

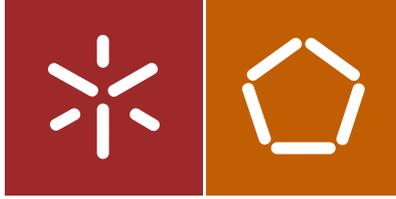


Adriana Sofia dos Santos Pereira

Integração de Sistemas Solares na  
Reabilitação de Edifícios da Década de  
1980 em Portugal para Alcançar os nZEB

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Adriana Sofia dos Santos Pereira

Integração de Sistemas Solares na  
Reabilitação de Edifícios da Década de  
1980 em Portugal para Alcançar os nZEB

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

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

## **AGRADECIMENTOS**

A presente dissertação resulta no culminar do meu percurso académico. Para o seu desfecho houve o envolvimento e o contributo precioso de algumas pessoas. Sendo para elas que dirijo o meu apreço e gratidão.

À minha orientadora, Professora Sandra Silva, a quem agradeço, em especial, a disponibilidade e a paciência demonstrada para me auxiliar a ultrapassar todas as barreiras nesta reta final do meu percurso.

À minha família, o meu porto seguro, agradeço profundamente o facto de estarem sempre disponíveis para me ajudar no que fosse possível, sem vocês nada disto seria possível. E, ainda, à minha segunda família, que me acolheu neste período da minha vida.

Ao Júlio, pelo amor, dedicação, carinho, apoio e pelos momentos de descontração para recarregar baterias. Agradeço-te do fundo do meu coração, tudo o que fazes por mim.

Às minhas velhas amigas e novas amigas, por estarem presentes sempre que eu preciso, para me ouvir, para me fazer rir, para me ajudar, etc. Em especial à Daniela, à Rita e à Cecília, as minhas velhas amigas, à Cátia e à Paula, as novas amigas, que se tornaram principalmente mais próximas nesta fase final, mas a quem devo muito. Obrigada.

Àqueles que, direta ou indiretamente, me ajudaram em momentos de bloqueio, principalmente no início dos trabalhos da dissertação, principalmente ao João e à sua mãe e ao Frederico.



## RESUMO

Sendo os edifícios responsáveis pelo consumo de 40% da energia produzida na UE, a EPBD-recast definiu como metas a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> e das necessidades energéticas do parque edificado, destacando-se o setor habitacional. Os seus objetivos realçam a necessidade do aumento da eficiência energética dos edifícios e a produção de energia a partir de fontes renováveis, surgindo o conceito de nZEB - edifício de balanço energético quase zero.

Dado que o parque habitacional português está envelhecido e foi, na sua maioria, construído antes da entrada em vigor da regulamentação térmica a nível nacional, há a necessidade de preservar e reabilitar os alojamentos, de modo a impedir a sua degradação e melhorar a saúde e bem-estar dos ocupantes, reduzir a pobreza energética das famílias e a exposição do país às variações dos preços da energia.

Assim, é necessário identificar as melhores práticas para reabilitar o parque edificado, para dar resposta aos desafios estabelecidos na EPBD-recast. Que incluem o reforço do isolamento da envolvente e a incorporação de sistemas solares para colmatar as necessidades energéticas.

Neste trabalho foi estudado um edifício de habitação unifamiliar característico de década de 80, definidos dois cenários de reabilitação para a envolvente, redução das necessidades energéticas do edifício, selecionados sistemas técnicos, para produção de AQS e climatização, e sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Por fim, foi feita uma análise de custo ótimo, para verificar qual o melhor cenário em termos de custos de reabilitação associados.

Após o balanço dos resultados obtidos é de realçar que os dois cenários apresentam necessidades energéticas semelhantes, no entanto, no que respeita aos custos associados, destaca-se o sistema ETICS como o mais barato, sendo o cenário mais apreciável.

**Palavras-chave:** EPBD-recast, Edifícios de balanço energético quase nulo, Necessidades energéticas, Sistema Solares Térmico, Sistema Fotovoltaico



## ABSTRACT

Being the buildings responsible for the consumption of 40% of the energy produced in the EU, the EPBD-recast has defined as goals the decrease of the CO<sub>2</sub> emissions and the energy necessities of the edified park, highlighting the housing sector. Its goals highlight the need to increase the energy efficiency of buildings and the production of energy from renewable sources, arising the concept of nZEB – nearly zero energy buildings.

