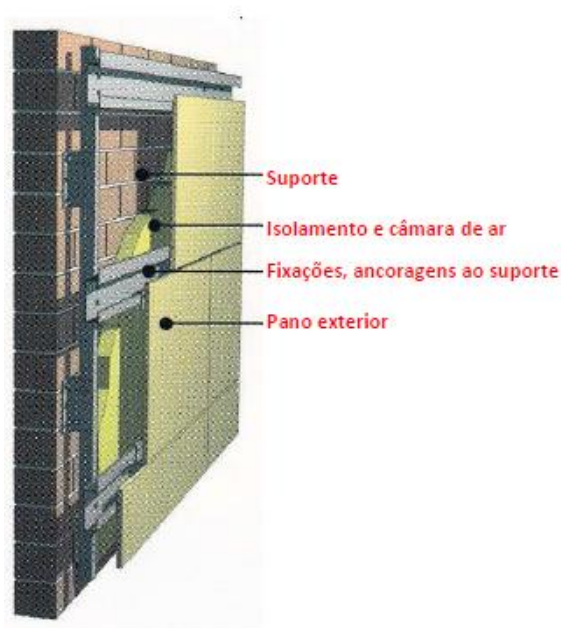


Figura 31 – Pormenor construtivo da fachada ventilada  
(Fonte: [63])

A principal vantagem desta solução reside na caixa-de-ar com circulação de ar, que permite uma ventilação natural contínua das paredes. Através do efeito chaminé, o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior, eliminando humidades e condensações.

No verão, este tipo de solução permite aliviar a acumulação de calor proveniente da radiação solar direta, substituindo o ar existente, por um mais fresco. No inverno, é necessária a existência de drenagem para evacuar a humidade e condensações, de forma a melhorar o conforto térmico interior [63].

Outras vantagens passam pela facilidade e rapidez de execução e redução de ruídos provenientes do exterior [63, 64].

As desvantagens inerentes a esta solução são o elevado custo inicial (superior ao ETICS), a reação elevada ao fogo, a necessidade de mão-de-obra especializada e a demorada aplicação, dependendo do tipo de fixação [64].

#### Hipóteses escolhidas

Analisando os prós e contras de cada alternativa, a solução a adotar passará pela introdução do sistema ETICS ou do sistema em fachada ventilada. De forma a averiguar qual a melhor solução, ambas as hipóteses serão devidamente estudadas, com recurso a programas de análise do desempenho energético.

O material a adotar depende do sistema escolhido, pois o tipo de isolamento tradicionalmente utilizado no sistema ETICS é o poliestireno expandido (EPS). Para uma fachada ventilada, é mais aconselhável utilizar o poliestireno extrudido (XPS), pois reúne uma série de características favoráveis à sua utilização, como a baixa absorção de água (capilaridade nula) e a menor probabilidade de desenvolvimento de bolores e fungos. Ambos os isolamentos possuem elevada resistência mecânica, elevado desempenho térmico e com determinadas características, o EPS atinge valores de densidade e condutibilidade térmica semelhantes ao XPS.

#### 4.1.2 Cobertura

Numa habitação típica, as coberturas são responsáveis por cerca de 30% de perdas de calor e pelo desenvolvimento de focos de condensação, fungos e bolores, sendo necessário proceder ao seu isolamento [56]. Além disso, a cobertura também deve apresentar outras funções, como impermeabilidade, leveza, isolamento acústico, durabilidade e ser esteticamente agradável [61].

A cobertura existente na habitação, pormenorizada na Figura 27, é constituída por telha cerâmica, suportada em estrutura de madeira, que, por sua vez, assenta na laje de esteira. Este método construtivo é típico dos anos anteriores a 1960 e, tal como as paredes exteriores, não apresenta qualquer tipo de isolamento tendo como única função a proteção contras as intempéries.

Seguidamente são apresentadas três possíveis hipóteses a adotar para o caso em estudo, tendo em consideração que qualquer que seja a decisão, a cobertura deve aumentar o conforto térmico da habitação, reduzindo, assim, a fatura energética, minimizando a ocorrência de patologias associadas à humidade e garantindo a durabilidade da habitação.

##### 1ª Hipótese

Aplicação de isolamento e impermeabilização sobre a laje de esteira.

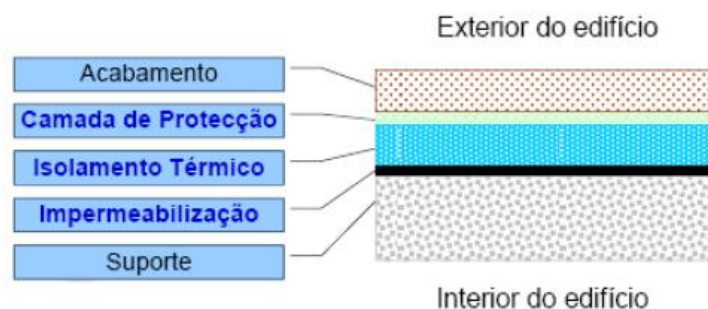


Figura 32 – Pormenor construtivo da cobertura invertida  
(Fonte: [61])

Esta hipótese, tem por base a cobertura invertida (Figura 32), que é constituída pela aplicação de uma tela de impermeabilização (PVC/asfáltica) sobre a laje, seguido do isolamento térmico (XPS), envolto numa camada de proteção e posterior acabamento final.

A cobertura invertida caracteriza-se pela inversão da posição do isolamento térmico, relativamente à cobertura tradicional. Este é colocado após a camada de impermeabilização, o que permite aumentar a durabilidade desta camada, pois protege-a contra choques térmicos, ações mecânicas, radiação ultravioleta e ainda contra a humidade presente na parte inferior da camada de impermeabilização, no caso da cobertura tradicional. Este tipo de cobertura depende de um isolamento térmico com características específicas, no que diz respeito ao comportamento térmico, mecânica e resistência à humidade [61, 65].

As principais vantagens desta solução passam pela possibilidade de aplicação de isolamento sob quaisquer condições atmosféricas, facilidade e rapidez de execução e durabilidade da camada de impermeabilização [65].

A principal desvantagem, comparando com a cobertura tradicional, é o pior desempenho térmico, resultante da inversão da posição do isolamento [65].

Com esta hipótese, seria necessário executar uma cobertura horizontal plana, com a introdução de uma pendente para escoamento de águas pluviais, bem como estudada uma nova solução de evacuação das mesmas através de tubos de queda. Além disso, os materiais a adotar teriam de ter em consideração que a cobertura seria apenas acessível para manutenção.

De forma a manter a cobertura inclinada em telha cerâmica, como representado na Figura 33, e a reduzir o custo da intervenção, evitando a aplicação de impermeabilização e do acabamento exterior, colocando apenas isolamento sobre a laje de esteira, reduzindo os custos da intervenção.



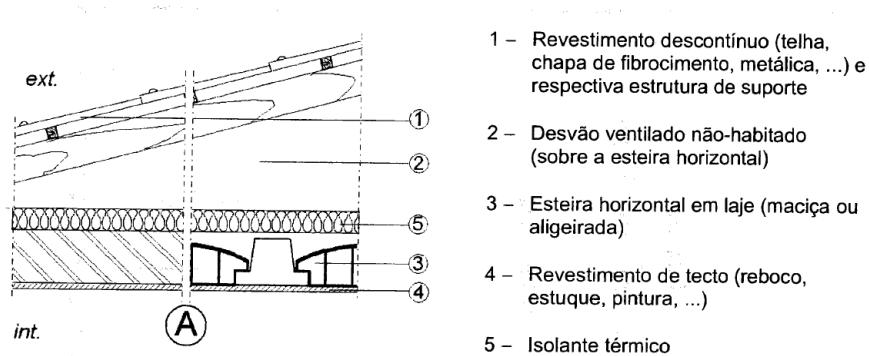


Figura 33 – Isolamento sobre a laje de esteira  
(Fonte: ITE 50)

## 2ª Hipótese

Substituição da cobertura da vertente inclinada por um painel do tipo sanduiche (Figura 33)

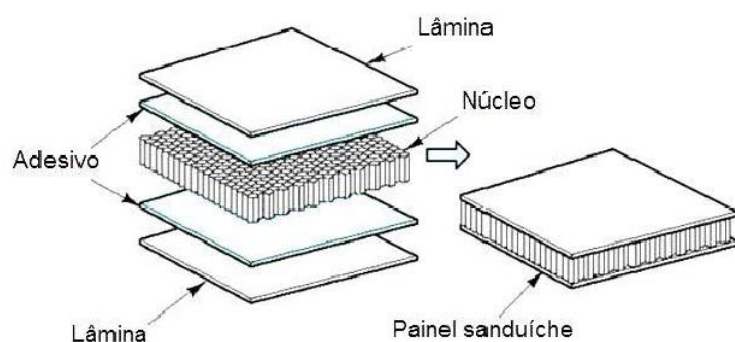


Figura 34 – Pormenor construtivo do Painel tipo sanduiche  
(Fonte: [61])

A segunda hipótese é apresentada com o intuito de representar o estado atual da habitação, pois esta foi intervencionada na cobertura inclinada, substituindo-a por um painel sanduiche, com 5 cm de espessura.

Esta solução pré-fabricada compósita caracteriza-se pela combinação de diferentes materiais em várias camadas, o que origina uma série de propriedades específicas que tornam o painel sanduiche numa solução atrativa. O núcleo do painel, material pouco rígido e pouco resistente, pode assumir diferentes tipologias, homogéneo e não homogéneo, conforme o suporte das lâminas que são constituídas por um material rígido e denso [61].

As principais vantagens deste sistema são a leveza, a elevada rigidez e resistência, as excelentes propriedades de isolamento térmico, a facilidade de montagem, a facilidade de adotar formas irregulares e a boa durabilidade.

Contudo, o painel sanduiche apresenta algumas limitações, como a fraca resistência a temperaturas elevadas (o que provoca deformações), o fraco isolamento acústico, o perigo para a saúde durante o processo de produção (manuseamento de resinas), reduzidas possibilidades de reciclagem e variedade de critérios de rotura, o que dificulta o dimensionamento [61].

Relativamente à sua aplicação na habitação, não se apresenta como a melhor alternativa, pois face à existência de uma laje de esteira, a intervenção deveria ter sido realizada nessa mesma laje, de maneira a isolar o espaço habitável. Com esta solução, as trocas de calor efetuadas entre o espaço habitável e o sótão não acessível são privilegiadas, existindo assim um desperdício da energia utilizada.

#### Hipótese escolhida

A solução escolhida para ser realizada na intervenção no caso de estudo, passa pela aplicação de isolamento sobre a laje de esteira, mantendo a cobertura inclinada em telha cerâmica, pois é a que se apresenta como solução mais económica e eficiente para a habitação.

A cobertura invertida plana seria adequada, caso se pretendesse instalar painéis solares orientados diretamente a Sul, para um maior aproveitamento solar, mas a colocação de painéis na cobertura atual, também se apresenta como uma boa escolha, visto existir a possibilidade de serem orientados para o quadrante Sul.

#### 4.1.3 Envidraçados

Os vãos envidraçados são um elemento importante na envolvente de uma habitação, a diversos níveis, tendo influência na iluminação e ventilação natural, balanço térmico e isolamento acústico [55]. Por isso, é essencial que os envidraçados e respetivos caixilhos apresentem determinadas características de maneira a obter envidraçados eficientes, capazes

de melhorar o isolamento térmico e acústico do edifício e, ao mesmo tempo, proporcionar um adequado conforto térmico e visual aos seus ocupantes. Este tipo de envidraçado, no verão, deve ser capaz de proteger o edifício da radiação solar excessiva e, no inverno, maximizar os ganhos solares, de forma a promover os ganhos de calor [36, 66].

Relativamente aos envidraçados da habitação, apresentam o tradicional vidro simples com caixilharia em alumínio e a área total de vãos envidraçados equivale a quase 8% da área útil de pavimento.

As hipóteses para a reabilitação dos envidraçados da habitação apresentadas de seguida, têm por base um estudo realizado por Sirgado em 2010 [67], relativo aos vãos envidraçados em Portugal [67].

### 1ª Hipótese

Vidro duplo com película de baixa emissividade, com caixilharia em policloreto de polivinila (PVC).

Segundo o estudo referido, este tipo de vidro apresenta o melhor comportamento térmico durante o inverno, conduzindo a uma diminuição das necessidades de aquecimento da habitação.

Apesar disso, no verão, beneficia mais os ganhos solares, comparativamente ao vidro colorido e ao vidro triplo. Ainda assim, este tipo de vidro apresenta as menores necessidades nominais globais anuais de energia primária para a zona norte do país.

No mesmo estudo de Sirgado [67], esta solução está associada a uma caixilharia em madeira, mas o autor, afirma que o material da caixilharia com melhor comportamento térmico é o plástico, seguido da madeira e do alumínio.

## 2.ª Hipótese

### Vidro triplo com caixilharia em PVC

Esta hipótese apresenta resultados muito próximos da solução anterior relativamente às necessidades nominais globais anuais de energia primária, embora um pouco superiores (1.5%). É certo que quantas mais camadas de vidro forem utilizadas, menor será o valor do coeficiente de transmissão térmica (U) da janela, embora essa redução se verifique numa menor proporção, conforme se adicionam mais camadas.

Mais uma vez, baseado no estudo de Sirgado, o material adotado para a caixilharia foi o PVC.

### Hipótese escolhida

Face aos resultados obtidos por Sirgado para o coeficiente de transmissão térmica para ambos os tipos de vidro, verifica-se que o vidro triplo apresenta um U, cerca de 35% relativamente ao vidro duplo com película de baixa emissividade. Contudo essa desigualdade produz diferenças residuais nas necessidades globais de energia, tornando assim o vidro triplo uma opção mais dispendiosa e com resultados idênticos. Assim, a hipótese a adotar para o caso de estudo, passaria pelo vidro duplo, face ao seu custo mais reduzido para resultados semelhantes.

Qualquer que seja a solução a adotar, esta deve ser dotada de proteções solares, pois a incidência excessiva de radiação no verão, leva ao aumento significativo da temperatura interior da habitação, sendo as janelas responsáveis por 35% dos ganhos de calor, sendo que já foi demonstrado que a utilização de proteções solares nos envidraçados pode reduzir a temperatura interior da habitação de 1 °C a 10 °C [68]. Além disso, a instalação destas proteções também tem como intuito controlar a radiação incidente para efeitos de conforto visual dos ocupantes, evitando situações de encandeamento.



Figura 35 – Proteção solar típica  
(Fonte: [68])

As proteções mais usuais em Portugal são as persianas ou estores e as portadas exteriores e interiores (estas últimas, mais comuns em habitações antigas).

A proteção escolhida para a solução dos envidraçados é a tradicional persiana plástica, colocada no exterior do envidraçado, como exemplificado na Figura 35 e, tem como principais funções o controlo da temperatura interior (pelo acréscimo de isolamento térmico) e da radiação solar incidente, isolamento acústico, proteção contra intrusões, impacto e insetos [68].

#### 4.1.4 Outras soluções

Segundo o REH, o pavimento deve também ser adequadamente isolado, de maneira a respeitar os requisitos regulamentares mínimos exigidos. É então proposta a aplicação de isolamento térmico em XPS, sobre o pavimento da habitação. De referir que este material apresenta uma adequada resistência mecânica para suportar a atividade humana bem como garante um adequado desempenho térmico.

## 4.2 Soluções ativas

A integração de sistemas de climatização eficientes e de fontes de energias renovável é um ponto-chave na reabilitação energética de uma habitação, não só de um ponto vista económico e sustentável, mas também de maneira a atingir um edifício de balanço energético quase nulo.

A aplicação de um sistema solar fotovoltaico é capaz de produzir aproximadamente 70% da energia elétrica anual necessária numa habitação típica e Portugal é um país que apresenta condições ótimas à sua incorporação, pois beneficia, em média, de 2600 horas de sol por ano, o que se traduz numa média total anual de irradiação solar de 1500 kWh/m<sup>2</sup> [69]. Os mesmos motivos são aplicados à integração de coletores solares térmicos para aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (AQS).

Atualmente, a habitação não apresenta qualquer sistema de climatização, sendo que o aquecimento das várias divisões é efetuado com recurso a radiadores elétricos móveis de aquecimento. Relativamente à produção de AQS, este é assegurado por um esquentador a gás.

As soluções apresentadas de seguida para o caso de estudo têm dois objetivos principais:

- A combinação do sistema de produção de AQS com o sistema de aquecimento ambiente;
- A integração de sistemas fotovoltaicos para produção de energia elétrica.

### 1.ª Hipótese

Caldeira biomassa com coletor solar térmico e radiadores (Figura 36)

Esta hipótese caracteriza-se pelo uso total de energias renováveis na habitação, tanto através da biomassa como da energia solar. Neste caso, a caldeira a biomassa seria responsável pelo aquecimento ambiente e, como apoio à produção de AQS durante a estação de aquecimento, que é assegurada pelo coletor solar térmico [70].

O tipo de biomassa a utilizar seria biomassa sólida, nomeadamente, a lenha, a estilha e as pellets, que, comparando às tradicionais caldeiras a combustível, é capaz de poupar cerca de 70% de energia [70].

As principais vantagens deste tipo de sistema, são o facto de ser uma energia renovável, pouco poluente (o carbono emitido pelo sistema volta a entrar no ciclo da biomassa), a biomassa sólida é relativamente barata, as cinzas resultantes da combustão são pouco agressivas para o ambiente e é um sistema bastante eficiente [71].

No entanto, também existem desvantagens associadas a este tipo de solução, nomeadamente o elevado custo de investimento, dificuldade em armazenar a biomassa sólida, a impossibilidade do sistema realizar arrefecimento da habitação e a desflorestação [71].

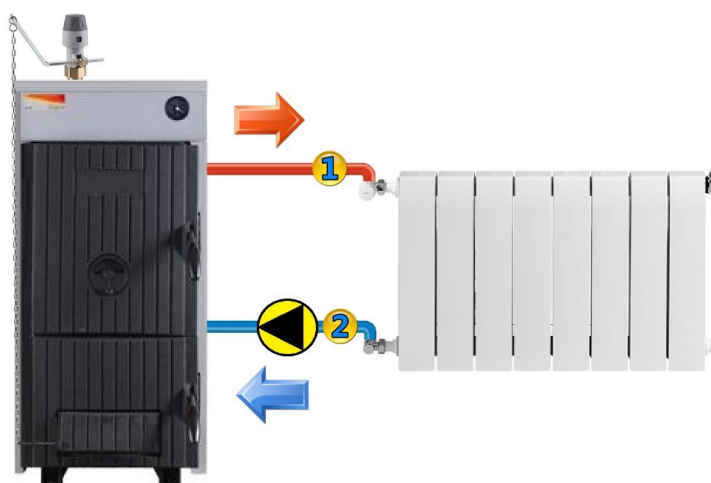


Figura 36 – Exemplo de caldeira a biomassa  
(Fonte: <http://dicasesquemas.blogspot.com>)

## 2.ª Hipótese

Bomba de calor ar-água com ventilo-convetores suportados por sistema fotovoltaico

Este tipo de sistema é um dos principais adotados em edifícios de balanço energético nulo, principalmente em climas frios, pois por cada kW de energia consumida é capaz de gerar 3 a 5 kW de calor tendo, assim, uma eficiência de pelo menos 300%. A título de exemplo, para aquecer a mesma quantidade de água, utiliza apenas 20% da energia que seria necessária com resistências elétricas [70, 72, 73].

Neste caso, a bomba de calor seria alimentada através de painéis fotovoltaicos, de forma a aumentar a eficiência e sustentabilidade da habitação. O aquecimento e arrefecimento ambiente seria realizado com recurso a ventilo-convetores (Figura 37), que neste caso, é a melhor solução, pois o pavimento radiante, habitualmente utilizado com este sistema, necessita de longos períodos de utilização para aquecer o ambiente, visto que aquece inicialmente o pavimento, por condução, e só depois, este aquece o ar ambiente, por convecção.

As principais vantagens é a sua elevada eficiência, facilidade de instalação, reduzidos custos de manutenção e o facto de não produzir gases nocivos ao ambiente [72, 73].

As desvantagens associadas a esta solução são o elevado investimento inicial (apesar de poder ser rapidamente amortizado) e a necessidade da habitação estar devidamente isolada (caso contrário, o gasto energético é elevado) [73].



Figura 37 – Exemplo de ventilo-convetor  
(Fonte: pt.enat.pt)

### 3.ª Hipótese

Sistema multi-splits com termoacumulador elétrico suportados por sistema fotovoltaico (Figura 38).

Esta solução é em tudo semelhante à anterior, pois as diferenças entre elas existem quando comparada com a bomba de calor geotérmica, onde existem tubagens mergulhadas no subsolo, tornando o sistema mais eficiente, utilizando a inércia térmica da terra.



A solução consiste num sistema inverter multi-split, para aquecimento e arrefecimento ambiente, que seria constituído por uma unidade exterior e várias unidades interiores, do tipo mural (montagem nas paredes), nas diversas divisões da habitação. Para produção das AQS, a solução passaria pela instalação de um termoacumulador elétrico. Ambos os equipamentos, sempre que possível, seriam alimentados por um do painel solar fotovoltaico.

As principais vantagens deste tipo de solução são a independência de cada unidade interior (podendo a temperatura ser ajustada individualmente para cada divisão da habitação), a existência de filtros que purificam o ar interior, a existência de apenas uma unidade exterior para várias interiores e a utilização do sistema inverter que permite economizar 30% na fatura energética (o sistema inverter evita paragens e arranques frequentes do compressor, reduzindo o consumo do sistema) [74].

Como todos os outros sistemas, este também apresenta algumas desvantagens, sendo que a principal é que, em caso de avaria da unidade exterior, todo o sistema fica condicionado. Outros pontos negativos são a necessidade de manutenção e substituição de filtros e o elevado custo de investimento.



Figura 38 – Exemplo de split  
(Fonte: [www.megaclima.pt](http://www.megaclima.pt))

### Hipótese escolhida

Em todas as hipóteses, o painel fotovoltaico é uma peça essencial, pois um dos objetivos é alcançar um edifício de balanço energético nulo, algo que seria muito complicado sem a sua utilização. Para tal acontecer, este deve estar ligado à rede, de modo a que, no verão, quando o painel produz mais do que a energia necessária na habitação, esta seja vendida para a rede, de maneira a reduzir o balanço energético do edifício.

Das três hipóteses apresentadas, a que se apresenta como mais favorável à implementação no caso de estudo, é a bomba de calor ar-água com termoacumulador elétrico, abastecidos por um painel solar fotovoltaico na cobertura da habitação (2.ª hipótese). Esta solução é a mais adequada para atingir os objetivos propostos, devido à sua elevada eficiência. Relativamente às restantes alternativas, a primeira hipótese foi excluída devido à incapacidade de arrefecimento do ambiente, ainda assim, caso as mesmas necessidades sejam residuais, apresenta-se como uma boa solução. Já a terceira hipótese, é considerada desadequada ao conceito pretendido para a habitação, pois comparativamente à bomba de calor, não apresenta uma eficiência tão elevada.