Given that the portuguese housing park is aged and was, in its majority, built before the entry into force of the thermal regulation at national level, there is the need to preserv and rehabilitate the buildings, in way to stop it's degradation and improve the well being and health of the occupants, reduce energy poverty of families and the country's exposure to the variations in energy prices.

Therefore, its necessary to identify the best practices to rehabilitate the edified park to answer the targets established in the EPBD-recast, which includes the reinforcement of the isolation of the surrounding and the incorporation of solar systems to meet the energy needs.

In this work was studied an unifamiliar housing building characteristical of the 80's, defined two rehabilitational scenarios for the surrounding reduction of the energy needs of the building, selected techical systems, to the AQS production and air conditioning and termic solar and photovoltaic systems. At last, it was done an optimal-cost analysis, to verify what is the best scenario in terms of rehabilitation cost associated.

After the results balance it should be noted that the two scenarios present similar energy needs, however in regards to the associated cost, stands out the ETICS system with EPS as the cheapest, being the most praise worthy scenario.

**Keywords:** EPBD-recast, nearly Zero Energy Buildings, Energy Needs, Termic Solar System, Photovoltaic System



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estrutura .....	3
2. REVISÃO DO ESTADO DA ARTE .....	5
2.1. Caracterização do Parque habitacional Português .....	5
2.1.1. Evolução .....	5
2.1.2. Caraterísticas Habitacionais – Condições de habitabilidade .....	7
2.1.3. Estado de Conservação .....	11
2.1.4. Reabilitação .....	12
2.1.5. Panorama da Reabilitação em Portugal .....	13
2.1.6. Consumo energético do parque edificado em Portugal – Setor doméstico .....	17
2.2. Legislação aplicável .....	19
2.3. nZEB – Nearly Zero Energy Buildings .....	22
2.3.1. O que são nZEB? .....	22
2.3.2. O que vai mudar com os nZEB .....	24
2.3.3. Vantagens e desvantagens .....	25
2.3.4. Como alcançar os nZEB .....	26
2.3.5. Importância da reabilitação para alcançar os nZEB .....	28
2.4. Sistemas solares .....	28
2.4.1. Sistemas solares térmicos .....	29
2.4.2. Sistemas solares fotovoltaicos .....	31

3.	METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO .....	35
3.1.	Metodologia.....	35
3.2.	Caso de Estudo.....	36
3.2.1.	Edifício unifamiliar - Guimarães .....	37
3.2.2.	Características construtivas .....	38
3.2.2.1.	Pontes Térmicas .....	42
3.2.2.1.1.	Pontes Térmicas Planas .....	42
3.2.2.1.2.	Pontes Térmicas Lineares .....	42
3.2.3.	Zona climática .....	43
3.2.4.	Zonas e Envolventes .....	46
3.2.5.	Inércia Térmica.....	50
3.2.6.	Preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS .....	51
3.2.7.	Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH.....	53
3.3.	CENÁRIOS DE MELHORIA .....	55
3.3.1.	Elementos Construtivos.....	55
3.3.2.	Sistemas Técnicos .....	65
3.4.	Níveis ótimos de rentabilidade. ....	69
4.1.	Caso de estudo – situação inicial .....	72
4.1.1.	Resultados do preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS.....	72
4.1.2.	Resultados do Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH .....	72
4.2.	Sistemas Solares .....	73
4.2.1.	Solar Térmico – Análise Económica.....	73
4.2.2.	Benefícios Energia - Ambiente.....	74

4.3.	Resultados da Aplicação dos Cenários de Melhoria.....	74
4.3.1.	Resultados do preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS.....	74
4.3.2.	Resultados do Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH .....	75
4.4.	Resultados da Aplicação da Metodologia – Níveis Ótimos de Rentabilidade .....	77
5.1.	Conclusões .....	79
5.2.	Perspetivas para trabalhos futuros .....	81
	BIBLIOGRAFIA .....	83
	ANEXOS .....	91
	Anexo I - Edifícios Residenciais de Referência - Levantamento Dimensional e Sistemas..	93
	Anexo II – Coeficiente de redução de perdas .....	95
	Anexo III – Aplicação LNEC - Ventilação - REH e RECS – Edifício Inicial .....	97
	Anexo IV – Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, de acordo com o REH - Solução Inicial .....	99
	Anexo V - Aplicação LNEC - Ventilação - REH e RECS – Primeiro Cenário .....	103
	Anexo VI - Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, de acordo com o REH – Primeiro Cenário .....	105
	Anexo VII - Aplicação LNEC - Ventilação - REH e RECS – Segundo Cenário.....	106
	Anexo VIII - Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, de acordo com o REH – Segundo Cenário .....	109



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Número de edifícios muito degradados e número de edifícios licenciados para obras de reabilitação (habitação), por município (2001 a 2011).....	16
Figura 2 - Evolução da legislação térmica a nível nacional .....	22
Figura 3 - Definição de nZEB .....	23
Figura 4 - Redução das necessidades energéticas .....	27
Figura 5 - Sistema de Termossifão .....	29
Figura 6 - Esquema de funcionamento de um sistema de circulação forçada.....	31
Figura 7 Figura 11 - Sistema solar fotovoltaico - sistema isolado .....	32
Figura 8 - Esquema de um gerador fotovoltaico e respetivos equipamentos de interface com a rede pública.....	34
Figura 9 - Alçado Sul da moradia.....	37
Figura 10 - Plantas do piso 1 e 2, respetivamente .....	38
Figura 11 - Parede do edifício da década de 80.....	41
Figura 12 - Cobertura do edifício da década de 80.....	41
Figura 13 - Pavimentos do edifício da década de 80.....	41
Figura 14 - Representação do traçado da envolvente do edifício em estudo .....	50
Figura 15 - Parede exterior – Primeiro cenário de melhoria (dimensões em cm) .....	56
Figura 16 - Parede exterior – Segundo cenário de melhoria .....	57
Figura 17 - Solução de melhoria – Pavimento exterior .....	59
Figura 18 - Solução de melhoria – Pavimento R/C .....	60
Figura 19 - Solução de melhoria - Cobertura .....	61
Figura 20 - Solução de melhoria – Pavimento interior.....	62
Figura 21 - Solução de melhoria – Paredes interiores .....	63
Figura 22 – Bomba de calor (SolarWaters, n.d.-a).....	68



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Número de edifícios clássicos por estado de conservação (2001 a 2011) .....	13
Tabela 2 - Número e proporção de edifícios clássicos por estado de conservação e tipo de utilização (2001 a 2011) .....	14
Tabela 3 - Número de edifícios licenciados para obras de reabilitação nas cinco regiões NUTSIII, em habitações (2001 a 2011) .....	15
Tabela 4 - Características dos vãos envidraçados do edifício de referência .....	40
Tabela 5 - Determinação do valor das Pontes Térmicas Lineares.....	43
Tabela 6 - Número de Graus-Dias (GD) .....	44
Tabela 7 - Duração da Estação de Aquecimento (M).....	45
Tabela 8 - Temperatura exterior média do mês mais frio ( $\theta_{ext, i}$ ).....	45
Tabela 9 - Temperatura média exterior ( $\theta_{ext, v}$ ).....	45
Tabela 10 - Excerto da Tabela 22 do Despacho N.º 15793-K/2013 relativa ao coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis .....	47
Tabela 11 - Coeficiente de redução de perdas do ENU – Desvão Sanitário .....	49
Tabela 12 - Classe de Inércia Térmica .....	51
Tabela 13 - Preenchimento da folha de cálculo – Aspectos relativos ao enquadramento do edifício .....	52
Tabela 14 - Parede exterior – Primeiro cenário de melhoria.....	56
Tabela 15 - Parede exterior – Segundo cenário de melhoria.....	57
Tabela 16 - Solução de melhoria – cobertura exterior - varanda.....	58
Tabela 17 - Solução de melhoria – Pavimento R/C .....	60
Tabela 18 - Solução de melhoria - Cobertura.....	61
Tabela 19 - Solução de melhoria – Pavimento interior .....	62
Tabela 20 – Solução de melhoria – Parede Interior.....	63
Tabela 21 – Características dos vãos envidraçados.....	64
Tabela 22 – Orçamentação da solução de base .....	70
Tabela 23 – Orçamentação do cenário 1 – ETICS com EPS.....	71
Tabela 24 - Orçamentação do cenário 2 - ICB .....	71
Tabela 25 - Resultados obtidos para a ventilação do edifício em estudo .....	72
Tabela 26 - Resultados obtidos através do preenchimento da folha de cálculo .....	73