Uma outra medida a implementar de modo a reduzir as necessidades energéticas é relativa à iluminação artificial, que deve ser vista como complementar à iluminação natural.

As lâmpadas fluorescentes utilizadas na habitação devem ser substituídas por outras mais eficientes e uma boa escolha passa pela adoção de lâmpadas *Light Emitting Diode* (LED), exemplificadas na Figura 39. Este tipo de lâmpada, apesar de mais cara, está no topo da eficiência energética, sendo 80% mais eficiente que as ultrapassadas lâmpadas incandescentes e com um tempo de vida entre 25 000 e 40 000 horas, 5 vezes superior a uma lâmpada fluorescente compacta, além de não gerar energia reativa, libertar pouco calor e não conter mercúrio. É uma escolha habitual, aquando da transformação de uma habitação num edifício de balanço energético nulo [75, 76].

Segundo o simulador disponível no sítio da EDP, é possível atingir uma poupança de 87% na substituição de 10 lâmpadas incandescentes, por novas lâmpadas LED [77].



Figura 39 – Exemplos de lâmpadas LED

(Fonte: <http://www.portal-energia.com/11-vantagens-do-led-sobre-a-lampada-vapor-metalica-e-de-sodio/>)

Outra medida a ser aplicada passa pela introdução de sistemas de extração na cozinha e na casa de banho, de forma a extrair odores e renovar o ar mais rapidamente, para evitar condensações e concentração de poluentes. Assim, aliado aos processos de ventilação natural na habitação, deve ser assegurada a renovação de 40% a 60% do ar interior por hora, de forma a torná-lo mais fresco e agradável [78].

Por fim, face à frequente precipitação existente no local, é adequado estudar uma solução de reaproveitamento destas águas, como a construção de um reservatório subterrâneo para armazenar as águas provenientes da cobertura, para posterior utilização em rega do jardim e eventualmente no reservatório de bacias de retrete.

### **4.3 Boas práticas**

No que diz respeito à introdução de regras de boas práticas em edifícios com o intuito de melhorar o seu desempenho energético, existem, essencialmente, duas entidades responsáveis: o projetista e o utilizador. Ambos têm o dever de desempenhar adequadamente as suas funções, tendo em consideração o objetivo de reduzir as necessidades energéticas de uma habitação.

Antes de se iniciar o projeto de reabilitação energética, o projetista e o utilizador devem definir o orçamento disponível e o período de retorno do mesmo, de maneira a restringir as soluções a aplicar ou até mesmo potenciar a investigação de soluções mais eficazes.

Definido o orçamento, o projetista deve idealizar a proposta de intervenção, tendo em consideração as exigências dos regulamentos em vigor, a introdução de tecnologias eficientes e a combinação de sistemas mecânicos [79].

O primeiro objetivo do projetista deve passar pelo reforço do isolamento térmico da envolvente do edifício, de maneira a reduzir as trocas térmicas com o exterior e as infiltrações de ar/água. De seguida, deve pensar em estratégias para um melhor aproveitamento da iluminação e ventilação naturais, tendo sempre em atenção as respetivas proteções solares e sombreamentos.

Relativamente aos sistemas mecânicos, a combinação de sistemas para produção de AQS e ventilação ambiente, quando devidamente planeadas, têm potencial para diminuir de forma significativa o consumo energético de uma habitação, bem como para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, comparando com os sistemas tradicionais [79]. A introdução de sistemas solares é também um ponto-chave, aquando da reabilitação energética de um edifício, pois cada vez mais a sustentabilidade da habitação e a capacidade para gerar a sua própria energia se torna num assunto com elevada importância. Como já foi referido anteriormente, a não utilização deste tipo de sistemas torna quase impossível a missão de atingir um edifício de balanço energético nulo.

Por fim, se possível, deve ser instalado um sistema de monitorização e controlo do consumo de energia para que o utilizador tenha uma perceção, em tempo real, da energia que utiliza.

Também na ótica do utilizador, além de este dever monitorizar a sua habitação, deve adotar comportamentos adequados no que toca a poupanças energéticas. De entre as muitas dicas presentes em manuais para a eficiência energética, é de destacar as seguintes [79, 80]:

- Ajustar a utilização de sistemas mecânicos conforme as necessidades de climatização do edifício;
- Preferir a ventilação natural à ventilação mecânica;
- Preferir a iluminação natural à iluminação artificial;
- Não deixar lâmpadas ligadas em espaços que não estão a ser utilizados;
- Não deixar equipamentos elétricos em modo de espera;
- Utilizar equipamentos e iluminação artificial com elevada classificação energética;
- Colocar fitas de isolamento debaixo de portas e calafetar as frinchas das janelas;
- Controlar devidamente os sistemas de sombreamento para aumentar ou diminuir a incidência de radiação, conforme a estação do ano;
- Colocar plantas em alguns espaços da habitação, de maneira a melhorar a qualidade do ar;
- Reduzir o consumo de água, instalando sistemas de redução de caudal;
- Aplicar autoclismo de dupla descarga, que permitem descargas de 3 ou 6 litros (tradicional: 10 litros).

## 5. ANÁLISE TÉRMICA COM RECURSO A METODOLOGIA BIM

### 5.1 Metodologia BIM

Nos últimos tempos, os projetos de construção têm-se tornado mais difíceis e complexos. De forma a melhorar o edificado construído durante todo o seu ciclo de vida, existe uma necessidade de automatizar e modernizar os processos construtivos. Surge assim, o *Building Information Modelling* (BIM), que tem vindo a introduzir uma mudança no setor da construção a um nível mundial e cada vez mais se tem assistido a um aumento da procura por parte dos donos de obra. Em certos países, como a Inglaterra, já foi introduzida, em 2016, uma norma que exige que todos os projetos públicos realizados recorram a esta metodologia [81].

Na indústria da construção, o BIM apresenta-se como o mais recente método para elaborar projetos (Figura 40), sucedendo assim ao típico uso do CAD 2D e 3D, representado a introdução de tecnologias informáticas na construção.

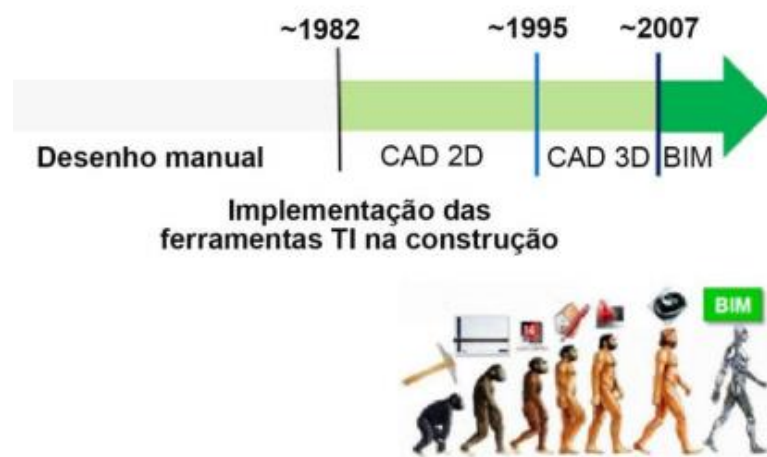


Figura 40 – Evolução temporal da indústria da AEC  
(Fonte: [82])

O atual conceito BIM, tem por base vários estudos e ideias que foram desenvolvidos ao longo dos anos. A principal marca na indústria data dos finais da década de 70, quando a Charles M. Eastman criou o conceito de *Building Product Model*, que consistia num *software* que continha uma base de dados de elementos utilizados na construção. Eastman marcou o início da

modelação de edifícios suportada por uma base de dados, 7 anos antes na fundação da Autodesk, atualmente um dos principais criadores de programas BIM [82]. A primeira vez que a metodologia BIM foi adotada num projeto foi em 1987, sob responsabilidade da Graphisoft, com a criação de um modelo virtual, através do ArchiCAD.

Atualmente existem diferentes aproximações à metodologia BIM: segundo o BIM Handbook [83], o BIM é *“uma mudança de paradigma que trará bastantes impactos e benefícios, não só para a indústria da construção, como também para a sociedade em geral, pois melhores edifícios serão construídos que consumirão menos materiais e requerão menos recursos humanos e de capital, operando de forma mais eficiente”*.

O BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que criam uma metodologia de trabalho capaz de gerir a conceção e os dados do projeto num formato digital, durante todo o ciclo de vida de um edifício, num modelo virtual que contém as características físicas e funcionais de um edifício [84, 85].

A essência do BIM reside na partilha de informação, pois, comparando-o com o sistema tradicional que é um método sequencial, representado na Figura 41 e, que apresenta grande desorganização e escassez de partilha de informação, o modelo BIM permite que todos os intervenientes trabalhem de uma forma individual, mas sempre ligados a um modelo central que contém todas as informações de todas as especialidades, permitindo rapidamente verificar incompatibilidades e erros, facilitando a tomada de decisão, reduzindo tempo e custos [81].

A compatibilidade e partilha de informação entre modelos, pode ser realizada diretamente através de extensões, o que acontece normalmente quando os programas pertencem à mesma empresa. Quando tal ligação não é possível, recorre-se ao Industry Foundation Class (IFC), desenvolvido pela BuildingSMART, que se caracteriza por ser uma espécie de formato universal normalizado, tornando possível a troca de informação entre os diferentes programas computacionais (a título de exemplo, a utilização do IFC pode servir para exportar o modelo de estruturas realizado em Tekla para o modelo de Arquitetura realizado em Revit).

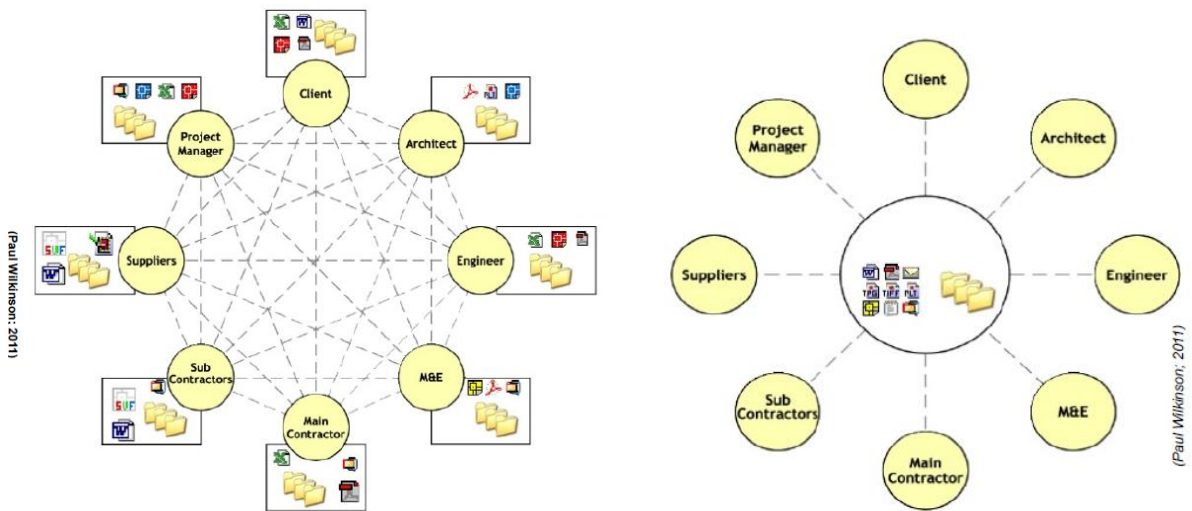


Figura 41 – Metodologia tradicional vs Metodologia BIM  
(Fonte: [85])

A metodologia aplicada a um projeto de construção resulta num modelo virtual, denominado *Building Information Model*, que contém todas as propriedades e características geométricas do projeto. Este modelo é realizado através de uma modelação paramétrica orientada por objetos, que, de uma maneira simples, se caracteriza pela modelação de objetos (vigas, pilares, condutas, entre outros) que contém informação das propriedades dos mesmos e que se relacionam parametricamente uns com os outros, ou seja, são definidos parâmetros que caracterizam a relação dos objetos. Este modelo, deve ser realizado com um determinado nível de desenvolvimento, vulgo *Level of Development (LOD)*, na Figura 42, conforme estabelecido antes de iniciar a modelação, para que o modelo esteja suficientemente pormenorizado (quantidade e tipo de informação), para realizar as operações pretendidas [85].

## LEVEL of DEVELOPMENT



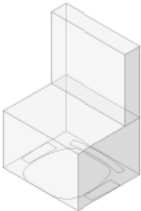


LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
<b>DESCRIPTION:</b> Office Chair Arms, Wheels <b>WIDTH:</b>  <b>DEPTH:</b>  <b>HEIGHT:</b>  <b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc. <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> 100	<b>DESCRIPTION:</b> Office Chair Arms, Wheels <b>WIDTH:</b> 700 <b>DEPTH:</b> 450 <b>HEIGHT:</b> 1100 <b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc. <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> 200	<b>DESCRIPTION:</b> Office Chair Arms, Wheels <b>WIDTH:</b> 700 <b>DEPTH:</b> 450 <b>HEIGHT:</b> 1100 <b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc. <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> 300	<b>DESCRIPTION:</b> Office Chair Arms, Wheels <b>WIDTH:</b> 685 <b>DEPTH:</b> 430 <b>HEIGHT:</b> 1085 <b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> 400	<b>DESCRIPTION:</b> Office Chair Arms, Wheels <b>WIDTH:</b> 685 <b>DEPTH:</b> 430 <b>HEIGHT:</b> 1085 <b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc <b>MODEL:</b> Mirra <b>PURCHASE DATE:</b> 01/02/2013
(Only data in red is useable)			practicalBIM.net © 2013	

Figura 42 – Tipos de LOD

(Fonte: <http://practicalbim.blogspot.pt/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>)

Este modelo virtual, como já foi referido, pode ser utilizado ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício e em diversas áreas, como visualização e documentação, gestão de obra, planeamento de custos, manutenção, operação do edifício, entre outros (Figura 43).

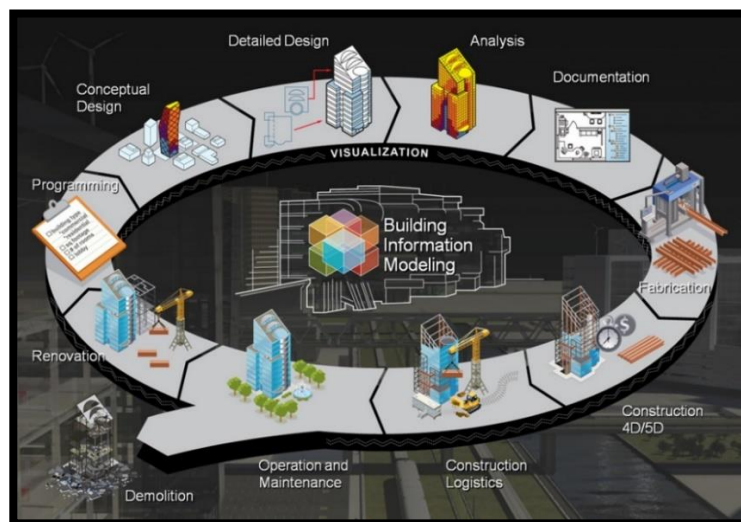


Figura 43 – Potencialidade da metodologia BIM ao longo do ciclo de vida de um edifício

(Fonte: <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim> 01/05/16)

Nesta dissertação, serão exploradas as potencialidades relacionadas com a reabilitação de edifícios e a integração com programas de desempenho térmico, pois, perante a necessidade



de aumentar a eficiência energética dos edifícios, é necessário verificar o desempenho da construção numa fase preliminar do projeto, de forma a verificar as melhores soluções a adotar [86, 87].

Face à necessidade da indústria da construção responder ao aumento da exigência e procura de edifícios mais sustentáveis, vários processos e tecnologias foram desenvolvidas com o objetivo de poupar energia e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera [87]. De entre elas, encontra-se a metodologia BIM que, através de um modelo virtual, permite verificar o uso de energia, executar análises térmicas, identificar padrões solares, entre outras medidas sustentáveis [87]. As potencialidades que o BIM apresenta, relativamente à sustentabilidade são apresentadas na Figura 44.



Figura 44 – Sustentabilidade e BIM  
(Fonte: Adaptado de [86])

A grande vantagem do BIM aplicado à sustentabilidade é, sem dúvida, a interoperabilidade entre programas de modelação com programas de análise térmica, o que permite realizar um vasto conjunto de estudos [86]. No capítulo seguinte, são enumerados e explorados alguns dos programas de análise térmica no contexto BIM, existentes nos dias de hoje.

A aplicação do BIM, com o objetivo de construir e gerir edifícios sustentáveis, representa uma poupança de 20% do valor da obra, ao longo do ciclo de vida do edifício [86]. Face às

potencialidades da metodologia BIM verificadas para a sustentabilidade, podemos facilmente verificar a relação deste conceito com os edifícios de balanço energético nulo, sendo o BIM um conjunto de processos que pode facilitar a criação, expansão e otimização dos mesmos, pois permite atingir as características pretendidas para um edifício de balanço energético nulo, analisando e comparando as diferentes soluções possíveis de uma forma rápida e suportada com recurso a análises energéticas.

Atualmente, apesar das inúmeras vantagens do uso do BIM, apenas 36% das empresas de construção da Europa Ocidental utilizam esta metodologia [86]. Este facto deve-se à dificuldade de implementar novos processos numa empresa, nomeadamente, no que diz respeito à resistência à mudança relativamente aos processos tradicionais, muito devido à falta de conhecimento por parte dos intervenientes do projeto [85].

Outro fator é o elevado custo associado à adoção de novas metodologias, pois é necessário investir em programas computacionais e em formação dos quadros da empresa, o que, indiretamente, resulta numa quebra de produtividade, numa fase inicial de adaptação de processos. Outros fatores podem estar relacionados com as limitações ainda existentes na interoperabilidade de programas e com a inexistência/escassez de normalização [85, 88].

Em Portugal, apesar de estar muito aquém de certos países, o BIM tem vindo a ganhar importância na indústria da AEC, já com algumas aplicações práticas em grandes construções (Figura 45).

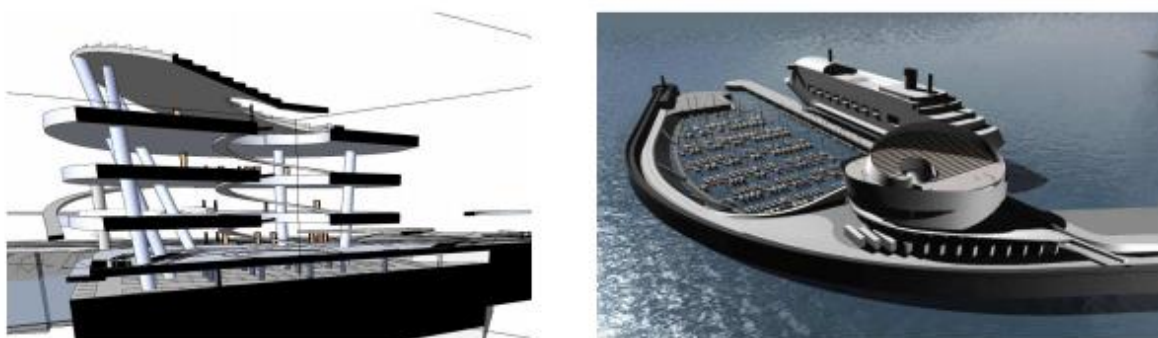


Figura 45 – Modelo BIM do terminal de passageiros do porto de Leixões  
(Fonte: [84])

Alguns dos principais desenvolvimentos, incentivos à introdução desta metodologia no mercado são, de momento, da responsabilidade do Grupo de Trabalho BIM, um grupo sob

alçada da Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção (PTPC), constituído por docentes do ensino superior das Universidades do Minho, Porto e Técnico de Lisboa. Outro responsável é o BIMForum Portugal, que procura liderar a promoção e acelerar a introdução da metodologia no país, de maneira a competir e a diferenciar-se de outros países [82].

A um nível de formação, a Ordem dos Engenheiros (OE) já disponibiliza um curso de BIM, e no ano letivo de 2014/2015, no Mestrado Integrado em Engenharia Civil, da Universidade do Minho, foi introduzida a Unidade Curricular de “BIM na Engenharia Civil: Projeto e Construção”.

Relativamente à normalização, Portugal, como muitos países, ainda se encontra a dar os primeiros passos e, atualmente, um grupo de trabalho em representação do Instituto Português da Qualidade, encontra-se na Comissão de Normalização Europeia para o desenvolvimento da norma BIM europeia [89].

## **5.2 Software**

Dentro do contexto BIM, existem inúmeros programas computacionais e extensões que permitem realizar análises dos mais variados tipos. A indústria da AEC tem vindo a desenvolver novos programas que tendem a otimizar e simplificar os resultados obtidos, substituindo alguns icónicos programas, como o Ecotec e o Vasari, ambos da Autodesk, por outros mais modernos, com melhores capacidades de interoperabilidade.

No que diz respeito à realização do modelo, como já foi referido, será utilizado o Revit 2015, da Autodesk, programa que fornece todas as funcionalidades requeridas para aplicação do BIM no modelo. Na modelação, os objetos (paredes, lajes, equipamentos, etc.) serão dotados de propriedades físicas, geométricas, térmicas (Figura 46) e relacionam-se inteligentemente uns com os outros. Dentro de todas as potencialidades, é de destacar a possibilidade de realizar estudos solares e simples análises de desempenho térmico, bem como a possibilidade de exportar o ficheiro através de vários formatos, como *.ifc* e *.gbXML*.

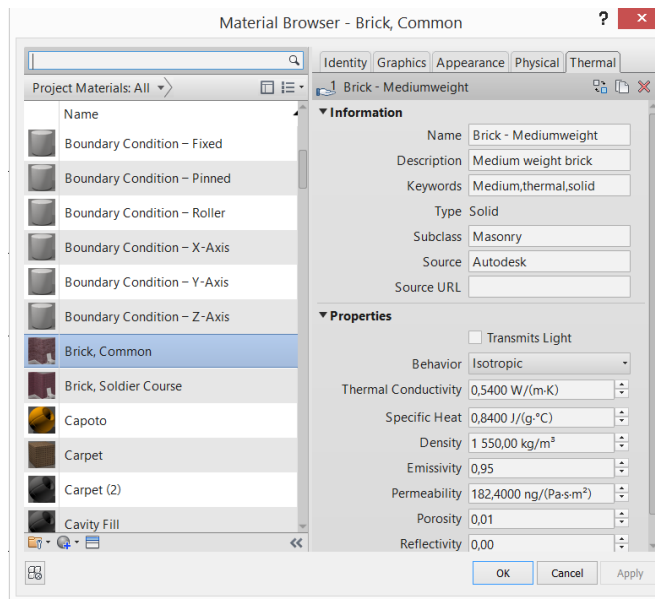


Figura 46 – Propriedades térmicas dos materiais  
(Fonte: Revit)

Relativamente a programas de análise de desempenho energético, no contexto BIM, listam-se seguidamente alguns, dando especial ênfase aos utilizados no estudo, nomeadamente o Green Building Studio e o DesignBuilder:

- Green Building Studio (GBS) - propriedade da Autodesk, é uma das mais recentes apostas da empresa, no que diz respeito a análises energéticas. Caracteriza-se por uma extensão do Revit, que permite que o modelo seja enviado para a nuvem da Autodesk e, posteriormente, analisado, num reduzido espaço de tempo. Permite realizar a análise energética de todo o edifício, otimiza o consumo de energia, analisa as emissões de carbono, realiza análises solares, estima a utilização de água e custos. É uma ferramenta que ajuda a tomar decisões, numa fase preliminar do projeto, ajudando a construir edifícios mais sustentáveis, pois permite analisar várias alternativas ao modelo realizado [90].
- DesignBuilder – caracteriza-se pela sua versatilidade, pois permite realizar uma modelação simples do edifício e, posteriormente, realizar análises com recurso a uma interface do EnergyPlus. Permite realizar análises do desempenho energético e conforto dos ocupantes. É ainda possível inserir o programa no contexto BIM, pois permite que sejam importados modelos mais detalhados com formato *.gbXML*, de outros programas, para que se realize uma análise através do EnergyPlus [91].
- Virtual Environment (VE) – propriedade da IES, é um dos mais utilizados programas na área, a nível mundial, permitindo a realização de várias análises que melhoram o *design* e otimiza os consumos e a sustentabilidade do projeto. Possibilita que sejam importados diversos formatos, como *.rvt*, *.ifc* e *.gbXML*, estando facilmente integrado

no contexto BIM, com a possibilidade de ser usado em todo o ciclo de vida do edifício [92].