Tabela 27 - Resultados obtidos para a ventilação dos cenários em estudo .....	75
Tabela 28 – Resultados do preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento e Energético de Edifícios - REH.....	76
Tabela 29 - Comparação dos custos associados às intervenções.....	77
Tabela 30 – Resultados da aplicação da metodologia .....	78

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas no período entre 1970 a 2011 .....	6
Gráfico 2 - Taxas de crescimento dos alojamentos familiares e de famílias clássicas no período entre 1970 a 2011 .....	6
Gráfico 3- Forma de ocupação dos alojamentos familiares - 2011 .....	7
Gráfico 4 - Forma de ocupação dos alojamentos familiares - 2011 .....	8
Gráfico 5- Proporção de alojamentos familiares de residência habitual por tipo de infraestrutura/equipamento – 2011 .....	8
Gráfico 6 - Estrutura do parque habitacional português por época de construção .....	9
Gráfico 7 - Revestimentos exteriores de paredes predominante em Portugal, por época de construção.....	10
Gráfico 8 - Coberturas de edifícios em Portugal por época de construção .....	11
Gráfico 9 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação - 2011 .....	11
Gráfico 10 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação .....	12
Gráfico 11 - Evolução dos edifícios e fogos licenciados, em obras de reabilitação (%) - 2011 a 2011 .....	12
Gráfico 12 - Proporção de alojamentos familiares clássicos por estado de conservação do edifício e forma de ocupação (2001 a 2011) .....	15
Gráfico 13 - Consumos de energia por setor .....	17
Gráfico 14 - Resultados do ICESD referente a 2010 relativamente ao tipo de fonte de energia .....	18
Gráfico 15 - Contribuição para o consumo total de energia no alojamento .....	19



## ÍNDICE DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AC – Corrente alternada (do inglês “Alternating Current”)

ADENE - Agência para a Energia

AQS – Água quente sanitária

DC – Corrente contínua (do inglês “Direct Current”)

DL – Decreto Lei

E - Este

EM – Estados Membros

ENU – Espaço não útil

EPBD-recast – Diretiva 2010/31/EU - Diretiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios – reformulada (do inglês “Energy Performance in Buildings Directive”)

EU – Espaço útil

GD - Graus-Dias

ICS – Sistema de coletor e depósito integrado

ICESD – Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico

IHRU – Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana

INE – Instituto Nacional de Estatística

M – Duração da estação de aquecimento

MPP – Máxima potência (do inglês Maximum Power Point)

N - Norte

NUTS III - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III

nZEB – Edifício de balanço energético quase nulo (“Nearly-Zero Energy Buildings”)

O - Oeste

PORDATA – Base de dados Portugal Contemporâneo

REH – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação

S - Sul

tep – tonelada equivalente de petróleo

UE – União Europeia

$\theta_{ext,i}$  – Temperatura média do mês mais frio

$\theta_{ext,V}$  – Temperatura média exterior



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

O parque habitacional português apresenta-se num estado de conservação que requer intervenções de reabilitação, uma vez que, na sua maioria foi construído antes da entrada em vigor da regulamentação térmica a nível nacional, apresentando-se envelhecido (INE,2013). Em complemento, verifica-se o decréscimo da construção de habitação nova assim, a reabilitação tem vindo a afirmar-se no setor da construção.

Tendo como base os resultados dos censos referentes ao período de 2001 a 2011, é evidenciado que dos 3 544 389 edifícios existentes no parque habitacional português, cerca de 39% necessitam de intervenções, dos quais 17% precisam de pequenas reparações, 7% médias reparações, 3% grandes reparações e 2% encontram-se em estado muito degradado (INE, 2011).

Uma vez que não há necessidade de construir mais alojamentos, há a necessidade de preservar e reabilitar para impedir a sua degradação. Havendo uma preocupação crescente com as condições das habitações, de modo a proporcionar maior conforto aos seus habitantes (INE, 2012). No período referente a 2001-2011, é evidenciada uma tendência decrescente nas obras de reabilitação licenciadas, para habitação, no entanto o número acumulado de edifícios reabilitados proporcionou a redução da proporção de edifícios de habitação muito degradados (INE, 2011).