- EnergyPlus (EP) – desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, é um dos mais completos simuladores energéticos existentes. Caracteriza-se pela introdução de inúmeros parâmetros, numa espécie de código, tornando as análises precisas e fiáveis. Em termos de interoperabilidade, é possível utilizar o EP através do DesignBuilder e do Google SketchUp. Atualmente, a Autodesk está a trabalhar em parceria para desenvolver e melhorar o EnergyPlus, de forma a poder integra-lo com os seus programas e simplificar a introdução de parâmetros e a interface do EP [93].
- EcoDesigner Star – propriedade da Graphisoft, é a última aposta da empresa na construção de edifícios mais sustentáveis, num contexto BIM. Caracteriza-se por ser uma extensão do ArchiCAD, que permite realizar simulações do desempenho energético e facilita a conceção de edifícios de balanço energético nulo. Permite exportar o modelo para outros programas, através de alguns formatos, como o *.gbXML*, e atualmente, só está disponível em 14 países, de entre os quais os Estados Unidos da América, Austrália, Reino Unido e Suécia [94].

### 5.3 Metodologia

De forma a analisar a habitação em estudo através de métodos BIM, é necessário que todo o processo de modelação e simulação esteja interligado. Ou seja, é necessário criar um modelo através de um programa de modelação e, posteriormente, usá-lo, direta ou indiretamente, para efetuar análises do desempenho energético em programas especializados.

Sendo assim, de maneira a integrar o caso de estudo num ambiente BIM, foi realizado um modelo base no Revit 2015, que contém as características da habitação, no ano em que esta foi construída. Este modelo base é, de seguida, exportado para o Green Building Studio e para o DesignBuilder, de forma a poder avaliar as necessidades energéticas da habitação e comparar os resultados dos diferentes programas.

Seguidamente, como mostra a Figura 47, o modelo base será editado, de maneira a conter as informações das propostas definidas e, posteriormente, simulado, considerando diferentes espessuras de isolamento, de modo a selecionar a melhor, numa relação resultados/preço.

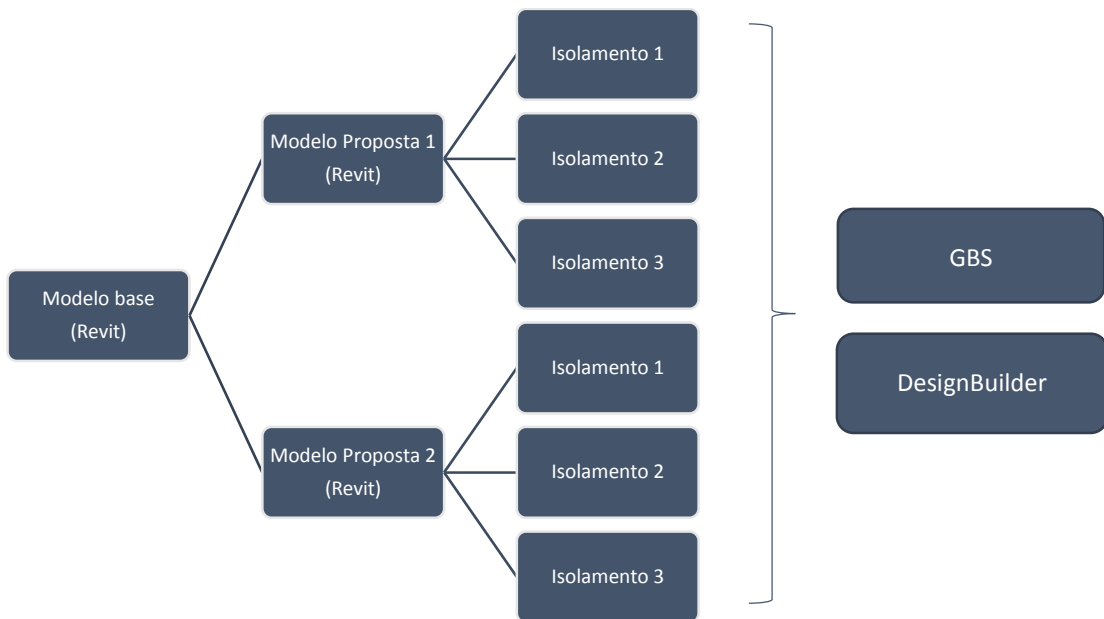


Figura 47 – Metodologia de simulação

As propostas a simular passam pela combinação de um conjunto de intervenções a efetuar na envolvente do edifício, como se pode verificar na Tabela 2. As soluções ativas não foram incluídas nas simulações, pois isso envolveria um maior conhecimento da mecânica dos sistemas a utilizar, bem como dos sistemas padrão existentes nos programas. Apesar disso, a análise inclui algumas referências às mesmas como o potencial para a produção de energia fotovoltaica e/ou a utilização de iluminação eficiente.

Tabela 2 – Caracterização das propostas de intervenção

	Paredes Exteriores		Laje Pavimento		Laje Esteira		Envidraçados
Proposta 1	Sistema ETICS com isolamento em XPS, primário e reboco para acabamento	4cm	Introdução de isolamento térmico XPS	4cm	Isolamento em XPS sobre a laje de esteira com manutenção da telha cerâmica.	4cm	Vidro duplo com película de baixa emissividade e caixilharia em PVC
		6cm					
		8cm					
Proposta 2	Fachada ventilada com isolamento em XPS e placa de gesso laminado	4cm	Introdução de isolamento térmico XPS	6cm	Isolamento em XPS sobre a laje de esteira com manutenção da telha cerâmica.	6cm	Vidro duplo com película de baixa emissividade e caixilharia em PVC
		6cm					
		8cm					

As espessuras na Tabela 2 dizem respeito às diferentes alternativas para o isolamento térmico estudadas e foram escolhidos tendo por base os Guias para a Eficiência Energética da ADENE [54, 56].

Na Figura 48 estão representados, de forma esquemática, os pormenores construtivos das soluções de reabilitação e as características térmicas dos materiais utilizados, tais como a condutibilidade térmica e a densidade, estão apresentadas na Tabela III.1, do Anexo III, que tiveram por base o ITE 50 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

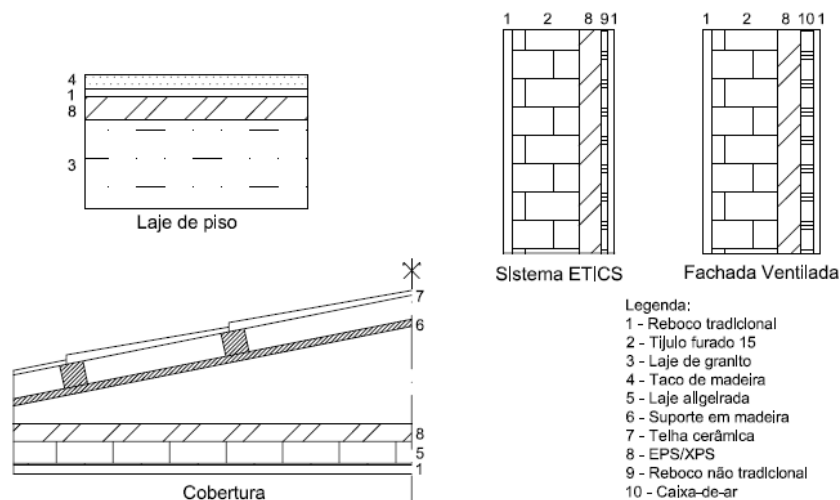


Figura 48 – Pormenores construtivos das propostas de intervenção  
 (Fonte: AutoCAD)

Cada proposta terá 3 modelos (que divergem na espessura de isolamento), que serão simulados nos dois programas escolhidos para o efeito, de maneira a verificar qual a mais adequada, bem como a espessura de isolamento térmico mais apropriada para os vários elementos da envolvente da habitação. Será também realizada uma análise económica de todas as propostas estudadas, pois o custo é um fator essencial, aquando da realização de uma intervenção.

Finalmente, após todos os dados serem recolhidos e devidamente analisados, será realizada uma comparação das propostas, bem como dos programas escolhidos para a realização das simulações energéticas.



## 5.4 Resultados

### 5.4.1 Modelo base

Como já foi referido anteriormente, o modelo utilizado nas análises energéticas efetuadas foi realizado com recurso ao programa Revit 2015 e é constituído, apenas, pelo projeto de arquitetura (Figura 49).

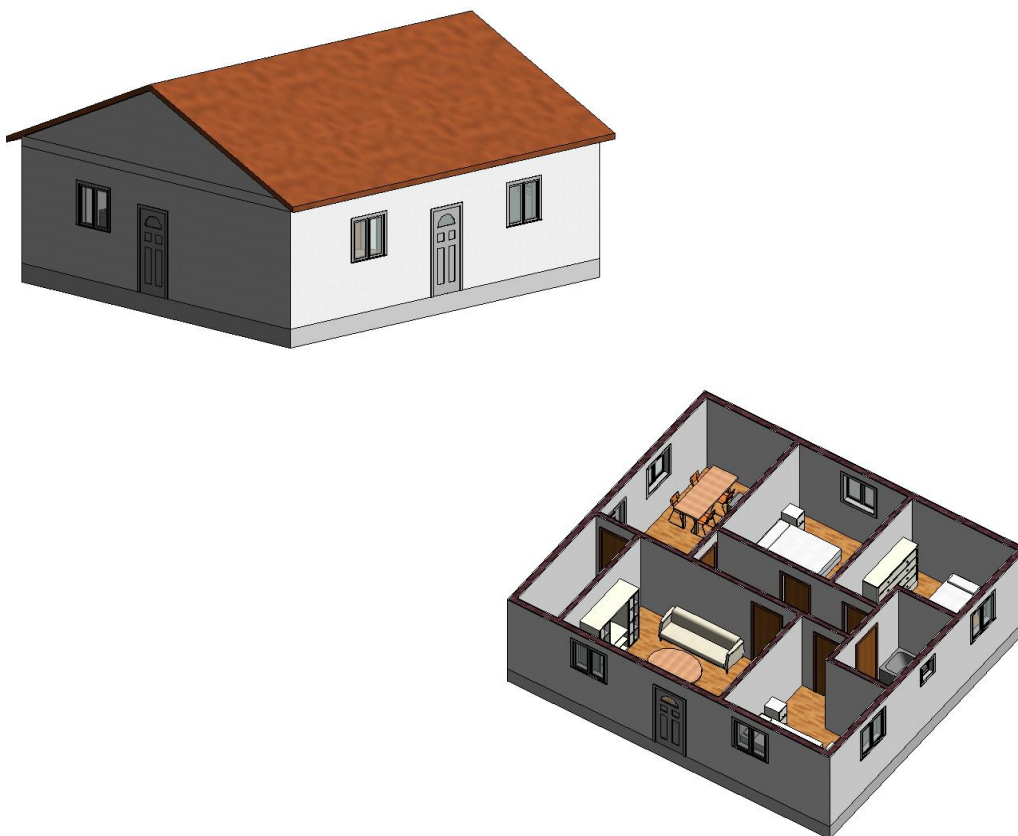


Figura 49 – Modelo de simulação

O modelo arquitetónico do edifício foi desenvolvido recorrendo às ferramentas disponibilizadas pelo Revit, de maneira a parametrizar as ligações entre os objetos e a criar famílias com determinadas características.

A principal intervenção da modelação foi a caracterização dos objetos que constituem a envolvente do modelo, que foram dotados de propriedades físicas e térmicas, de acordo com os coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios apresentados no ITE 50 do LNEC (2006). Na Tabela 3, estão apresentados os valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) da envolvente e estes são comparados com os requisitos mínimos e de referência definidos no REH (apresentados nas tabelas IV.1, IV.2 e IV.3 do Anexo IV) para a zona climática em questão (I2), onde se pode concluir que a habitação em estudo se encontra muito aquém das exigências mínimas nacionais atuais.

Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica (U)

	U (W/m <sup>2</sup> °C) existente ITE 50	U (W/m <sup>2</sup> °C) máximo admissível – Anexo IV	U (W/m <sup>2</sup> °C) de referência – Anexo IV	U (W/m <sup>2</sup> °C) existente Revit
Paredes Exteriores	1.90	1.20	0.40	2.74
Laje de Pavimento	2.40	1.00	0.50	3.24
Laje de Esteira	1.50	1.00	0.35	2.27
Envidraçados	3.70	2.40	2.40	3.33

Por outro lado, verificou-se que os valores de U para as mesmas soluções, apresentados no GBS, fornecidos pelo Revit, são sobrestimados em cerca de 30%. A título de exemplo, foi calculado o valor do U para as paredes exteriores e o resultado obtido foi de 1.9 W/m<sup>2</sup>°C, um pouco distante dos 2.74 W/m<sup>2</sup>°C definidos pelo Revit. Esta diferença no U pode justificar-se através de dois principais motivos, o facto de o Revit utilizar um método de cálculo ligeiramente diferente (diferenças nos fluxos de ar) e/ou, pelas características de determinados materiais, pois apesar de ser possível definir a condutibilidade térmica e densidade dos materiais, a resistência térmica dos mesmos não pode ser alterada (seria possível combinar as características anteriores, de maneira a obter a resistência desejada mas, para efeitos de comparação, essas alterações não são elementares). Deste modo, o tijolo

cerâmico, cujas características são apresentadas no Revit, podem não corresponder às de um tijolo cerâmico com as características definidas no ITE 50.

Para efeitos de estudo e comparação serão considerados os valores fornecidos pelo Revit, pois, na realidade, como os valores são ligeiramente inferiores, as simulações serão realizadas para situações mais gravosas.

Relativamente aos envidraçados, as suas propriedades são definidas através de um modelo analítico, conforme o tipo de vidro utilizado. Este modelo analítico é definido aquando a definição das outras características e, está limitado às tipologias existentes no programa, que, apesar de serem bastantes e diversificadas, ainda não cobrem todas as tipologias de vidro existentes.

Aquando da escolha, foi tido em atenção o valor de U dos envidraçados em Portugal (à cerca de  $6 \text{ W/m}^2\text{°C}$  para o vidro simples), para que o valor adotado fosse o mais semelhante possível à realidade. A mesma situação se verifica relativamente às portas.

Outra importante informação inserida no modelo, foi a localização do projeto e do Norte real, para que o Revit, através da sua base de dados, selecione a estação meteorológica mais perto do local, de maneira a tornar as análises energéticas mais precisas e fiáveis.

Por fim, de forma a realizar análises energéticas, é necessário a criação de “Rooms” e/ou “Spaces”, onde são definidas as utilizações dos diversos espaços, o número de ocupantes, a iluminação e as taxas de renovação de ar. Foi também necessário o ajuste das definições energéticas do projeto, como se pode constatar na Figura 50.

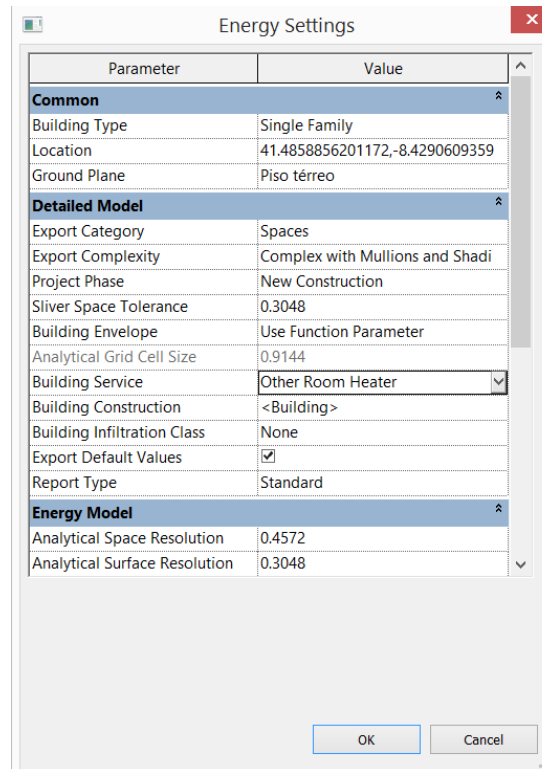


Figura 50 – Definições energéticas do modelo I  
(Fonte: Revit)

#### 5.4.2 Green Building Studio (GBS)

Como já foi referido, este programa caracteriza-se pelo seu funcionamento na nuvem da Autodesk, existindo duas maneiras distintas de o utilizar.

A primeira maneira, mais fácil e rápida, é através da utilização da extensão existente no Revit. Este método, além da rapidez de utilização, tem a vantagem de considerar todas as informações do modelo, pois não existe perda de informação. Apresenta, no entanto, uma desvantagem importante, pois na sua utilização é necessário usar e definir um dos 12 sistemas AVAC pré-definidos pelo programa, não permitindo a simulação do modelo sem um sistema deste tipo. Existe uma extensão (*Insight 360*) para as duas versões mais recentes do Revit, que permite adicionar mais alguns sistemas, mas ainda se encontra pouco desenvolvida e com pouca variedade, não sendo por isso utilizada.

A segunda maneira de utilizar o GBS, é através da exportação do modelo para um ficheiro do tipo *.gbXML* e, posteriormente, carregar o mesmo ficheiro na plataforma web do GBS. Através

deste método, é possível definir as características do projeto diretamente no programa, como tipo de sistema AVAC, sistema de AQS, tipologia de paredes, entre outros (Figura 51). Além disso, neste tipo de utilização, o GBS simula várias alternativas de *design*, como a rotação da orientação da habitação e envidraçados, a utilização de vários tipos de sistemas de iluminação e sistemas de aquecimento, etc.. Neste caso, as desvantagens estão associadas à perda de informação aquando da exportação do ficheiro, o que se traduz em análises um pouco menos precisas.

Para os estudos realizados foram utilizados ambos os métodos, com o intuito de realizar e analisar as diferenças obtidas.

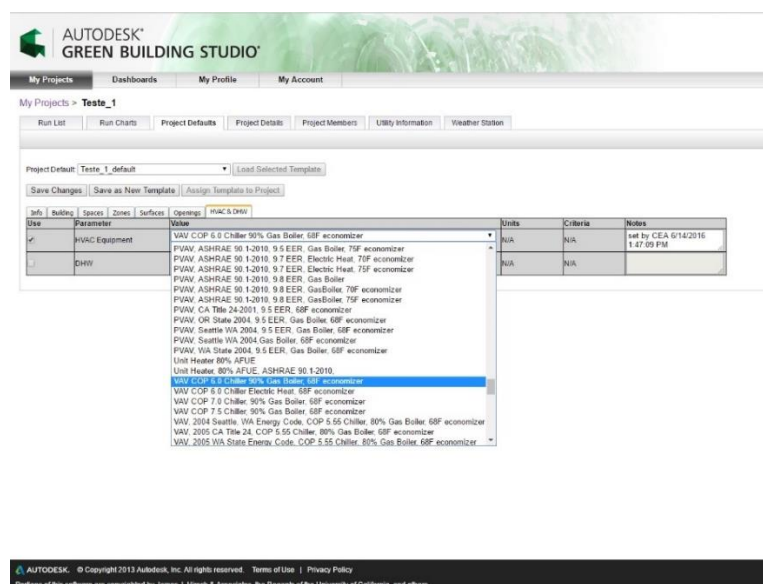


Figura 51 – Sistemas AVAC – Green Building Studio  
(Fonte: Green Building Studio)

Face a esta situação, todos os modelos foram simulados considerando o mesmo sistema de aquecimento, de maneira a que fosse possível realizar uma análise coerente.

Prevê-se que os resultados apresentem valores acima da realidade, pois além de não existir qualquer sistema AVAC na habitação, o consumo e a eficiência do mesmo não pode ser definido. Assim, para efeitos de estudo, foi considerada e mantida constante para todas as análises, uma bomba de calor, conforme se pode constatar na Figura 52.

Como referido, os dois métodos impossibilitam análises de desempenho energético sem a consideração de um sistema de aquecimento ambiente, mas, no segundo método, é possível a sua realização apesar de todo o edifício ter definido no GBS, não considerando as informações modeladas no Revit e não se inserindo num contexto BIM.

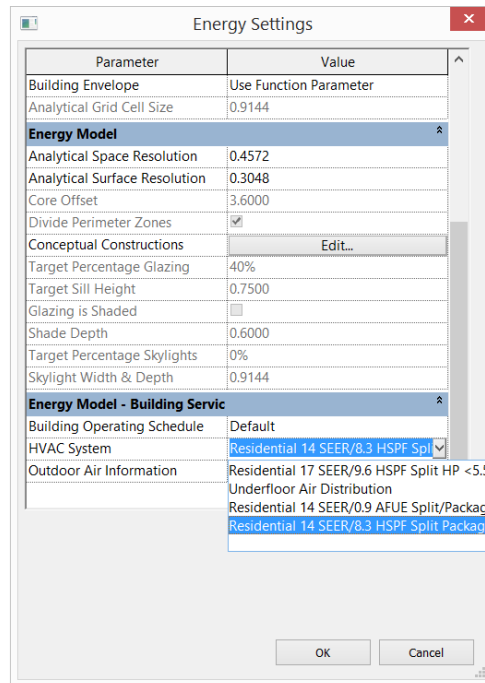


Figura 52 - Definições energéticas do modelo II  
(Fonte: Revit)

Para a simulação, no GBS, foram adotados os valores da Figura 53 para o preço da energia elétrica e gás natural, conforme as maiores tarifas em vigor à data de realização do estudo na cidade de Braga. Além disso, as fontes existentes na área, segundo o mesmo programa, podem dividir-se em energia fóssil, hidroelétrica e renovável.

De realçar outra limitação do GBS, o facto das temperaturas de conforto para as simulações serem fixas, aproximadamente 23 °C para a estação de arrefecimento e 18 °C para a de aquecimento, que só podem ser alteradas através de codificação.

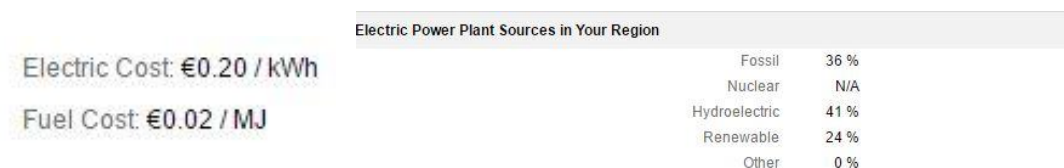


Figura 53 – Custo da energia e fontes nas proximidades  
(Fonte: Green Building Studio)

### 5.4.2.1 Modelo base

Para a simulação do modelo base, considerando as informações apresentadas na Figura 54, através da plataforma na web do GBS, foram obtidos os resultados apresentados seguidamente. Os ganhos de calor provenientes dos equipamentos domésticos e iluminação foram mantidos constantes ao longo de todas as simulações.



Figura 54 – Parâmetros de simulação  
(Fonte: Green Building Studio)

As necessidades energéticas para a climatização, iluminação e equipamentos domésticos, estão expostos na Tabela 4. Para efeitos de comparação, apenas se irá considerar as necessidades de climatização ambiente, sendo que as que restantes serão mantidas constantes.

Tabela 4 – Necessidades energéticas – Green Building Studio

Necessidades de Aquecimento		Necessidades de arrefecimento		Iluminação		Equipamentos domésticos	
kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
4062	52.75	393	5.11	1191	15.47	1703	22.12

Temperaturas de conforto – Verão: 23 °C; Inverno: 18 °C.

O custo anual de energia para o modelo base, está apresentado na Figura 55 e situa-se nos 2 754 €, sendo que 2 383€ são destinados aos 11 912 kWh (155 kWh/m<sup>2</sup>) de energia elétrica utilizada e 370€ para 19 581 MJ de gás natural (AQS). Já as emissões anuais de CO<sub>2</sub> rondam as 1.9 t/ano.

Energy, Carbon and Cost Summary	
Annual Energy Cost	€2,754
Lifecycle Cost	€37,504
Annual CO <sub>2</sub> Emissions	
Electric	0.9 Mg
Onsite Fuel	1.0 Mg
Large SUV Equivalent	0.2 SUVs / Year
Annual Energy	
Energy Use Intensity (EUI)	811 MJ / m <sup>2</sup> / year
Electric	11,912 kWh
Fuel	19,581 MJ
Annual Peak Demand	4.8 kW
Lifecycle Energy	
Electric	357,356 kWh
Fuel	587,436 MJ

Figura 55 – Resultados sumários  
(Fonte: Green Building Studio)

Na Figura 56, está apresentado o destino da energia elétrica consumida, onde se verifica que a maioria se reserva aos equipamentos mecânicos, nomeadamente para os ventiladores (27.5%) e bomba de calor (10.8%). A restante está distribuída pelo aquecimento ambiente (34.1%), equipamentos domésticos (14.3%), iluminação (10%) e arrefecimento ambiente (3.3%).



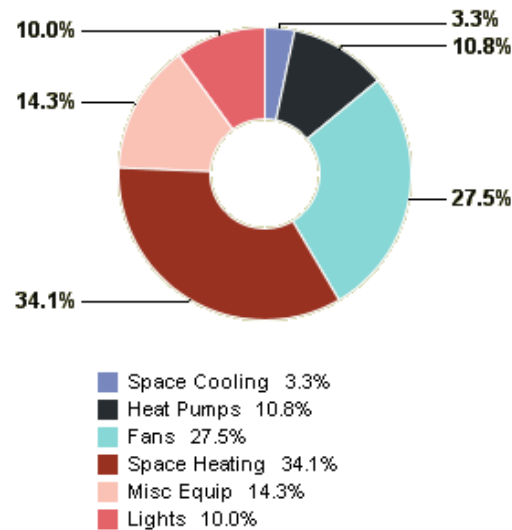


Figura 56 – Fontes de consumo de energia  
(Fonte: Green Building Studio)

Relativamente às emissões de carbono, como referido anteriormente, ronda os 1.9 t/ano mas existe potencial para reduzir este valor, não só pela redução do consumo de energia, como pela potencial geração de energia renovável, neste caso, com recurso a painéis fotovoltaicos na cobertura, o que poderia reduzir em mais de 50% as emissões de carbono, como se pode verificar na Figura 57.

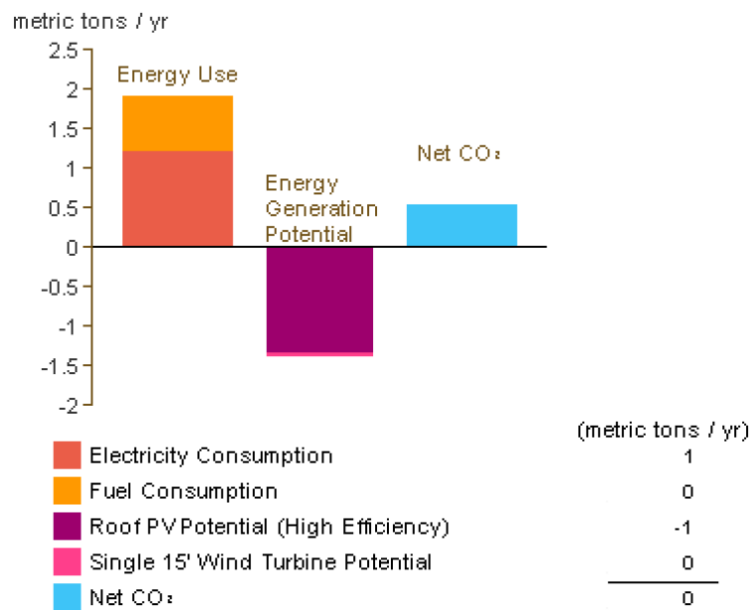


Figura 57 – Balanço das emissões de carbono  
(Fonte: Green Building Studio)

No que diz respeito às necessidades de aquecimento, verificam-se que as maiores necessidades de aquecimento se registam de Dezembro a Março, ultrapassando os 28.6 kWh/m<sup>2</sup>/mês. O principal motivo para esta necessidade, deve-se às elevadas perdas através da envolvente, devido à inexistência de isolamento nas paredes, cobertura e pavimento (Figura 58).

De realçar os ganhos de calor gerados pelos envidraçados, luzes artificiais, equipamentos e ocupantes, que nesses mesmo meses, geram quase de 7.1 kWh/m<sup>2</sup>/mês de calor.

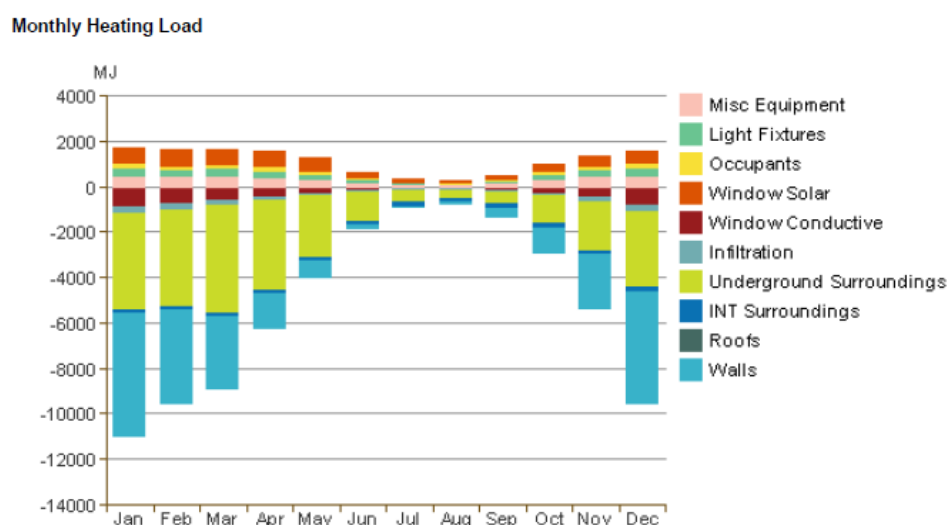


Figura 58 – Ganhos e perdas de calor - Inverno  
(Fonte: Green Building Studio)

Relativamente às necessidades de arrefecimento, os valores mais elevados, ocorrem nos meses de Julho e Agosto e os principais elementos responsáveis são as paredes exteriores, com ganhos de calor superiores a 7.1 kWh/mês (Figura 59). Os envidraçados são o segundo elemento que mais captam calor na habitação, seguidos da ocupação. Nesta situação, a falta de isolamento da laje de pavimento, contribui para arrefecer o ambiente interior da habitação, dada à temperatura inferior do solo.

É importante lembrar que o GBS considera temperaturas de conforto fixas, aproximadamente 23 °C para o verão e 18 °C para o inverno.

Monthly Cooling Load

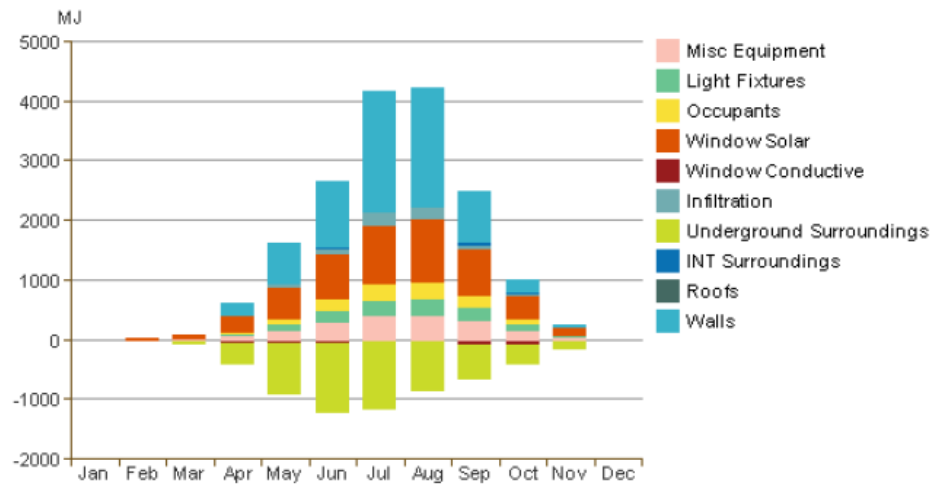


Figura 59 – Ganhos e perdas de calor – Verão  
(Fonte: Green Building Studio)

Como seria de esperar, os meses com maior consumo de energia estão associadas ao inverno, quando é necessário efetuar o aquecimento da habitação. Como se pode constatar na Figura 60, dada a ausência de isolamento na envolvente da habitação, esta apresenta grandes disparidades no consumo de energia entre a estação de aquecimento e arrefecimento, chegando a atingir diferenças na ordem dos 1 750 kWh no mês de maior consumo. Por conseguinte, as necessidades energéticas mensais de pico assumem a mesma tipologia das necessidades energéticas, de acordo com a Figura 61.

Monthly Electricity Consumption

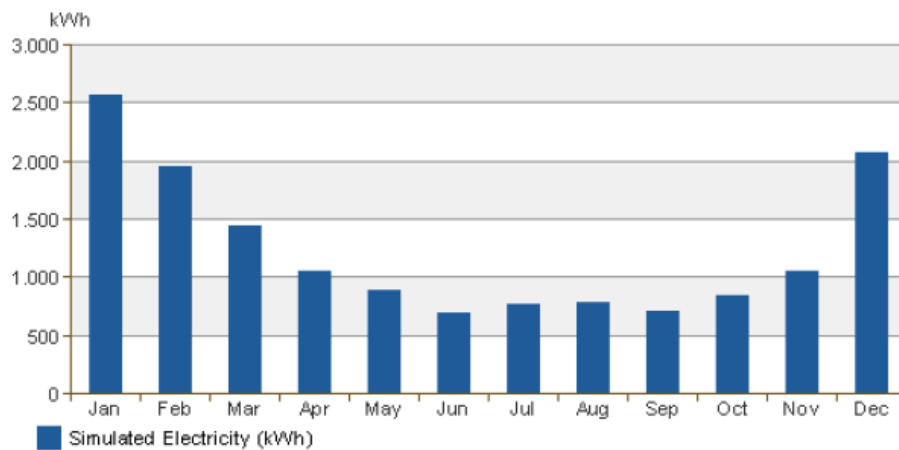


Figura 60 – Consumo elétrico mensal  
(Fonte: Green Building Studio)

### Monthly Peak Demand

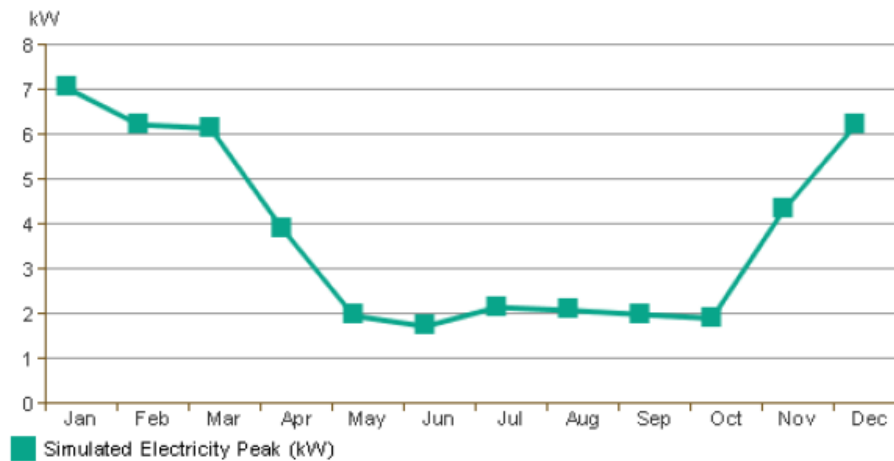


Figura 61 – Consumo de pico mensal  
(Fonte: Green Building Studio)

No que diz respeito ao potencial para o uso da ventilação natural, é de realçar que as aberturas na envolvente da habitação, apesar de serem em fachadas opostas, são de pequena dimensão, o que limita a utilização da ventilação natural.

Por fim, através do simulador de consumo de água do GBS, estima-se que a quantidade de água necessária para 4 pessoas, sem a utilização de qualquer sistema de reaproveitamento de águas ou de redutores de caudal, está na ordem dos 300 000 l/ano que se traduz em 430 €/ano a uma taxa de 0.69 €/m<sup>3</sup> para abastecimento de água e 0.92€/m<sup>3</sup> para drenagem de águas residuais. Os resultados são apresentados na Figura 62.

### Water Usage and Costs

Total:	296,814 L / yr	€430 / yr
Indoor:	244,393 L / yr	€393 / yr
Outdoor:	52,420 L / yr	€36 / yr
Net Utility:	296,814 L / yr	€430 / yr

Source: AWWA Research Foundation 2000 Residential / Commercial and Institutional End Uses of Water.

Figura 62 – Custo e consumo de água  
(Fonte: Green Building Studio)

#### 5.4.2.2 Proposta de intervenção 1 – Sistema ETICS

Com os resultados do modelo base identificados e analisados, segue-se a simulação do desempenho energético das propostas de intervenção.

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente do edifício para a proposta em estudo. De realçar, novamente, que o Revit sobrestima alguns valores do U, o que deve ser considerado aquando da verificação dos requisitos regulamentares.

Tabela 5 – Coeficientes de transmissão térmica (U) – Proposta 1

U (W/m <sup>2</sup> °C)	Paredes Exteriores (VR = 0.4)	Laje de Esteira (VR: 0.35)	Laje de pavimento (VR: 0.5)	Envidraçados (VR: 2.4)
PE:4cm EH:4cm	0.539	0.520	0.559	2.215
PE:6cm EH:4cm	0.385			
PE:8cm EH:4cm	0.300			
PE:4cm EH:6cm	0.539	0.376	0.395	
PE:6cm EH:6cm	0.385			
PE:8cm EH:6cm	0.300			

VR – Valor de referência

PE – Paredes Exteriores

EH – Elementos Horizontais (Laje de esteira e laje de pavimento)

Os resultados do U mostram que todas as espessuras de isolamento para o sistema ETICS, respeitam os valores máximos admitidos no regulamento em vigor, situando-se perto dos valores de referência. Verifica-se que, um aumento de 2 cm no isolamento térmico, resulta numa diminuição superior a 20% para o U das paredes exteriores e, o mesmo aumento nos elementos horizontais, traduz-se num decréscimo acima dos 25% para o valor do U.

Comparando com os valores do modelo base, com a introdução da espessura de isolamento mínima sugerido verifica-se uma diminuição de 80% no valor do U para as paredes exteriores. Já nos elementos horizontais essa diferença chega a superar os 80% para a laje de pavimento

e os 75% para a laje de esteira. Estas diferenças aumentam conforme se aumenta a espessura do isolamento a utilizar.

Na Tabela 6, estão apresentados os principais resultados obtidos para as diferentes espessuras de isolamento, no que diz respeito a poupanças na fatura energética e redução de emissões de carbono. De realçar que, os valores apresentados consideram todos as necessidades energéticas da habitação.

Tabela 6 – Preço e consumo de energia total – Proposta 1

	Preço total energia anual (€)	Variação face modelo base (%)	Consumo de energia elétrica anualmente		Variação face modelo base (%)	Emissões carbono anuais (t)	Variação face modelo base (%)
			kWh	kWh/m <sup>2</sup>			
PE:4cm EH:4cm	1 985	-27.9	8 083	105.0	-32.1	1.6	-15.8
PE:6cm EH:4cm	1 939	-29.6	7 868	102.2	-33.9	1.5	-21.1
PE:8cm EH:4cm	1 908	-30.7	7 725	100.3	-35.1	1.5	-21.1
PE:4cm EH:6cm	1 954	-29.0	7 928	103.0	-33.4	1.5	-21.1
PE:6cm EH:6cm	1 910	-30.6	7 734	100.4	-35.1	1.5	-21.1
PE:8cm EH:6cm	1 880	-31.7	7 581	98.5	-36.4	1.5	-21.1

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir, que quanto maior a espessura do isolamento, menor serão as necessidades energéticas da habitação e emissões de gases nocivos, apesar de essa redução ser menos notória para espessuras de isolamento mais elevadas. Contudo, deve ter-se em atenção custo mais elevado destas soluções, bem como a diminuição da altura útil da habitação, no caso do isolamento no pavimento o que poderá implicar custos adicionais com a substituição de portas e, eventualmente, tomadas.

A Tabela 7 permite comparar as necessidades de aquecimento e arrefecimento entre as diferentes soluções e, pode-se verificar, que conforme se aumenta a espessura do isolamento, as necessidades de aquecimento baixam mais de 10%, entre a propostas menos favorável e a mais favorável. De realçar que um aumento de 2 cm na espessura de isolamento nos elementos horizontais, traduz-se em reduções, em média, 4.5% superiores.

Tabela 7 – Necessidades de climatização – Proposta 1

	Necessidades de aquecimento anuais		Variação face modelo base (%)	Necessidades de arrefecimento anuais		Variação face modelo base (%)
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	
PE:4cm EH:4cm	1 326	17.22	-67.4	598	7.77	+52.2
PE:6cm EH:4cm	1 157	15.02	-71.5	590	7.66	+50.1
PE:8cm EH:4cm	1 058	13.74	-74.0	587	7.62	+49.4
PE:4cm EH:6cm	1 142	14.83	-71.9	626	8.13	+59.3
PE:6cm EH:6cm	975	12.66	-76.0	623	8.10	+58.6
PE:8cm EH:6cm	879	11.42	-78.4	622	8.07	+58.1

Já as necessidades de arrefecimento aumentam em relação ao modelo base. Este aumento já era expectável, pois além de ter sido introduzido isolamento no pavimento (a sua inexistência, no verão, contribuía para a manutenção de uma menor temperatura na à habitação), quanto mais isolamento a habitação possuir, maior é a sua capacidade de manter os ganhos de calor, sendo assim necessária mais energia para a arrefecer.

Ainda assim, verifica-se que uma menor espessura de isolamento nos elementos horizontais traduz-se num decréscimo de cerca de 8% nas necessidades de arrefecimento. Constata-se também, que conforme se aumenta a espessura de isolamento nas paredes exteriores, mantendo a espessura dos elementos horizontais, as mesmas necessidades diminuem, embora em menor escala.

Pode então concluir-se que, a diferença de espessura de isolamento nos elementos horizontais é, teoricamente, mais relevante do que nas paredes exteriores no que diz respeito às necessidades de arrefecimento, principalmente aquando a intervenção na laje de pavimento.

Por fim é de realçar que, no geral, todas as hipóteses desta proposta reduzem mais de 70% as necessidades de aquecimento da habitação. Embora as necessidades de arrefecimento aumentem em, pelo menos 50%, estas não tem um peso tão marcante no consumo final de energia.

#### 5.4.2.3 Proposta de intervenção 2 – Fachada ventilada

Os valores obtidos para o U, na solução com fachada ventilada, estão expostos na Tabela 8 e verifica-se que para uma mesma espessura de isolamento, o valor do U é inferior que o do sistema ETICS.

Tabela 8 – Coeficientes de transmissão térmica (U) – Proposta 2

U (W/m <sup>2</sup> °C)	Paredes Exteriores (VR= 0.4)	Laje de Esteira (VR= 0.35)	Laje de pavimento (VR= 0.5)	Envidraçados (VR= 2.4)
PE:4cm EH:4cm	0.377	0.520	0.559	2.215
PE:6cm EH:4cm	0.295			
PE:8cm EH:4cm	0.242			
PE:4cm EH:6cm	0.377	0.376	0.395	
PE:6cm EH:6cm	0.295			
PE:8cm EH:6cm	0.242			

Neste tipo de intervenção, as reduções no valor do U, face ao modelo base, são superiores à solução anterior, com decréscimos acima dos 85% para as paredes exteriores. Já os elementos horizontais mantêm os mesmos valores da proposta anterior, pois não foi efetuada qualquer alteração.

Relativamente às poupanças com energia, representadas na Tabela 9, os resultados são semelhantes à proposta anterior, embora um pouco mais favoráveis (em média 0.8%). Já as emissões de carbono, não apresentam diferenças significativas entre ambas as propostas.



A solução mais equilibrada, num contexto global, seria a colocação de 6 cm de isolamento em toda a envolvente, pois apresenta uma redução na ordem dos 31.2%, o segundo melhor resultado para este tipo de sistema, chegando a atingir poupanças superiores ao isolamento de 8 cm nas paredes exteriores e com 4 cm nos elementos horizontais.

Tabela 9 - Preço e consumo de energia total – Proposta 2

	Preço total energia anual (€)	Variação face modelo base (%)	Consumo de energia elétrica anualmente		Variação face modelo base (%)	Emissões carbono anuais (t)	Variação face modelo base (%)
			kWh	kWh/m <sup>2</sup>			
PE:4cm EH:4cm	1 953	-29.1	7 921	102.9	-33.5	1.5	-21.1
PE:6cm EH:4cm	1 924	-30.1	7 784	101.1	-34.7	1.5	-21.1
PE:8cm EH:4cm	1 900	-31.0	7 675	99.7	-35.6	1.5	-21.1
PE:4cm EH:6cm	1 923	-30.2	7 774	101.0	-34.7	1.5	-21.1
PE:6cm EH:6cm	1 895	-31.2	7 640	99.2	-35.9	1.5	-21.1
PE:8cm EH:6cm	1 871	-32.1	7 533	97.8	-36.8	1.5	-21.1

As necessidades de aquecimento e arrefecimento, no caso da aplicação de uma fachada ventilada, estão enunciadas na Tabela 10, onde se verifica um comportamento semelhante ao sistema ETICS, mas com consumos menores. As necessidades de arrefecimento seguem o mesmo padrão da proposta anterior, com um aumento mínimo de 50% em relação ao modelo base, enquanto as necessidades de aquecimento conseguem atingir reduções até 80%.

Tabela 10 – Necessidades de climatização – Proposta 2

	Necessidades de aquecimento anuais		Variação face modelo base (%)	Necessidades de arrefecimento anuais		Variação face modelo base (%)
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	
PE:4cm EH:4cm	1 149	14.92	-71.7	594	7.72	+51.1
PE:6cm EH:4cm	1 051	13.65	-74.1	592	7.68	+50.5
PE:8cm EH:4cm	990	12.86	-75.6	591	7.68	+50.3
PE:4cm EH:6cm	1 120	12.52	-72.4	630	8.18	+60.2
PE:6cm EH:6cm	879	11.41	-78.4	627	8.14	+59.4
PE:8cm EH:6cm	814	10.57	-80.0	620	8.05	+57.7

Neste caso, as diferenças na espessura do isolamento dos elementos horizontais, é responsável por diferenças, no máximo, na ordem dos 4.4% para as necessidades de aquecimento e 9.1% nas necessidades de arrefecimento.

No que diz respeito às paredes exteriores, verifica-se, no geral, diferenças na ordem dos 2.5% nas necessidades de aquecimento, para diferenças de 2 cm na espessura do isolamento. No caso de diferenças de 4 cm na espessura de isolamento, as reduções, em média rondam os 5.8%.

#### 5.4.2.3 Proposta 1 vs Proposta 2

A Tabela 11 reúne as informações relativas às necessidades energéticas anuais para climatização e as poupanças anuais de cada hipótese de intervenção. Para esta comparação, não foram consideradas a introdução de iluminação nem de equipamentos eficientes, sendo apenas estudando o reforço do isolamento térmico da envolvente.

Tabela 11 – Diferenças das necessidades de climatização e poupanças anuais

	Proposta 1			Proposta 2		
	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Poupança (€)	Variação face modelo base (%)	Necessidades de arrefecimento e aquecimento anuais (kWh) –	Poupança (€)	Variação face modelo base (%)
PE:4cm EH:4cm	1 924	506.3	-56.8	1 743	542.5	-60.9
PE:6cm EH:4cm	1 747	541.7	-60.8	1 642	562.5	-63.1
PE:8cm EH:4cm	1 645	561.9	-63.1	1 581	574.8	-64.5
PE:4cm EH:6cm	1 768	537.4	-60.3	1 594	572.3	-64.2
PE:6cm EH:6cm	1 598	571.4	-64.1	1 505	590.0	-66.2
PE:8cm EH:6cm	1 501	590.8	-66.3	1 434	604.3	-67.8

Preço eletricidade – 0,20 €/kWh

Como seria de esperar, as menores necessidades e maiores poupanças, dizem respeito às soluções com maior isolamento, superando, no melhor caso, os 600€ anuais de poupança, ou seja, menos 67.8% do que no modelo base.

Para ambos os sistemas, verifica-se que as últimas duas hipóteses (6 cm de isolamento para os elementos horizontais), conduzem sempre a poupanças superiores, do que qualquer hipótese que contenha 4 cm de isolamento nos mesmos elementos.

Apurou-se ainda, que caso se opte pelo sistema da fachada ventilada, para atingir poupanças semelhantes ao sistema ETICS, são necessários, no geral, menos 2 cm de isolamento nas paredes exteriores.

Os valores do U, como já foi referido anteriormente, respeitam o regulamento em ambas as propostas e são menores para a fachada ventilada, apesar de isso não ser muito notório no

valor final da fatura energética. Ainda assim, para alguns casos, o valor do U situa-se acima dos valores de referência, mas sempre abaixo dos máximos admissíveis.

Para efeitos de comparação entre ambas as propostas, apresentam-se seguidamente a comparação das necessidades de energia, para uma espessura de isolamento de 6 cm em toda a envolvente, para ambos os sistemas.

No que diz respeito às necessidades de aquecimento, nas Figuras 63 e 64, verifica-se que o sistema ETICS, exibe uma maior necessidade de energia, quase 5.4 kWh/m<sup>2</sup> no mês de maior necessidade (Janeiro). Enquanto a fachada ventilada, para o mesmo mês, apresenta um valor na ordem dos 4.3 kWh/m<sup>2</sup>.

Ainda nesse mês, é de realçar, que a maioria da diferença, é resultado das perdas de calor associadas às paredes exteriores, que no sistema ETICS, são responsáveis por perdas de na ordem dos 4.7 kWh/m<sup>2</sup>, cerca de 30% a mais do que na solução com fachada ventilada.

Quando comparando com as necessidades do modelo base, verifica-se uma redução de, pelo menos, 25 kWh/m<sup>2</sup> nas necessidades de aquecimento para os meses mais desfavoráveis.

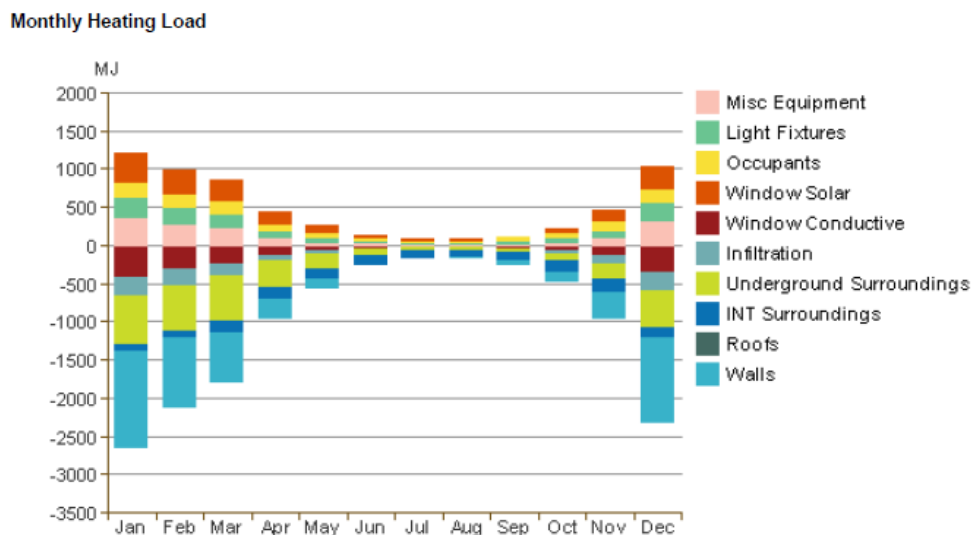


Figura 63 – Ganhos e perdas de calor no inverno – Sistema ETICS  
(Fonte: Green Building Studio)

Monthly Heating Load

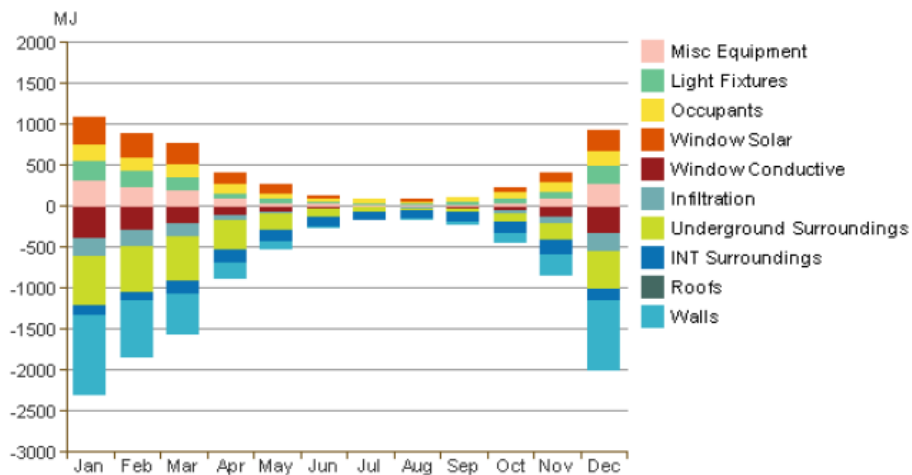


Figura 64 - Ganhos e perdas de calor no inverno – Fachada ventilada  
(Fonte: Green Building Studio)

Já relativamente às necessidades de arrefecimento, nas Figuras 65 e 66, a fachada ventilada, apresenta valores ligeiramente inferiores, dada à existência da caixa-de-ar, que permite uma ventilação constante das paredes exteriores, resultando em menores necessidades de arrefecimento. De realçar, mais uma vez, as paredes exteriores, que permitem maiores perdas de calor que no sistema ETICS, sendo necessária uma menor energia para arrefecimento.

Monthly Cooling Load

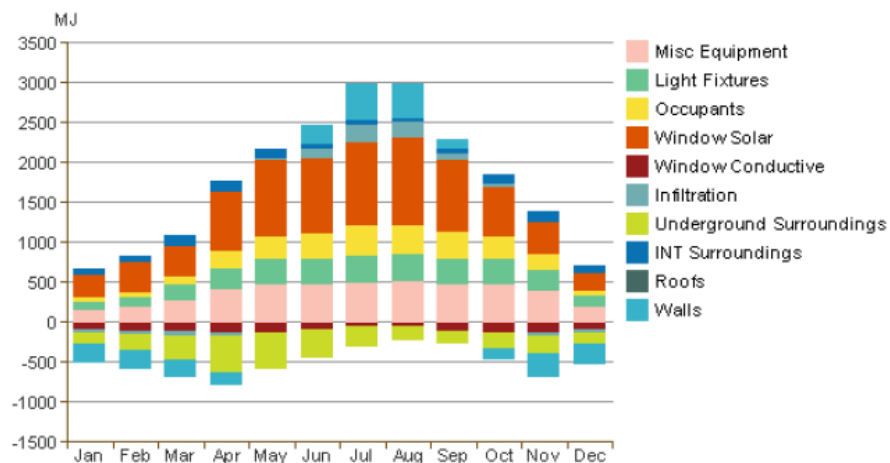


Figura 65 - Ganhos e perdas de calor no verão – Sistema ETICS  
(Fonte: Green Building Studio)

Monthly Cooling Load

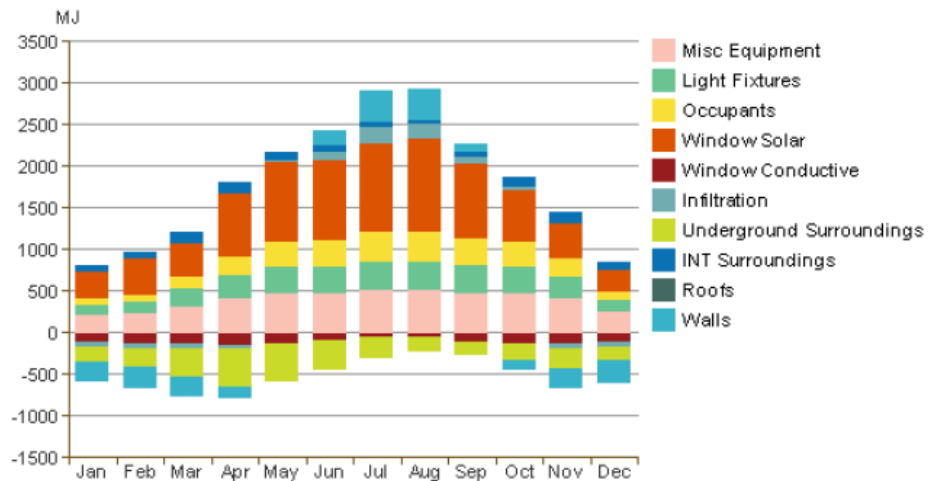


Figura 66 - Ganhos e perdas de calor no verão – Fachada Ventilada  
(Fonte: Green Building Studio)

Relativamente ao consumo de energia elétrica, exposto nas Figuras 67 e 68, os resultados são praticamente semelhantes, mas, como seria de esperar, a fachada ventilada apresenta valores ligeiramente inferiores ao sistema ETICS, devido às menores necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento. Comparando ao modelo base, verifica-se agora, uma maior uniformidade no consumo de energia, reduzindo em mais de 1000 kWh/mês as necessidades de energia elétrica nos piores meses de inverno (Janeiro e Dezembro).

Monthly Electricity Consumption

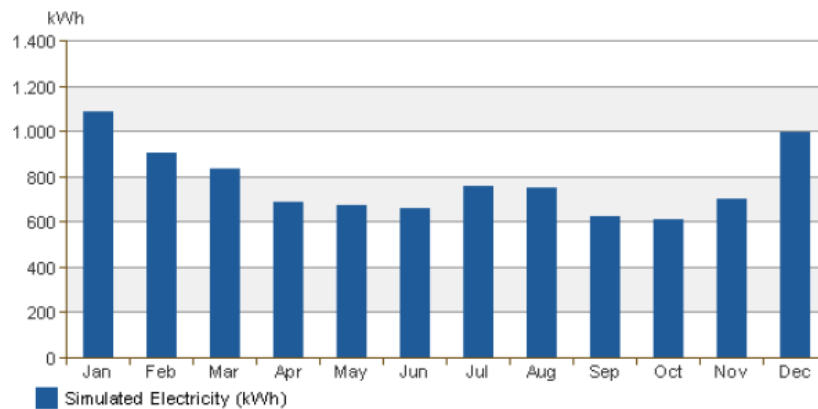


Figura 67 – Consumo elétrico mensal – Sistema ETICS  
(Fonte: Green Building Studio)

Monthly Electricity Consumption

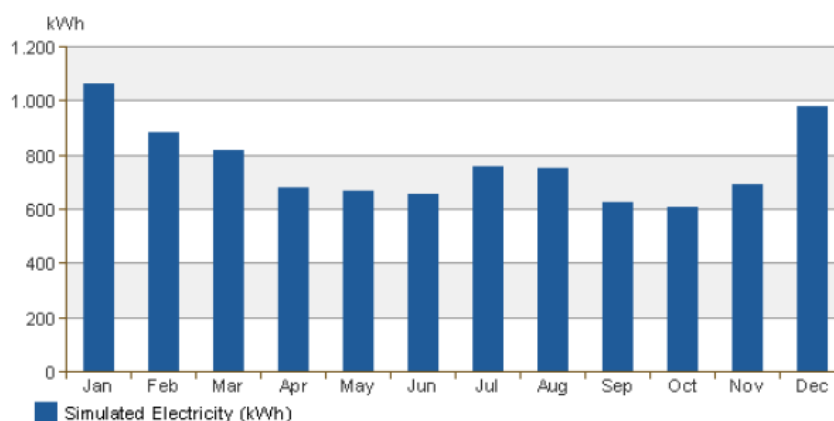


Figura 68 - Consumo elétrico mensal – Fachada ventilada  
(Fonte: Green Building Studio)

Comparando todos os dados anteriormente expostos, chega-se à conclusão que para uma reabilitação energética, o sistema ETICS apresenta-se como uma solução mais vantajosa do que a fachada ventilada. Apesar desta última ser 40% mais eficiente que o sistema ETICS nos meses de inverno, a verdade é, que num contexto global, as diferenças no consumo energético final não são tão evidentes, representando apenas, um máximo inferior a 1.2%. A fachada ventilada aparenta ser melhor para menores espessuras de isolamento, onde as diferenças nas reduções energéticas, relativamente ao sistema ETICS, atingem valores mais elevados. Ainda assim, energeticamente, a fachada ventilada apresenta sempre melhores resultados face ao sistema ETICS, alcançando uma poupança máxima de 67.8%, apenas intervindo na envolvente da habitação.

Assim, as sugestões para as hipóteses de intervenção, sem ter em consideração o custo de intervenção, passam, no mínimo, por atingir cerca de 65% de poupanças energéticas, de maneira a que, complementadas com iluminação e equipamentos eficientes, seja possível atingir um edifício de balanço energético quase nulo.

Apesar das poupanças alcançarem percentagens bastante aceitáveis, caso se opte por tentar reduzir as necessidades de arrefecimento, seria favorável adotar uma solução com diferentes espessuras de isolamento para elementos horizontais, aplicando uma menor espessura de isolamento na laje de pavimento relativamente à laje de esteira.

#### 5.4.2.4 Energias renováveis e práticas sustentáveis

Recorrendo novamente ao simulador do GBS para o consumo de água (Figura 69), foi considerada a aplicação de um reservatório para aproveitamento das águas pluviais, com uma área de aproveitamento de 100 m<sup>2</sup> (área da cobertura) e uma precipitação média anual de 1750 mm, conforme os dados do IPMA para a precipitação média anual em Portugal (1971-2000), disponibilizados na tabela Figura I.1, Anexo I.

Net-Zero Measures		Net-Zero Savings				
		Annual Rainfall (mm)*	Catchment Area (m <sup>2</sup> )	Surface Type	Liters per Year	Annual Cost Savings (€)
Rainwater Harvesting:	Yes ▾	1750	100	Gravel/Tar ▾	140,000	97
Native Vegetation Landscaping:	No ▾				0	0
Greywater Reclamation:	No ▾				0	0
Site Potable Water Sources:	No ▾		Yield: 50 L / day		0	0
<small>*Source: National Climatic Data Center, #CLIM81</small>					<b>Total Net-Zero Savings:</b>	<b>140,000 €97</b>

Figura 69 – Poupança de água com reaproveitamento das águas pluviais  
(Fonte: Green Building Studio)

O reaproveitamento das águas pluviais para posterior utilização para irrigação ou águas negras, é capaz de gerar até 140 000 litros de água por ano, representando uma poupança de 97 € na fatura da água, reduzindo-a assim, para cerca de 333 €/ano (Figura 70).

#### Water Usage and Costs

<b>Total:</b>	<b>296,814 L / yr</b>	<b>€333 / yr</b>
<b>Indoor:</b>	<b>244,393 L / yr</b>	<b>€297 / yr</b>
<b>Outdoor:</b>	<b>52,420 L / yr</b>	<b>€36 / yr</b>
<b>Net Utility:</b>	<b>156,814 L / yr</b>	<b>€204 / yr</b>

Source: AWWA Research Foundation 2000 Residential / Commercial and Institutional End Uses of Water.

Figura 70 – Custo e consumo de água com reaproveitamento de águas pluviais  
(Fonte: Green Building Studio)

Além disso, é ainda possível substituir os equipamentos utilizados, por outros mais eficientes e diminuir o caudal de utilização de água, através da aplicação do autoclismo de dupla descarga e de redutores de caudal. Os resultados do consumo de água, com a utilização destas duas medidas, estão traduzidos na Figura 71, onde se constata que as poupanças económicas atingem os 200 €/ano face ao modelo base.



Apesar do custo de investimento, estas soluções, promovem uma prática altamente sustentável, pois além do dinheiro que se pode economizar, reutiliza um bem cada vez mais escasso e reduz as necessidades de água proveniente da rede pública.

### Water Usage and Costs

<b>Total:</b>	<b>231,894 L / yr</b>	<b>€229 / yr</b>
<b>Indoor:</b>	<b>179,473 L / yr</b>	<b>€192 / yr</b>
<b>Outdoor:</b>	<b>52,420 L / yr</b>	<b>€36 / yr</b>
<b>Net Utility:</b>	<b>91,894 L / yr</b>	<b>€100 / yr</b>

Source: AWWA Research Foundation 2000 Residential / Commercial and Institutional End Uses of Water.

Figura 71 - Custo e consumo de água com reaproveitamento de águas pluviais e equipamentos eficientes  
(Fonte: Green Building Studio)

Já o potencial para geração de energia fotovoltaica, assumindo que o preço de instalação dos módulos fotovoltaicos ronda os 275 €/m<sup>2</sup> [95], o preço de energia os 0.2 €/kWh e o painel tem uma eficiência de 13.8%, esta representada na Figura 72.

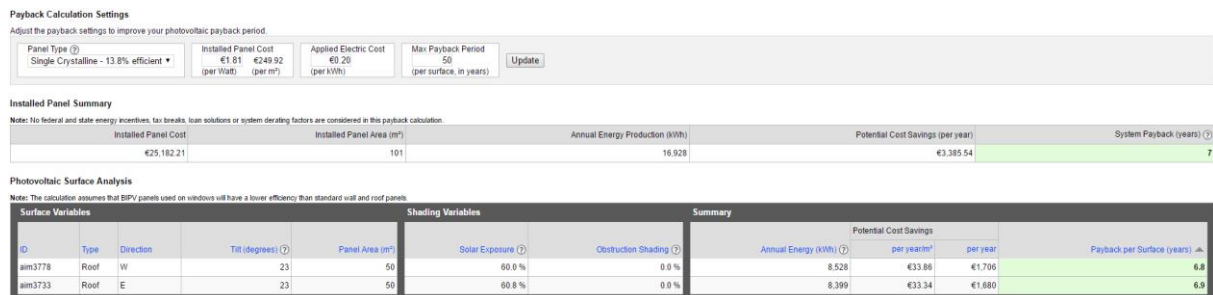


Figura 72 – Potencial fotovoltaico  
(Fonte: Green Building Studio)

O GBS assume a colocação de painéis fotovoltaicos em toda a cobertura e, para esse caso, se os painéis estiverem orientados a Oeste, é possível gerar cerca de 8 500 kWh de energia por ano, poupando à volta de 1 700 € na fatura energética. O valor a investir, para obter 50 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos rondaria os 12 500 € mas esse montante seria recuperado num período inferior a 7 anos, o que representa uma ótima solução de investimento.

De referir, a existência de painéis fotovoltaicos com eficiências superiores, que podem gerar mais energia anualmente.

### 5.4.3 DesignBuilder

De maneira a utilizar o DesignBuilder num contexto BIM, é necessário que o modelo de simulação, seja o mesmo produzido no Revit e utilizado no GBS. Assim, para exportar o modelo para o programa, tal como no GBS, existem duas diferentes hipóteses: Utilizando o add-in direto adicionado no Revit ou pela importação do *BIM Model* através do formato *.gbXML*.

Para o estudo, foi escolhida a importação do modelo através do *add-in* direto, de maneira a tornar o processo mais rápido e fiável, pois existe uma menor perda de informação do modelo. Ao importar através deste meio, tal como verificado no GBS, é possível exportar superfícies (*rooms*) ou espaços (*spaces*), sendo que este último contém informações mais detalhas relativamente a iluminação, ocupação e ganhos de calor. Além da necessidade de criar estes elementos no Revit, é também preciso ajustar as definições energéticas do modelo.

Já após a exportação do modelo para o DesignBuilder, é necessário definir alguns parâmetros que estão selecionados por defeito, de maneira a corresponder à realidade da simulação.

Inicialmente, é essencial mudar a localização do projeto, pois, por defeito, está selecionada a cidade de Londres. Quando comparado ao GBS, que seleciona a estação meteorológica mais próxima do caso de estudo, o DesignBuilder, apenas apresenta uma lista de estações que contém na base de dados, que para locais fora do Reino Unido, está pouco desenvolvida. Por consequência, a estação a selecionar para o estudo foi Porto/Pedras Rubras, a mais próxima disponível, como mostra a Figura 73.

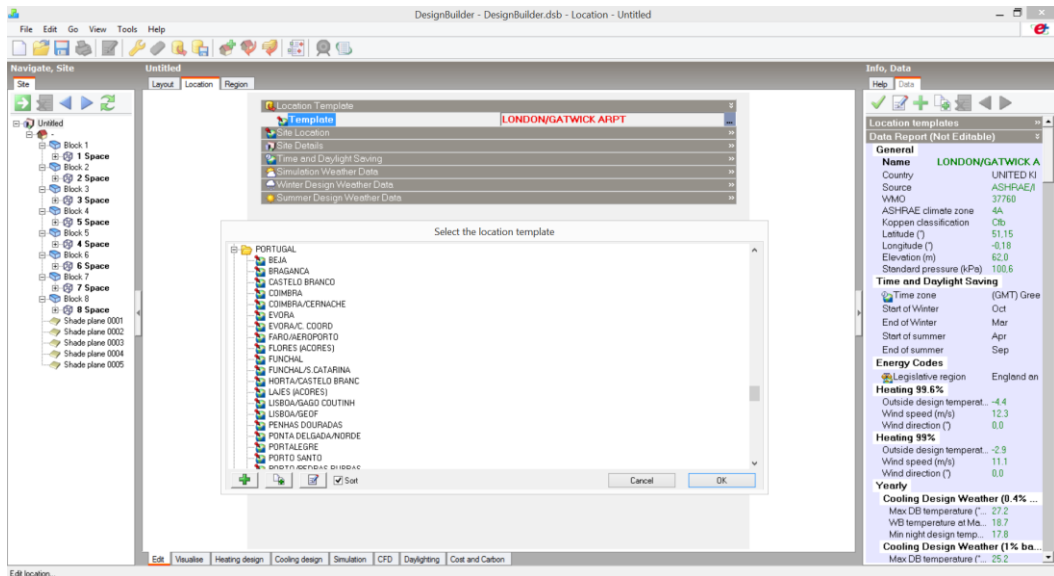


Figura 73 – Seleção da localização do projeto  
(Fonte: DesignBuilder)

Apesar da informação contida nos *spaces* ter sido definida no Revit, o DesignBuilder não reconhece essa mesma informação, sendo necessário alterar as funções e ocupações dos espaços. O motivo para esta incompatibilidade, pode dever-se ao facto do DesignBuilder conter uma base de dados muito mais alargada e detalhada para as utilizações dos espaços. Neste separador, é ainda possível definir os equipamentos existentes em cada espaço, o seu período de utilização e os ganhos de calor por eles produzidos, como se pode verificar na Figura 74.

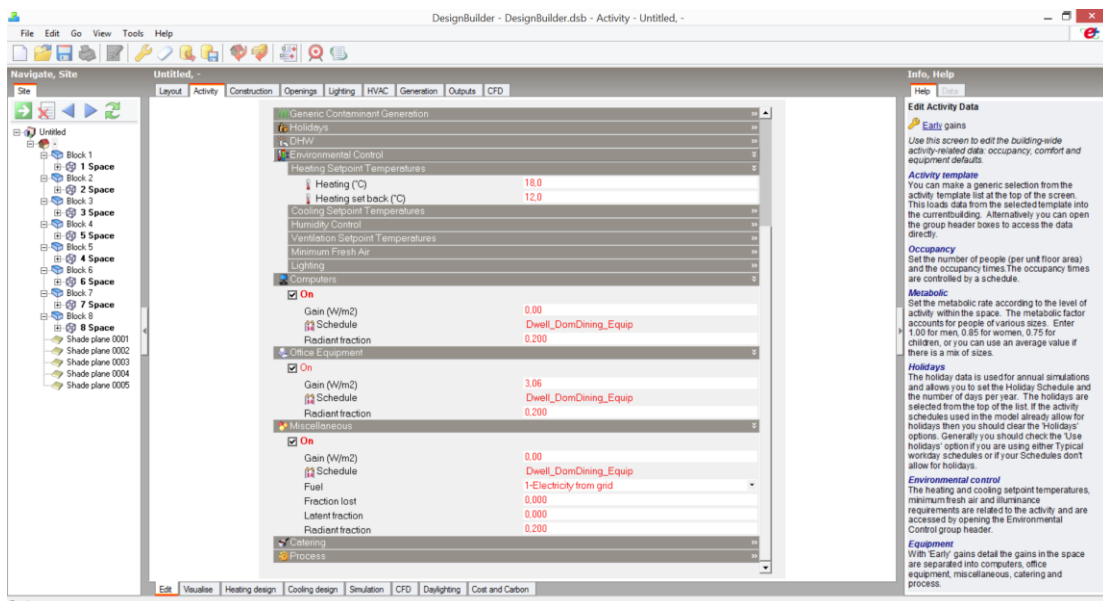


Figura 74 - Parâmetros de simulação - Actividade  
(Fonte: DesignBuilder)

Aqui, é também onde se podem definir as temperaturas de conforto para verão e inverno, que por uma questão de comparação foram definidas à semelhança das utilizadas no GBS (18 °C para a estação de aquecimento de 23 °C para a estação de arrefecimento).

Por uma questão de organização, é aconselhável que os espaços sejam dotados de nomes, de forma a facilitar a análise de resultados.

A etapa seguinte do processo, passa por escolher o sistema AVAC da habitação e o sistema de AQS, bem como o tipo de combustível a utilizar. Além disso, como se pode ver na Figura 75, é possível definir as temperaturas de arrefecimento e aquecimento interior, a existência de ventilação natural, entre outros parâmetros. Para a presente simulação, optou-se pela utilização de um sistema AVAC simplificado, contudo o DesignBuilder permite que seja utilizado um sistema mais complexo, onde é possível detalhar as características do mesmo.

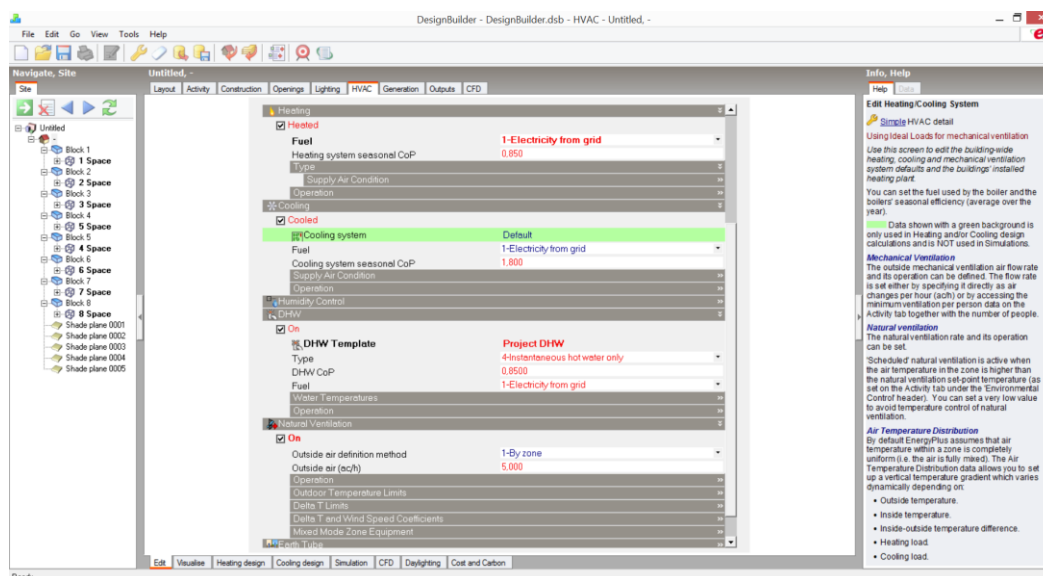


Figura 75 – Parâmetros de simulação - AVAC  
(Fonte: DesignBuilder)

Por fim, é necessário ajustar a iluminação em cada espaço, nomeadamente, a sua intensidade, o período de utilização e o tipo de iluminação artificial. Mais uma vez, verifica-se que a informação definida no Revit, apesar de escassa, não foi transitada para o DesignBuilder, onde é possível que seja muito mais detalhada.

Para as próximas simulações apenas serão consideradas as necessidades energéticas associadas à climatização e, além disso, não serão exploradas todas as potencialidades do programa, pois ou já estão referidas no GBS ou não se inserem no contexto de estudo.

#### 5.4.3.1 Modelo base

Após a simulação no DesignBuilder, os resultados relativos aos consumos energéticos da habitação para o modelo base, foram os apresentados na Tabela 12, onde se verifica uma elevada necessidade de energia anual para aquecimento ambiente, seguido pelos equipamentos domésticos e iluminação, que são pouco eficientes.

Para efeitos comparativos, os parâmetros como a iluminação e equipamentos domésticos serão mantidos constantes ao longo de todas as simulações.

Tabela 12 – Necessidades energéticas - DesignBuilder

Necessidades de Aquecimento		Necessidades de arrefecimento		Iluminação		Equipamentos domésticos	
kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
3382	43.92	282	3.66	1160	15.07	1754	22.78

Relativamente ao balanço de calor da envolvente base, sem qualquer isolamento, no inverno está descrito no gráfico apresentado na Figura 76, onde se constata que as paredes exteriores são responsáveis por perdas na ordem dos 32 W/m<sup>2</sup>, a cobertura por aproximadamente 26 W/m<sup>2</sup> e os envidraçados por 5 W/m<sup>2</sup>. Comparativamente aos resultados do GBS para o balanço de calor, que só podem ser obtidos indiretamente, verifica-se que são ligeiramente inferiores, com as perdas de 29 W/m<sup>2</sup> para as paredes exteriores, 22 W/m<sup>2</sup> para a cobertura e 4 W/m<sup>2</sup> para os envidraçados.

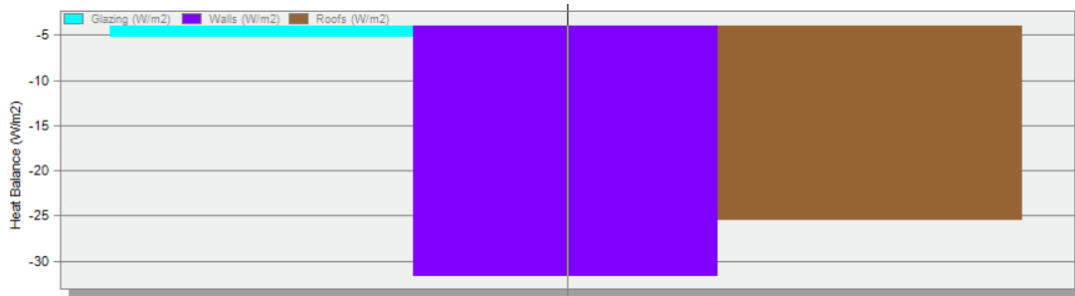


Figura 76 – Balanço de calor dos elementos da envolvente  
(Fonte: DesingBuilder)

No que diz respeito à iluminação natural, verifica-se, no geral, insuficiente, dada à reduzida dimensão das aberturas, como se pode ver na Figura 77. O único espaço devidamente iluminado naturalmente, é um dos quartos, por este possuir duas aberturas. Este fator, não podendo ser superado tem consequências no conforto visual e térmico da habitação.

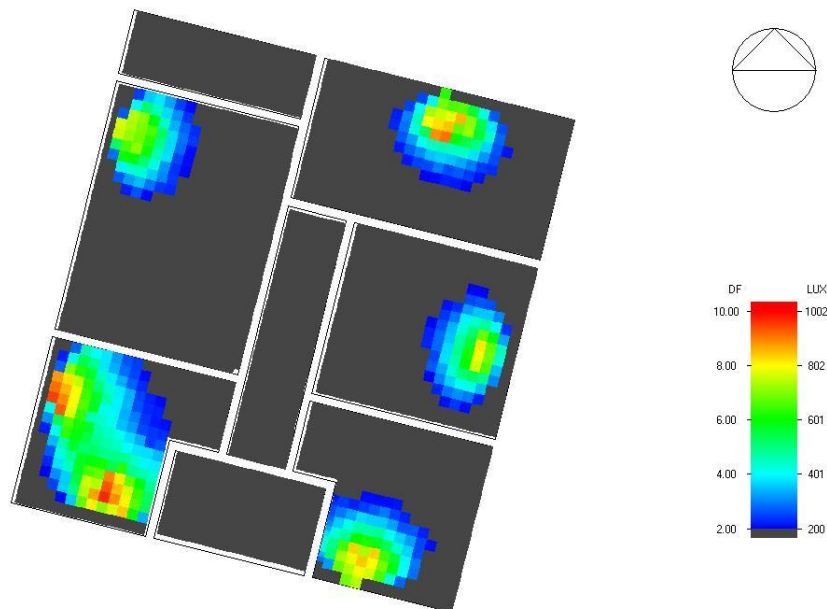


Figura 77 – Iluminação natural existente  
(Fonte: DesingBuilder)

### 5.4.3.2 Proposta de intervenção 1 – Sistema ETICS

As necessidades de aquecimento e arrefecimento para o sistema ETICS, estão representadas na Tabela 13, onde se atesta resultados com padrão semelhante ao GBS.

Tabela 13 – Necessidades de climatização anuais – Sistema ETICS

	Necessidades de aquecimento anuais		Variação face modelo base (%)	Necessidades de arrefecimento anuais		Variação face modelo base (%)
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	
PE:4cm EH:4cm	1 358	17.64	-59.9	487	6.32	+72.7
PE:6cm EH:4cm	1 202	15.61	-64.5	471	6.12	+67.0
PE:8cm EH:4cm	1 115	14.48	-67.0	456	5.92	+61.7
PE:4cm EH:6cm	1 204	15.64	-64.4	536	6.96	+90.1
PE:6cm EH:6cm	1 056	13.71	-68.8	522	6.78	+85.1
PE:8cm EH:6cm	974	12.65	-71.2	507	6.58	+79.8

Pode verificar-se que qualquer uma das propostas apresentadas diminui em pelo menos 60% as necessidades de aquecimento da habitação, embora aumentem as necessidades de arrefecimento em, pelo menos, 62%.

Verifica-se também, que as necessidades de aquecimento diminuem na ordem dos 4.4%, conforme se aumenta a espessura do isolamento dos elementos horizontais e as necessidades de arrefecimento aumentam, na ordem dos 18%, sendo um dos motivos o aumento da espessura do isolamento na laje de pavimento, pois diminui as perdas de calor para com o solo quando este se encontra a uma temperatura inferior (estação de arrefecimento).

Já as diferenças entre os resultados para diferentes espessuras de isolamento, nas paredes exteriores, variam cerca de 4.5% para as necessidades de aquecimento entre 4 cm ou 6 cm de isolamento, passando para aproximadamente metade quando comparadas entre 6 cm e 8 cm de espessura. As necessidades de arrefecimento, mais uma vez, diminuem conforme se aumenta a espessura de isolamento nas paredes exteriores.

Apesar do elevado aumento nas necessidades energéticas para arrefecimento, o peso destas no consumo total, continua baixo, representando menos de metade das necessidades de aquecimento que, ainda assim, chegam a baixar mais de 70%.

#### 5.4.3.3 Proposta de intervenção 2 – Fachada ventilada

A Tabela 14 traduz os resultados obtidos na simulação da proposta de intervenção com fachada ventilada, para as necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais.

Tabela 14 - Necessidades de climatização anuais – Fachada ventilada

	Necessidades de aquecimento anuais		Variação face modelo base (%)	Necessidades de arrefecimento anuais		Variação face modelo base (%)
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	
PE:4cm EH:4cm	1206	15.66	-64.3	467	6.06	+65.6
PE:6cm EH:4cm	1135	14.74	-66.4	461	5.99	+63.5
PE:8cm EH:4cm	1 075	13.96	-68.2	453	5.88	+60.6
PE:4cm EH:6cm	1 064	13.82	-68.5	516	6.70	+82.9
PE:6cm EH:6cm	978	12.70	-71.1	511	6.64	+81.2
PE:8cm EH:6cm	919	11.94	-72.8	504	6.55	+78.7

Mais uma vez, os resultados foram semelhantes ao padrão previsto anteriormente no GBS.

Verifica-se que o aumento da espessura do isolamento nos elementos horizontais, representa poupanças nas necessidades de aquecimento na ordem dos 4% e nas necessidades de arrefecimento aumentos na casa dos 18%.

Relativamente às diferentes espessuras de isolamento das paredes exteriores, apurou-se que as necessidades de aquecimento diminuem, na ordem dos 2.5%, entre 4 cm e 6 cm de isolamento e aproximadamente 1.7%, entre 6 cm e 8 cm de isolamento. As necessidades de arrefecimento, também diminuem com o aumento da espessura de isolamento mas em menor escala.



Qualquer solução deste tipo de sistema traduzir-se-ia em poupanças acima do 64% nas necessidades de aquecimento, acompanhadas de um aumento de, pelo menos, 60% das necessidades de arrefecimento.

#### 5.4.3.4 Proposta 1 vs Proposta 2

A Tabela 15 foi elaborada de forma a poder realizar uma comparação sustentada de ambas as propostas de intervenção. Estão nela representadas as necessidades totais de climatização da habitação, bem como as poupanças anuais geradas.

Tabela 15 - Diferenças das necessidades de climatização e poupanças

	Proposta 1			Proposta 2		
	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Poupança (€)	Varição face modelo base (%)	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh)	Poupança (€)	Varição face modelo base (%)
PE:4cm EH:4cm	1 845	363.8	-49.6	1 673	398.2	-54.3
PE:6cm EH:4cm	1 673	398.2	-54.3	1 596	413.6	-56.4
PE:8cm EH:4cm	1 571	418.6	-57.1	1 528	427.2	-58.3
PE:4cm EH:6cm	1 740	384.8	-52.5	1 580	416.8	-56.9
PE:6cm EH:6cm	1 578	417.2	-56.9	1 489	435.0	-59.4
PE:8cm EH:6cm	1 481	436.6	-59.6	1 423	448.2	-61.2

Preço eletricidade – 0,20 €/kWh

Através da análise da Tabela 15 verifica-se que, para o sistema ETICS, as melhores soluções passariam por aplicar 6 cm de isolamento nos elementos horizontais e 6 cm, ou mais, nas paredes exteriores. De maneira a atingir reduções semelhantes, também seria possível a aplicação de 4 cm de isolamento nos elementos horizontais mas, obrigatoriamente, seria necessário optar por 8 cm de isolamento das paredes exteriores. Assim, seria possível atingir reduções, pelo menos, na ordem dos 57%. Ainda de referir, que as diferenças nas poupanças energéticas, aquando a aplicação de mais 2 cm nos elementos horizontais correspondem a cerca 2.5%

No que diz respeito ao sistema de fachada ventilada, verifica-se que este alcança sempre maiores reduções, relativamente ao sistema ETICS, para espessuras de isolamento iguais. Além disso, como apurado no GBS, constata-se que para atingir poupanças na mesma ordem de grandeza, a fachada ventilada necessita de menos 2 cm de isolamento nas paredes exteriores, face ao sistema ETICS. Relativamente ao isolamento nos elementos horizontais, o aumento da espessura do isolamento é ligeiramente mais notável do que no sistema ETICS, produzindo poupanças na ordem dos 3%.

À semelhança das conclusões obtidas através dos resultados do GBS, uma solução ideal, passaria por adotar menos espessura de isolamento para a laje de pavimento, de maneira a reduzir as necessidades de arrefecimento, privilegiando as trocas de calor com o solo no verão. Novamente, verificou-se que quanto mais espesso for o isolamento mais as poupanças se assemelham entre ambas as propostas.

Na Figura 78, pode-se verificar os balanços de calor gerados pelos elementos construtivos da envolvente do edifício para o sistema ETICS.

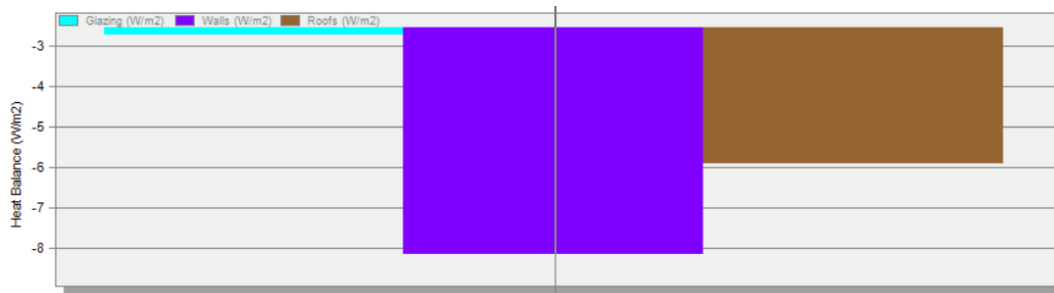


Figura 78 – Balanço de calor dos elementos da envolvente – Sistema ETICS  
(Fonte: DesignBuilder)

As paredes exteriores são as principais responsáveis por perdas de calor, com valores na ordem dos 8.1 W/m<sup>2</sup>, seguidas da cobertura com 5.9 W/m<sup>2</sup> e dos envidraçados 2.7 W/m<sup>2</sup>. Quando comparado com o modelo inicial, apura-se que as perdas de calor através das paredes foram reduzidas em quase 75%, para uma espessura de 6cm de isolamento. Já o reforço do isolamento da laje de esteira, reduziu as perdas de calor em 77% e a substituição dos envidraçados e respetivas caixilharias, minorou em quase 50% as perdas de energia.

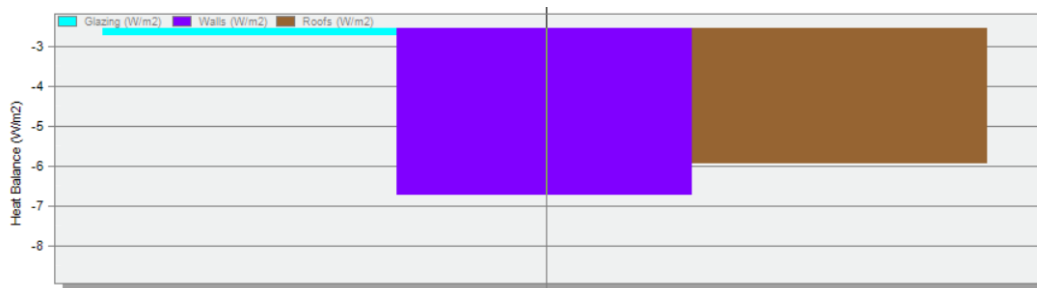


Figura 79 - Balanço de calor dos elementos da envolvente – Fachada ventilada  
(Fonte: DesignBuilder)

Na solução da fachada ventilada, como apenas se alterou o sistema de revestimento das paredes exteriores, as perdas de calor associadas à cobertura e aos envidraçados mantiveram-se iguais ao sistema ETICS. Relativamente às paredes, houve um decréscimo de quase 80% em relação ao modelo inicial para 6.7 W/m<sup>2</sup> (Figura 79), ou seja, 5% mais vantajosa do que no sistema ETICS.

#### 5.4.3.5 *Best practice*

O DesignBuilder disponibiliza a opção “Best practice” para determinados parâmetros da habitação, como iluminação, envidraçados, sistema AVAC, entre outros, que consiste em considerar a melhor opção teórica para os parâmetros em questão.

Face aos resultados obtidos através das simulações anteriores, verifica-se que para atingir um edifício de balanço energético quase nulo, é ainda necessário reduzir um pouco mais as necessidades energéticas da habitação, nomeadamente, relativas à iluminação e equipamentos, de modo a atingir uma redução aproximadamente de 80% face ao modelo inicial.

Sendo assim, recorreu-se à simulação de dois modelos, um de cada proposta de intervenção, mas com alteração dos parâmetros relativos à iluminação, para a opção “best practice” e alteração dos equipamentos domésticos para outros mais eficientes, de maneira a aumentar a eficiência energética da habitação e analisar o seu impacto no consumo de energia.

Nas Tabelas 16 e 17 estão representados os resultados obtidos para o sistema ETICS e fachada ventilada respetivamente.

Tabela 16 – Diferenças entre solução simulada e *best practice* – Sistema ETICS

	Necessidades anuais de aquecimento (kWh)	Necessidades anuais de arrefecimento (kWh)	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh)	Variação face ao modelo base (%)	Iluminação (kWh)	Equipamentos domésticos (kWh)	Total		Variação face ao modelo base (%)
							kWh	kWh/m <sup>2</sup>	
Proposta de intervenção	1 056	522	1 578	-56.9	1 160	1 754	4 492	58.3	-31.7
Proposta de intervenção <i>“best practice”</i>	1 384	269	1 653	-54.9	605	1 214	3 472	45.1	-47.2

Comparativamente às propostas de intervenção, a solução “best practice”, mostra um aumento nas necessidades de aquecimento, consequência da diminuição da dissipação de calor por parte da iluminação e equipamentos domésticos. Por conseguinte, face a este aumento as necessidades de arrefecimento diminuem. Ainda assim, o aumento nas necessidades de climatização é amplamente compensado, pela diminuição dos consumos energéticos em iluminação e equipamentos.

No sistema ETICS verifica-se que, num contexto global, na aplicação da hipótese “best practice”, as necessidades de energia diminuem mais de 15% apenas pela utilização de tecnologias mais eficientes. Apesar de a redução não atingir os 80%, face ao modelo inicial, esta é de quase 50%.

A mesma situação se verifica para a fachada ventilada, na Tabela 17, mas com resultados 1.6% melhores relativamente ao sistema ETICS, face ao melhor desempenho deste sistema nas necessidades de climatização.

Tabela 17 – Diferenças entre simulada e *best practice* – Fachada ventilada

	Necessidades anuais de aquecimento (kWh)	Necessidades anuais de arrefecimento (kWh)	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh)	Variação face ao modelo base (%)	Iluminação (kWh)	Equipamentos domésticos (kWh)	Total		Variação face ao modelo base (%)
							kWh	kWh/m <sup>2</sup>	
Proposta de intervenção	978	511	1 489	-59.4	1 160	1 754	4 403	57.2	-33.1
Proposta de intervenção " <i>best practice</i> "	1 305	256	1 561	-57.4	605	1 214	3 380	43.9	-48.6

É de realçar, que a substituição da tradicional iluminação por uma mais eficiente, é capaz de reduzir em 50% as necessidades de energia destas. Já a substituição dos equipamentos, por outros de elevada classe energética, gera poupanças na ordem dos 30%.

Contudo, se o objetivo é atingir um Edifício de balanço energético nulo, é ainda necessário a introdução de outras tecnologias, nomeadamente, um sistema mecânico de climatização e ventilação eficiente, como sugerido no Capítulo 4. Outras tecnologias, seriam o aproveitamento de energias renováveis, como um sistema solar térmico e/ou fotovoltaico, aumentar a poupança de água e aliar práticas sustentáveis por parte dos utilizadores,

tornando assim possível diminuir ainda mais as necessidades energéticas da habitação até níveis de balanço energético quase nulo.

#### 5.4.4 Green Building Studio vs DesignBuilder

Este subcapítulo tem como objetivo apresentar as principais vantagens (prós) e desvantagens (contras) de cada programa utilizado para as simulações, bem como analisar as principais diferenças nos resultados entre eles.

As necessidades de aquecimento e arrefecimento para o sistema ETICS, estão expostas na Tabela 18. Em média, as necessidades de aquecimento variam 5.6% entre os dois programas usados, com uma diferença máxima a atingir quase 10%, sendo que o GBS apresenta valores inferiores. Já as necessidades de arrefecimento apresentam grande disparidade, em média 18%. Esta desigualdade pode dever-se aos diferentes métodos de cálculo para determinação das necessidades de climatização ou, por diferenças nas taxas de ventilação de ar definidas ou mesmo, pelo facto, da estação meteorológica considerada ser diferente entre os dois programas.

É de destacar, o facto de não terem sido consideradas nenhuma obstruções e/ou sombreamentos, que melhorariam o desempenho térmico da habitação na estação de aquecimento. Para tal ser considerado, seria necessário a modelação de toda a envolvente exterior do edifício em estudo.

Tabela 18 – Diferenças das necessidades de aquecimento e arrefecimento entre programas

	Necessidades anuais de aquecimento (kWh) - GBS	Necessidades anuais de aquecimento (kWh) - DesignBuilder	Diferença (%)	Necessidades anuais de arrefecimento (kWh) - GBS	Necessidades anuais de arrefecimento (kWh) - DesignBuilder	Diferença (%)
PE:4cm EH:4cm	1 326	1 358	2.4	598	487	18.6
PE:6cm EH:4cm	1 157	1 202	3.7	590	471	20.2
PE:8cm EH:4cm	1 058	1 115	5.1	587	456	22.3
PE:4cm EH:6cm	1 142	1 204	5.1	626	536	14.4
PE:6cm EH:6cm	975	1 056	7.7	623	522	16.2
PE:8cm EH:6cm	879	974	9.8	622	507	18.5

No que diz respeito às necessidades totais de climatização, sumarizadas na Tabela 19, as diferenças entre os dois programas não é tão significativa, com uma diferença máxima de 4.5% mas, em média de 3%.

Tabela 19 – Diferenças das necessidades totais de climatização entre programas

	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh) - GBS	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh) - DesignBuilder	Diferença (%)
PE:4cm EH:4cm	1 924	1 845	4.1
PE:6cm EH:4cm	1 747	1 673	4.2
PE:8cm EH:4cm	1 645	1 571	4.5
PE:4cm EH:6cm	1 768	1 740	1.6
PE:6cm EH:6cm	1 598	1 578	1.3
PE:8cm EH:6cm	1 501	1 481	1.3



Relativamente às diferenças gerais entre os dois programas, o GBS aparenta ainda estar um pouco distante do DesignBuilder, no que diz respeito à quantidade e detalhe da informação introduzidas. Os principais motivos porque tal acontece, além de ser um programa relativamente recente, são o facto de o GBS ser baseado na nuvem, que muito contribui para que vários parâmetros das simulações, sejam fixos e apenas alteráveis através de codificação, como as temperaturas de conforto.

O Revit também não está suficientemente desenvolvido, para que, muitos dos parâmetros existentes no DesignBuilder, sejam lá introduzidos e, a sua base de dados para as atividades na habitação e sistemas de climatização é bastante reduzida. É certo que é possível utilizar o GBS num projeto de raiz, definindo a sua envolvente na web ao invés de no Revit, mas este processo é moroso, exige um grande conhecimento do programa e não pode ser integrado numa metodologia BIM.

Os principais prós e contras, analisados entre os dois programas, estão sumarizados na Tabela 20 e na Tabela 21, para o GBS e DesignBuilder respetivamente.

Tabela 20 – Prós e contras – Green Building Studio

GBS	
PRÓS	CONTRAS
Resultados visualmente agradáveis	Impossibilidade de simular sem sistema AVAC
Relatórios simples	Base de dados de sistemas reduzida
Possibilidade de utilizar inúmeras estações meteorológicas	Base de dados de atividades para espaços reduzida
Simulador de consumo de água prático	Impossibilidade de definir temperaturas de conforto
Simulador de potencial fotovoltaico	Resultados indiretos para as necessidades de climatização
Capacidade para exportar ficheiro em vários formatos	Período de tempo para simulação fixo (anual)
Análise automática de possíveis alternativas para os elementos construtivos	Necessidade de internet para utilização

Tabela 21 – Prós e contras - DesignBuilder

DesignBuilder	
PRÓS	CONTRAS
Resultados gráficos e relatórios	Relatórios complexos
Possibilidade de formatação dos resultados gráficos	Resultados visualmente menos agradáveis
Possibilidade de definir diversos parâmetros (temperaturas, infiltrações, eficiência, etc.)	Necessário mais conhecimento do programa e dos diversos parâmetros
Base de dados alargada	Estações meteorológicas limitadas
Simulador com interface do EnergyPlus	Necessária licença para utilização (apenas 1 mês disponível)
Resultados diretos para as necessidades de climatização	
Período de tempo para simulação variável	
Existência da solução “best practice”	
Simulador de potencial solar térmico	

Concluindo, o GBS ainda apresenta muito espaço para se desenvolver, de maneira a atingir o nível dos mais conceituados programas de simulação de desempenho energético. Ser baseado na nuvem, para já, aparenta ter mais pontos negativos do que positivos mas, no futuro, poderá existir uma forma do utilizador conseguir introduzir muitos mais parâmetros, para a realização de simulações mais concisas de detalhadas, bem como, a base de dados ser bastante mais alargada.

No que diz respeito ao DesignBuilder, é um dos programas que apresenta vasta reputação a nível mundial e que já tem provas dadas. Ainda assim, como em tudo, nada é perfeito e é necessário continuar a melhorar o programa e a base de dados, nomeadamente, as estações meteorológicas. Contudo, é possível criar um ficheiro de dados meteorológicos, mas é necessário conhecimento de dados climáticos.

#### 5.4.5 Análise económica

De maneira a obter um conhecimento do custo inerente à reabilitação e os seus ganhos ao longo do tempo, foram realizadas as quatro análises seguintes:

- Análise económica através dos resultados do GBS;
- Análise económica através dos resultados do GBS considerando sistema fotovoltaico;
- Análise económica através dos resultados do DesignBuilder;
- Análise económica através dos resultados do DesignBuilder considerando sistema fotovoltaico.

Os valores adotados para a realização da análise económica às propostas de reabilitação estão, expostos na Tabela 22.

Tabela 22 – Preços adotados para a análise económica  
(Fonte: [www.geradordeprecos.info/](http://www.geradordeprecos.info/))

	€/m <sup>2</sup>
Preço intervenção laje de esteira c/ isolamento de 4 cm	15,41
Preço intervenção laje de esteira c/ isolamento de 6 cm	16,91
Preço intervenção pavimento c/ isolamento de 4 cm	41,92
Preço intervenção pavimento c/ isolamento de 6 cm	43,42
Preço de substituição dos envidraçados	119,14
Preço intervenção sistema ETICS c/ isolamento de 4 cm	56,65
Preço intervenção sistema ETICS c/ isolamento de 6 cm	59,03
Preço intervenção sistema ETICS c/ isolamento de 8 cm	62,11
Preço intervenção fachada ventilada c/ isolamento de 4 cm	98,91
Preço intervenção fachada ventilada c/ isolamento de 6 cm	105,44
Preço intervenção fachada ventilada c/ isolamento de 8 cm	112,20

Área paredes exteriores – 105 m<sup>2</sup>

Área pavimento e cobertura – 90 m<sup>2</sup> cada

Área de envidraçados – 6.3 m<sup>2</sup>

A primeira análise diz respeito aos resultados do GBS, sem consideração da integração de qualquer sistema fotovoltaico, e está exposta na Tabela 23.

Os resultados foram semelhantes aos expectáveis, com tempos de retorno do investimento acima dos 20 anos para o sistema ETICS, e superiores a 29 anos para a fachada ventilada.

Pode-se verificar, que o tempo de retorno do investimento para ambos os sistemas diminui, conforme se aplica mais espessura de isolamento nos elementos horizontais. O mesmo não

se verifica com o aumento da espessura do isolamento nas paredes exteriores, que aumenta o tempo de retorno da fachada ventilada e diminui o do sistema ETICS. Motivo para tal acontecer, está relacionado com as diferenças de preços entre as várias espessuras dos materiais. O aumento da espessura no sistema ETICS não chega a superar os 6 €/m<sup>2</sup>, enquanto na fachada ventilada esse valor ultrapassa os 13 €/m<sup>2</sup>.

Tabela 23 – Análise económica entre propostas – Green Building Studio

	Proposta 1					Proposta 2				
	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)	Necessidades de arrefecimento e aquecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)
PE:4cm EH:4cm	1 924	-56.8	506.3	11859	23.4	1 743	-60.9	542.5	16296	30.0
PE:6cm EH:4cm	1 747	-60.8	541.7	12108	22.4	1 642	-63.1	562.5	16982	30.2
PE:8cm EH:4cm	1 645	-63.1	561.9	12432	22.1	1 581	-64.5	574.8	17691	30.8
PE:4cm EH:6cm	1 768	-60.3	537.4	12129	22.6	1 594	-64.2	572.3	16566	29.0
PE:6cm EH:6cm	1 598	-64.1	571.4	12378	21.7	1 505	-66.2	590.0	17252	29.2
PE:8cm EH:6cm	1 501	-66.3	590.8	12702	21.5	1 434	-67.8	604.3	17961	29.7

Já os mesmos resultados, com a integração de um sistema fotovoltaico de 50 m<sup>2</sup>, admitindo que este é capaz de gerar poupanças na ordem dos 1600 €/anuais, estão apresentados na Tabela 24, onde se verifica uma redução de, em média, 48% no tempo de recuperação do investimento de 22.3 anos, para 11.5 anos. Verifica-se ainda, que o tempo de retorno tende a assemelhar-se entre as várias hipóteses.

Num sistema de fachada ventilada, essa redução é ainda mais evidente, com decréscimos, em média, de 54% no tempo de retorno do investimento para 13.6 anos, apenas mais 2 anos do que o sistema ETICS.

Já as diferenças entre as hipóteses de cada proposta, não são muito notórias, com um aumento inferior a 0.2 anos, conforme se aumenta a espessura do isolamento.

Tabela 24 – Análise económica entre propostas com integração de um sistema fotovoltaico – Green Building Studio

	Proposta 1					Proposta 2				
	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)	Necessidades de arrefecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)
PE:4cm EH:4cm	1 924	-56.8	2106	24359	11.6	1 743	-60.9	2143	28796	13.4
PE:6cm EH:4cm	1 747	-60.8	2142	24608	11.5	1 642	-63.1	2163	29482	13.6
PE:8cm EH:4cm	1 645	-63.1	2162	24932	11.5	1 581	-64.5	2175	30191	13.9
PE:4cm EH:6cm	1 768	-60.3	2137	24629	11.5	1 594	-64.2	2172	29066	13.4
PE:6cm EH:6cm	1 598	-64.1	2171	24878	11.5	1 505	-66.2	2190	29752	13.6
PE:8cm EH:6cm	1 501	-66.3	2191	25202	11.5	1 434	-67.8	2204	30461	13.8

Situação idêntica acontece na análise económica para os resultados do DesignBuilder, apresentados na Tabela 25, mas com tempos de retorno superiores, dadas às diferenças nas poupanças energéticas relativamente ao GBS.

Assim, verifica-se que para o sistema ETICS, sem integração de um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno de investimento é, em média, de 30.5, ou seja, 8 anos superior aos

resultados do GBS. Situação semelhante acontece para o sistema de fachada ventilada, onde o tempo de retorno é, em média, 10 anos superior aos resultados do GBS.

Tabela 25 – Análise económica entre propostas – DesignBuilder

	Proposta 1					Proposta 2				
	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)	Necessidades de arrefecimento e aquecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)
PE:4cm EH:4cm	1 845	-49.7	363.8	11859	32.6	1 673	-54.3	398.2	16296	41.0
PE:6cm EH:4cm	1 673	-54.3	398.2	12108	30.4	1 596	-56.4	413.6	16982	41.1
PE:8cm EH:4cm	1 571	-57.1	418.6	12432	29.7	1 528	-58.3	427.2	17691	41.4
PE:4cm EH:6cm	1 740	-52.5	384.8	12129	31.5	1 580	-56.9	416.8	16566	39.8
PE:6cm EH:6cm	1 578	-56.9	417.2	12378	29.7	1 489	-59.4	435.0	17252	39.7
PE:8cm EH:6cm	1 481	-59.6	436.6	12702	29.1	1 423	-61.2	448.2	17961	40.1

Quando integrado o sistema fotovoltaico, as diferenças entre os programas não são tão notórias, com diferenças no tempo de retorno na ordem dos 1.1 anos para ambas as propostas de intervenção, como se pode ver na Tabela 26.

Mais uma vez, à semelhança do que aconteceu anteriormente, o tempo de retorno de ambos os sistemas, tende a aproximar-se.

Tabela 26 – Análise económica entre propostas com integração de um sistema fotovoltaico - DesignBuilder

	Proposta 1					Proposta 2				
	Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)	Necessidades de arrefecimento e arrefecimento anuais (kWh) –	Varição face modelo base (%)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)
PE:4cm EH:4cm	1 924	-56.8	1964	24359	12.4	1 743	-60.9	1998	28796	14.4
PE:6cm EH:4cm	1 747	-60.8	1998	24608	12.3	1 642	-63.1	2014	29482	14.6
PE:8cm EH:4cm	1 645	-63.1	2019	24932	12.4	1 581	-64.5	2027	30191	14.9
PE:4cm EH:6cm	1 768	-60.3	1985	24629	12.4	1 594	-64.2	2017	29066	14.4
PE:6cm EH:6cm	1 598	-64.1	2017	24878	12.3	1 505	-66.2	2035	29752	14.6
PE:8cm EH:6cm	1 501	-66.3	2037	25202	12.4	1 434	-67.8	2048	30461	14.9

Além de reduzir significativamente o período de retorno de investimento, a instalação de um sistema deste género, aliada a uma das propostas de intervenção sugeridas, mais uma iluminação e equipamentos domésticos eficientes, é capaz de produzir mais do que a totalidade de energia elétrica necessária na habitação. Sendo assim, de acordo com o Decreto-Lei nº 153/2014, caso a unidade de produção de energia para autoconsumo esteja ligada à rede, e exista uma percentagem de eletricidade produzida mas não consumida, esta pode ser vendida ao comercializador de eletricidade, mediante celebração de contrato.





## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho tem como objetivo a reabilitação de um edifício unifamiliar, com o intuito de melhorar a sua eficiência energética, tentando assim atingir um edifício de balanço energético quase nulo.

Inicialmente, foi elaborado um estudo relativo ao estado de conhecimento do tema, de forma a consolidar conhecimentos sobre o mesmo, e ainda averiguar a legislação em vigor, em Portugal e na União Europeia. Com as metas definidas pela UE para os seus Estados Membros, no que toca à eficiência energética e sustentabilidade do edificado, torna-se necessário encontrar uma estratégia para o melhorar energeticamente e, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade de vida dos ocupantes nos espaços interiores. Assim, surgiu o conceito de edifício de balanço energético nulo, um edifício altamente eficiente, que tem vindo a tornar-se a nova meta no setor da Arquitetura Engenharia e Construção (AEC).

Face à falta de eficiência energética dos edifícios anteriores ao ano de 1970, em Portugal, muito devido à falta de regulamentação térmica na época de construção, é necessário intervir este tipo de edificado e, se possível, torná-lo altamente eficiente, de acordo com os padrões definidos pela UE. Assim, foi selecionada uma habitação portuguesa, do final da década de 60, que, pelas suas características construtivas, representa um grupo de habitações construídas nessa época, onde se poderão aplicar medidas semelhantes às utilizadas neste trabalho.

De maneira a realizar o estudo sobre quais as melhores soluções a adotar, foram propostas diversas hipóteses para a reabilitação da envolvente da habitação, bem como possíveis soluções ativas a aplicar, ambas devidamente justificadas.

Após verificação das vantagens e desvantagens de cada solução, optou-se por aplicar uma camada de isolamento térmico sobre a laje de esteira existente, reforçar o isolamento térmico do pavimento e, ainda, substituir os envidraçados simples por outros mais eficientes. No que toca às paredes exteriores, foram sugeridas duas soluções, o sistema ETICS e a fachada ventilada, que foram avaliadas, de modo a comparar as duas hipóteses, tanto a curto como a longo prazo.

Além disso, foi ainda apurado que a intervenção efetuada na habitação, a aplicação do painel sanduiche nas vertentes da cobertura, não se revelou como a opção mais adequada, face à existência de um desvão não habitável na habitação.

De seguida, recorreu-se à integração de metodologias BIM, que se apresentam como o futuro da indústria da AEC a nível mundial, com diversos projetos já realizados, de maneira a conseguir determinar, numa fase de projeto, quais as melhores soluções de reabilitação, bem como os seus impactos no consumo energético do caso de estudo. Para tal, foram selecionados programas computacionais, dentro do BIM, que se apresentavam como mais adequados a este tipo de análise. Foi então realizado um modelo da habitação no Revit que, depois, foi exportado para dois programas de simulação energética dinâmica, o Green Building Studio e o DesignBuilder.

Finalizadas as simulações, foi possível chegar a várias conclusões no que toca às diferentes propostas de intervenção apresentadas:

- No geral, a fachada ventilada apresenta melhores resultados, relativos às poupanças energéticas, quando comparada com o sistema ETICS (em média 3%);
- Ambas as propostas diminuem as necessidades de aquecimento da habitação em, pelo menos, 60%, embora, ao mesmo tempo, aumentem as necessidades de arrefecimento (pelo menos 50%). Apesar disso, o peso das necessidades de arrefecimento, quando comparadas às necessidades de aquecimento, é relativamente baixo. De referir ainda que não foram considerados sombreamentos ou otimização da ventilação, face à impossibilidade de o realizar no GBS;
- A fachada ventilada apresenta maiores diferenças nas necessidades de climatização, comparativamente com o sistema ETICS, para espessuras de isolamento menores, passando estas para cerca de metade, quando duplicada a espessura do isolamento;
- De maneira a atingir poupanças energéticas idênticas, a fachada ventilada necessita de menos 2 cm de isolamento nas paredes, comparativamente com o sistema ETICS;
- A variação da espessura do isolamento nos elementos horizontais é a principal responsável pela variação nas necessidades de arrefecimento da habitação. A aplicação de isolamento na laje de pavimento é uma das principais causas para o aumento destas, pois diminui as trocas de calor com o solo. É assim aconselhável optar por uma solução mista, ou seja, mais isolamento na laje de esteira do que na laje de pavimento;
- A variação da espessura do isolamento nas paredes exteriores e na laje de esteira é a principal responsável pela variação das necessidades de aquecimento da habitação;
- Quando considerados os custos de intervenção apenas para a envolvente, o sistema ETICS apresenta custos menores, com tempos de retorno, em média, inferiores (cerca de 8 anos). Assim, apresenta-se como a melhor solução para reabilitação, tendo em conta os

resultados produzidos e o respetivo preço. Verificou-se a necessidade de utilização de um sistema de energia renovável, um sistema solar fotovoltaico, para tornar as propostas economicamente interessantes para reabilitação (períodos de retorno do investimento próximos dos 10 anos);

- Quando considerada a integração de um sistema fotovoltaico, apesar de aumentar os custos de intervenção, o tempo de retorno baixa significativamente, para cerca de metade. Além disso, o tempo de retorno da fachada ventilada passa apenas a ser 2 anos superior ao do sistema ETICS.

- Num contexto de reabilitação, o sistema ETICS apresenta-se, no geral, mais vantajoso que a fachada ventilada. Apesar de esta possuir poupanças anuais ligeiramente superiores, ou seja, menos necessidades energéticas, a diferença relativamente ao sistema ETICS não é suficiente, face ao seu custo de investimento mais elevado;

- Relativamente às emissões de CO<sub>2</sub>, ambas as propostas apresentam decréscimos semelhantes, quando comparadas com o modelo base, que variam entre 16% e 21%.

Relativamente à possibilidade da habitação ser um *nearly* ZEB, como foi referido anteriormente, não foi fácil atingir no edifício em estudo. Ainda assim, com as propostas de intervenção referidas, apenas para a envolvente da habitação, é possível diminuir em, pelo menos, 50% as necessidades de climatização.

É certo que, apenas intervindo na envolvente, não é possível limitar o consumo de energia da habitação aos máximos referidos no BPIE. Para isso ser conseguido, é necessário aliar práticas sustentáveis com a utilização de iluminação e equipamentos eficientes. De realçar que a iluminação natural é outro importante fator a ter em consideração, no que diz respeito à eficiência e sustentabilidade, mas, no caso de estudo, esta verificou-se insuficiente, dada a reduzida dimensão das aberturas, o que dificulta o alcance do objetivo. Além disso, não foram simuladas possíveis obstruções e/ou sombreamentos que poderiam melhorar o desempenho da habitação no verão.

Ainda é importante referir o facto da introdução de um sistema mecânico de ventilação e de AQS eficiente poder reduzir ainda mais as necessidades de energia, situação que não foi analisada, face à impossibilidade de definir o sistema no GBS. Mesmo assim, conclui-se que, sempre que possível, deve ser adotado um sistema misto para climatização e AQS, pois tende a ser mais eficiente. Contudo, deve ter-se sempre em consideração fatores como o objetivo do sistema, o clima, o conforto e as características do edifício.

De uma maneira sintética, para atingir um *nearly* ZEB é então necessário intervir, inicialmente, na envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor com o exterior, minorando as necessidades de climatização. Seguidamente, é necessário optar pela utilização de sistemas mecânicos e equipamentos eficientes, de maneira a diminuir as necessidades energéticas da habitação. Por fim, é essencial a presença de uma fonte de energia renovável para tornar o edifício mais sustentável e eficiente, mitigando as suas dependências energéticas.

Concluindo, é possível atingir um edifício de balanço energético quase nulo em edifícios existentes, quando aliadas práticas sustentáveis ao reforço da envolvente, sendo possível diminuir, em aproximadamente 50%, as necessidades globais de energia da habitação.

De realçar a importância da integração de um sistema de energias renováveis, que é essencial neste tipo de edificações eficientes. Por exemplo, um sistema solar térmico ou um sistema fotovoltaico são capazes de produzir, anualmente, mais do que a energia necessária na habitação. Quando existe um excedente de energia elétrica produzida pelo sistema de autoconsumo (nomeadamente nos meses de verão), esta pode ser injetada na rede, mediante a celebração de um contrato com o comercializador de eletricidade (*Net Zero Site Energy*). De referir ainda que a sua integração diminui para cerca de metade o tempo de retorno de um investimento de reabilitação.

Cada vez mais a metodologia BIM tem vindo a afirmar-se no mundo da AEC. Embora não seja muito utilizada para o estudo do desempenho energético em edifícios, o BIM apresenta inúmeras vantagens, quando comparado com modelo tradicional.

A integração da metodologia BIM é mais notória na fase de projeto, pois permite rapidamente comparar as diversas soluções em estudo para o edifício, no que diz respeito a consumo energético, consumo de água, previsão de custos, análise do potencial fotovoltaico e ao cumprimento dos requisitos regulamentares. É assim uma excelente ferramenta que pode auxiliar arquitetos e engenheiros a optar pela melhor solução em estudo, para atingir os objetivos propostos, ainda numa fase preliminar, sem despender demasiado tempo e dinheiro. Na opinião do autor, perante todas as possibilidades que a metodologia BIM permite, esta pode tornar-se, a curto prazo, uma peça fundamental para atingir um ZEB.

Relativamente aos programas utilizados, apesar das várias diferenças entre eles, foi possível realizar uma comparação sustentada, com o GBS a ficar um bocado aquém das expectativas, face à impossibilidade de definir inúmeros parâmetros. Ainda assim, este tipo de programa, baseado na nuvem, não deve ser desprezado, pois o futuro da indústria poderá muito bem ter por base este género de sistema. De realçar que os resultados fornecidos pelo GBS devem ser analisados com ponderação, pois têm em consideração parâmetros que não correspondem à realidade nacional, apenas devendo ser utilizados para comparações relativas entre propostas de intervenção, de maneira a determinar as suas diferenças. Já o DesignBuilder, com a sua interface do EnergyPlus, diversidade e detalhe de parâmetros, fornece resultados muito mais concisos e realistas.

Na opinião do autor, apesar de ambos os programas terem gerado resultados idênticos, no que toca às necessidades de climatização, deve ser sempre utilizado mais do que um programa, de forma a poder comparar e validar os valores obtidos.

### **Perspetivas e Desenvolvimentos Futuros**

A presente dissertação teve como intuito explorar a integração da metodologia BIM na análise do desempenho energético de habitações, para atingir um edifício de balanço energético quase nulo. Este processo ainda é pouco explorado na indústria da construção, mas, a longo prazo, acredita-se que será parte integrante da elaboração de projetos.

Assim, de maneira a que esse processo de integração seja facilitado e célere, sugerem-se algumas propostas para trabalhos futuros:

- Realização de mais estudos sobre o tema, de maneira a destacar a importância da utilização de novas tecnologias, tanto da construção em geral, como no alcance de edifícios de balanço energético nulo;
- Integração da metodologia BIM para análise de desempenho em edifícios complexos e análise das suas limitações;
- Exploração de outros programas de análise de desempenho e de modelação, no contexto da metodologia BIM;
- Realização de estudos com integração de metodologias BIM, em edifícios com características diferentes do apresentado, bem como a análise de estes atingirem um edifício de balanço energético nulo.



## BIBLIOGRAFIA

1. Silva, S.M., et al., *nZEB training needs in the southern EU countries-SouthZEB project*. Latin-American and European Encounter on Sustainable Building and Communities-Connecting People and Ideas, 2015. 3: p. 2469-2478.
2. Almeida, M.G.d., M. Ferreira, and M. Pereira. *Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960*. in *SB13 Portugal–International Conference on Sustainable Building contribution to achieve the EU 20-20-20 targets*. 2013. Multicomp.
3. Bragança, L., R. Mateus, and M. Pinheiro. *Portugal SB13: contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets*. in *International Conference Portugal SB13-contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets*. 2013. Multicomp.
4. Annunziata, E., M. Frey, and F. Rizzi, *Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe*. Energy, 2013. 57: p. 125-133.
5. Recast, E., *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Union, 2010. 18(06): p. 2010.
6. Directive, E., *Directive 2002/91*. EC of the European Parliament and of the Council of, 2002. 16.
7. UNION, P., *DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*. 2009, EC.
8. Ma, Z., et al., *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art*. Energy and buildings, 2012. 55: p. 889-902.
9. Sousa, J.R., S.M. Silva, and M.G.d. Almeida, *Energy rehabilitation of Portuguese residential building stock through its transformation into NZEB*. 2012.
10. *Historic Paris Agreement on Climate Change - <http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/finale-cop21/> [consultado em 19/12/2015]*.
11. Marszal, A.J., et al., *Zero Energy Building—A review of definitions and calculation methodologies*. Energy and Buildings, 2011. 43(4): p. 971-979.
12. Torgal, F.P., et al., *Nearly zero energy building refurbishment*. 2013: Springer.
13. Kurnitski, J., *nZEB definitions in Europe*. REHVA J, 2014.
14. Instituto Nacional de Estatística (INE), I.P., 2013., *Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001-2011 Lisboa - Portugal: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013*. 2013.
15. INE/DGEG, *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. 2011: Lisboa.
16. Santos, M.C.P., *Energy Performance Certification in Portugal as a tool to achieve real energy savings in buildings*. IISBE 2010.
17. Bragança, L., *Cost C16, Improving the Quality of Existing Urban Building Envelopes: Facades and Roofs*. Vol. 4. 2007: IOS Press.
18. Fernandes, D.d.S., *Estudo sobre a realidade da reabilitação de edifícios em Portugal. Abordagem térmico-energética*. 2012.

19. Costa, R.J., et al., *Reabilitação sustentável de edifícios antigos: contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade*. Revista Engenharia Civil, 2014. 49: p. 65-90.
20. Konstantinou, T. and U. Knaack, *Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrades*. Procedia Engineering, 2011. 21: p. 666-675.
21. Galante, A. and G. Pasetti, *A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks*. Sustainable Cities and Society, 2012. 4: p. 12-21.
22. Ferreira, A.R.C.d.S., *Estudo de soluções de otimização para edifícios de balanço energético nulo*. 2012, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
23. Horta, R.M.C., *Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero*. 2012, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
24. Tavares, F.M.L., *Metodologia para edifícios de balanço energético nulo*. 2013, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
25. *Decreto-Lei nº 118/2013 - <https://www.academiaadene.pt/download/pt/decreto-lei-n-1182013-de-20-de-agosto.pdf> [consultado em 02/03/2016]*. 2013.
26. *<http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Projectos/Documents/BCodes-FinancialIncentives.pdf> [consultado em 18/11/2015]*.
27. Lopes, T.F.d.C.T., *Reabilitação sustentável de edifícios de habitação*. 2010, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
28. Bragança, L., *Sustentabilidade o Novo Paradigma do Sector da Construção - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM*. 2007.
29. Cardoso, L.P.S., *Reabilitação sustentável de edifícios anteriores a 1951*. 2013.
30. Bragança, L., *Construção Sustentável - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM*. 2007.
31. Mateus, R. and L. Bragança, *Guia de avaliação SBTool PT-H*. Associação iiSBE Portugal, 2009.
32. Baldwin, R., et al., *BREEAM 98 for Offices*. Building Research Establishment, Watfordt, 1998.
33. Consortium, J.S.B., *CASBEE (comprehensive assessment system for building environmental efficiency) technical manual*. 2007.
34. Council, U.G.B., *Leadership in energy and environmental design (LEED)*. 2007.
35. *Eficiência Energética - <http://www.adene.pt/eficiencia-energetica> [consultado em 22/03/2016]*.
36. Machado, R.A., *Reabilitação de edifícios visando a eficiência energética*. 2014.
37. Lamberts, R., L. Dutra, and F.O.R. PEREIRA, *Eficiência Energética*. 1997: São Paulo: PW Editores.
38. ENERGIA, D.G.D.G.E., *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*. 2004, Lisboa.
39. Ministros, P.d.C.d., *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE)*. 2015.
40. *Qualidade do ar interior (QAI) - <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=319&sub3ref=338> [consultado em 14/04/2016]*.
41. *qualidade do ambiente interior - <https://www.ua.pt/idad/PageText.aspx?id=9186> [consultado em 14/04/2016]*.
42. Pinto, M., J. Viegas, and V. Freitas, *Qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação*. Engenharia e Vida, 2007(37).



43. Silva, S.M., *Qualidade do Ar Interior - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM*. 2013.
44. Hernandez, P. and P. Kenny, *From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)*. Energy and Buildings, 2010. 42(6): p. 815-821.
45. Aelenei, D., L. Aelenei, and H. Gonçalves, *Edifícios de balanço energético nulo: uma síntese das características principais*. Revista Edifícios e Energia, 2013: p. 70-74.
46. Aelenei, L., H. Gonçalves, and C. Rodrigues, *The Road Towards “Zero Energy” in Buildings: Lessons Learned from SOLARXXI Building in Portugal*. 2010.
47. *Energia Inteligente - Solar XXI - <http://www.energiainteligente.pt/2016/05/27/3060/> [consultado em 27/05/2016]*.
48. Dietrich, U., F. Kiehl, and L. Stoica, *Zero-Energy-Urban-Quarters in different climates: Derivation and application of design strategies based on climatic parameters*.
49. Aelenei, L., et al., *Design issues for net zero-energy buildings*. Open House International, 2013. 38(3): p. 7-14.
50. Torcellini, P., et al., *Zero energy buildings: a critical look at the definition*. National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US, 2006.
51. Atanasiu, S., et al., *nZEB criteria for typical single-family home renovations in various countries*. 2013, Intelligent Energy Europe Project COHERENO (Collaboration for housing nearly zero-energy renovation).
52. Almeida, M.G.d., A. Rodrigues, and M. Ferreira, *Cost optimality and nZEB target in the renovation of Portuguese building stock-Rainha Dona Leonor neighborhood case study*. 2013.
53. de Matos, F., *Housing conditions in Portugal*. Bulletin of Geography. Socio-economic series, 2009. 11(11): p. 49-60.
54. ADENE, *10 Soluções para Eficiência Energética - Isolamento de Paredes*. 2016.
55. ADENE, *10 Soluções para Eficiência Energética - Janelas Eficientes*. 2016.
56. ADENE, *10 Soluções para Eficiência Energética - Isolamento de Coberturas*. 2016.
57. Sousa, J., et al., *Research on the Portuguese building stock and its impacts on energy consumption—an average U-value approach*. Archives of Civil Engineering, 2013. 59(4): p. 523-546.
58. Balaras, C.A., et al., *European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings*. Building and Environment, 2007. 42(3): p. 1298-1314.
59. DGEG, *Balanço Energético Sintético*. 2014.
60. DGEG, *National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal*.
61. Couto, J.P., Martins, J, *Tecnologias das Construções - Apontamentos teóricos do MIEC da UM* 2014.
62. Veiga, M.R., *Revestimento de Paredes de Edifícios Recentes - Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)*. 2007.
63. Ferreira, F., *Paredes Exteriores em Edifícios - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM*. 2014.
64. Caus, L.W., *Sistema de fachada ventilada em edificações: características, métodos executivos e aplicações*. 2014.
65. *Coberturas em Edifícios e sua Impermeabilização - <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=468> [consultado em 30/05/2016]*.

66. Ganhão, A.M.G.D., *Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. 2011, FCT-UNL.
67. Sirgado, J., *Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios*. ISTL, 2010.
68. ADENE, *10 Soluções para Eficiência Energética - Proteções Solares*. 2016.
69. ADENE, *10 Soluções para Eficiência Energética - Sistemas Solares Fotovoltaicos*. 2016.
70. *Sistemas solares térmicos* - <http://www.solarwaters.pt/sistemas-solares-termicos-combinados> [consultado em 31/05/2016].
71. *Vantagens e desvantagens da energia de biomassa* - <http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/> [consultado em 31/05/2016].
72. *Bomba de calor* - <http://www.sunproject.pt/bomba-de-calor/> [consultado em 31/05/2016].
73. *Bombas de calor e sistemas de ar condicionado* - <http://www.guiacasaeficiente.com/Aquecedores/BombasCalor.html> [consultado em 31/05/2016].
74. *Vantagens ar condicionado multi-split* - <http://blog.friopecas.com.br/saiba-aqui-quais-sao-as-vantagens-do-ar-condicionado-multi-split/> [consultado em 31/05/2016].
75. *Iluminação Eficiente* - <http://www.solarwaters.pt/iluminacao-eficiente/iluminacao-eficiente> [consultado em 01/06/2016].
76. *Lighting and the Zero Energy goal* - <http://zeroenergyhouse.co.nz/lighting/> [consultado em 01/06/2016].
77. *Auditoria de Iluminação* - <https://energia.edp.pt/particulares/apoio-cliente/auditoria-iluminacao/> [consultado em 01/06/2016].
78. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 80/2006 de, 2006. 4.
79. Macedo, M., *Contributos para a construção de manual de boas práticas para a reabilitação energética de edifícios de habitação*. 2013, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre.
80. *Manual de Boas Práticas - Gestão Energética e de Água dos Edifícios dos Palácios de Justiça* - <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-4gy0MmL57YJ:igfej.mj.pt/PT/Documentacao/DocTecnica/Documents/ManualEficienciaEnergetica-Marco2011.pdf+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt> [consultado em 21/06/2016].
81. Bryde, D., M. Broquetas, and J.M. Volm, *The project benefits of building information modelling (BIM)*. International journal of project management, 2013. 31(7): p. 971-980.
82. Venâncio, M.J.L., *Avaliação da Implementação de BIM - Building Information Modeling em Portugal*. 2015.
83. Eastman, C., et al., *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2011: John Wiley & Sons.
84. Lino, J.C., M. Azenha, and P. Lourenço, *Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas*. BE2012-Encontro Nacional Betão Estrutural, 2012.
85. Azenha, M., J. C. Lino, B. Caires, *Introdução ao BIM - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM*. 2014.
86. Azhar, S., et al., *Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis*. Automation in construction, 2011. 20(2): p. 217-224.

87. Motawa, I. and K. Carter, *Sustainable BIM-based evaluation of buildings*. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013. 74: p. 419-428.
88. Kiani, I. and S.K. Ghomi, *The Barriers and Implementation of Building Information Modeling (BIM) based on Integrated Project Delivery (IPD) In the Construction Industry*.
89. *O paradigma BIM e a normalização como fator de competitividade* - <http://www1.ipq.pt/pt/site/destaques/pages/paradigma-bim-e-a-normalizacao-como-fator-de-competitividade.aspx> [consultado em 02/05/2016].
90. *Green Building Studio Overview* - <http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview> [consultado em 05/05/2016].
91. *DesignBuilder Software Product Overview* - <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/144/223/> [consultado em 05/05/2016].
92. *IES BIM 4 Analysis* - <https://www.iesve.com/bim-4-analysis> [consultado em 05/05/2016].
93. *EnergyPlus* - <https://energyplus.net/> [consultado em 05/05/2016].
94. *EcoDesigner STAR* - [http://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner\\_star/](http://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/) [consultado em 05/05/2016].
95. *Sotecnisol - Tabela de preços: fotovoltaico geral* - [http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas\\_de\\_p\\_reco/fotovoltaico\\_geral.pdf](http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas_de_p_reco/fotovoltaico_geral.pdf) [consultado em 25/06/2016].
96. (IPMA), I.P.d.M.e.d.A., *Precipitação média anual em Portugal (1971-2000)* - [https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=map\\_prec\\_7100.xml](https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=map_prec_7100.xml) [consultado em 24/05/2016].



## ANEXOS

### Anexo I

Na Figura I.1 está apresentada a precipitação média anual em Portugal continental (1971-2000), segundo os dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

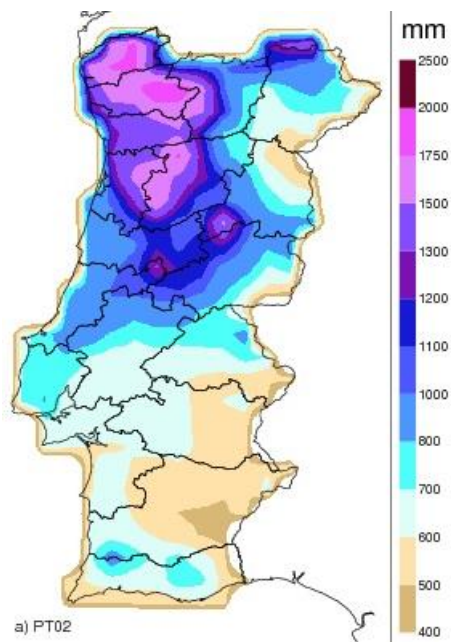


Figura I.1 - Precipitação média anual em Portugal, 1971-2000

(Fonte: [96])

## Anexo II

Tabela II.1 - Área mínima de compartimentos em habitações de acordo com o Artigo 66 do Regulamento Geral das Edificações Urbanas

	Número de compartimentos e tipo de fogo							
	$\frac{2}{T_0}$	$\frac{3}{T_1}$	$\frac{4}{T_2}$	$\frac{5}{T_3}$	$\frac{6}{T_4}$	$\frac{7}{T_5}$	$\frac{8}{T_6}$	Mais de 8 $T_7 > 8$
	Áreas em metros quadrados							
Quarto casal .....	-	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Quarto duplo .....	-	-	9	9	9	9	9	} Restantes quartos de 9 m <sup>2</sup>
Quarto duplo .....	-	-	-	9	9	9	9	
Quarto duplo .....	-	-	-	-	9	9	9	
Quarto simples .....	-	-	-	-	6,5	6,5	6,5	
Quarto simples .....	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5
Sala .....	10	10	12	12	12	16	16	16
Cozinha .....	6	6	6	6	6	6	6	6
Suplemento de área obrigatório .....	6	4	6	8	8	8	10	$(x + 4) \text{ m}^2$ (x = número de quartos)

## Anexo III

Tabela III.1 – Características dos materiais utilizados, com base no ITE 50, publicado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

Material	Condutibilidade térmica (W/m°C)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Tijolo furado	0,54	1550
Granito	2,8	2500
Reboco tradicional (gesso)	0,57	1100
Telha cerâmica	0,92	2000
Alumínio	230	2700
PVC	0,17	1390
EPS = XPS	0,027	35
Reboco não tradicional	0,57	1100
Gesso laminado	0,25	750
Taco de madeira	0,23	750
Ar	0,025	1,2

## Anexo IV

Tabela IV.1 – Coeficientes de transmissão térmica de referência superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados – Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro, alterado pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de Outubro.

$U_{ref}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 1 de janeiro de 2016		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,40	0,35	0,30
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,60	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		
Zona corrente da envolvente:		Regiões Autónomas					
		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}\leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	0,90	0,80	0,70
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,70	0,70	0,60
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Nota: Os requisitos de referência indicados na presente tabela, poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas.

Tabela IV.2 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos – Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro, alterado pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de Outubro.

$U_{m\acute{a}x}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 1 de dezembro 2013		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,75	1,60	1,45
	Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20
Regiões Autónomas				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 1 de dezembro 2013		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,75	1,60	1,45
	Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20



Tabela IV.3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados – Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro, alterado pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de Outubro.

$U_{m\acute{a}x}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,80	2,40	2,20
Regiões Autónomas				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,80	2,40	2,20

Nota 1: Os requisitos indicados na presente tabela, poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas.

Nota 2: O cumprimento dos requisitos previstos ao nível dos vãos envidraçados poderá ser avaliado tendo em conta o contributo de eventuais dispositivos de proteção, podendo nesta circunstância basear-se no respetivo valor de  $U_{w,dp}$ .