O setor da construção é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia produzida na União Europeia e consequentemente pelos problemas ambientais associados às suas atividades (Griffiths et al., 2011). Surgindo continuamente regulamentos com vista a melhorar a qualidade das construções novas e das existentes, nomeadamente no que respeita às necessidades energéticas e consequentemente a emissão de uma menor quantidade de gases de efeito de estufa para a atmosfera, através da incorporação de estratégias e tecnologias associadas a fontes de energia renováveis (Aires, 2015), podendo esta ser produzida por sistemas solares.

A diretiva Europeia EPBD, revista em 2010, realçada a necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e a diminuição do consumo de energia por parte dos edifícios, promovendo a utilização de energia proveniente de fontes renováveis (Griffiths et al., 2011)(EU, 2010). Apresentando como metas, em matéria de edifícios com necessidades quase nulas de energia, até finais de 2018, os edifícios públicos novos, e até finais de 2020, todos os edifícios novos devem ter um consumo quase nulo de energia. No entanto, para que as metas 20-20-20 sejam alcançadas, uma vez que o parque edificado não é substituído, é necessário que os edifícios sejam reabilitados para níveis de eficiência elevados, ou seja nZEB (Comissão Europeia, n.d.).

Este tipo de edifícios tem ganho popularidade e relevo, apesar de ainda ser um conceito pouco comum, devido ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis e aos avanços tecnológicos e, ainda, à diminuição do custo das tecnologias alternativas para a produção de energia limpa (Ceramics, 2015). Este conceito torna-se essencial para a redução do consumo de energia por parte dos edifícios, através da atuação na sua envolvente e na colmatação das necessidades de energia através de fontes renováveis (Costa, 2014).

## **1.2. Objetivos**

A presente dissertação apresenta como principal foco os edifícios residenciais com consumo de energia quase nulo. Sendo selecionado um edifício de habitação unifamiliar que será alvo de reabilitação, sendo estudados diferentes cenários de reabilitação e estratégias, que em conjunto permitam, essencialmente, a melhoria do desempenho da envolvente do edifício, possibilitando a diminuição das necessidades de energia durante o período de ocupação do edifício, e da incorporação de sistemas solares, que irão privilegiar a produção de energia através de fontes renováveis, que possam colmatar as necessidades energéticas existentes.

Para que seja possível alcançar este objetivo será necessário desenvolver e aprofundar determinados aspetos, como:

- Contextualizar as características do parque habitacional português e a importância da reabilitação no panorama existente;
- Levantamento da legislação essencial necessária para a reabilitação e os nZEB;
- Analisar as soluções de custo ótimo para a reabilitação de edifícios no contexto dos nZEB, reforçando a promoção de edifícios energeticamente eficientes;

- Selecionar, caracterizar e analisar um edifício representativo da década de 80, tendo em vista a determinação das suas necessidades energéticas;
- Estudar cenários de reabilitação para a envolvente do edifício;
- Definir os sistemas solares necessários, a sua localização e orientação, para que as necessidades energéticas após a reabilitação sejam satisfeitas através de energia produzida no local. Tendo em conta que a sua integração deve ser executada para que haja harmonia com a envolvente;
- Avaliar qual é o cenário de reabilitação que proporciona melhores resultados.

Os nZEB surgem como uma forma de diminuir o consumo dos combustíveis fósseis, em detrimento da utilização de fontes renováveis de energia, para assegurar as, quase nulas, necessidades de energia do edifício.

### **1.3. Estrutura**

A presente dissertação está dividida em sete capítulos, de modo a permitir maior facilidade de consulta, leitura e, ainda, compreensão.

O primeiro capítulo desta dissertação expõe o enquadramento do tema abordado, bem como a respetiva motivação. Sendo apresentado de forma sucinta o estado do parque habitacional português e a necessidade de reduzir o consumo energético e de emissão de gases de efeito de estufa, bem como o importante papel das energias renováveis. Apresenta, ainda, a referência aos objetivos e forma de organização da dissertação.

No segundo capítulo, que diz respeito à revisão do estado da arte, pode encontrar-se, de uma forma mais aprofundada, a caracterização do parque habitacional português, o levantamento da legislação aplicável à temática em análise, a apresentação do conceito de edifícios nZEB e, ainda, uma breve análise dos sistemas solares disponíveis para a integração nos edifícios.

No terceiro capítulo é apresentada a descrição detalhada da metodologia desenvolvida para atingir os objetivos definidos, a obtenção de um edifício de habitação unifamiliar com características de um edifício nZEB. No presente capítulo é também apresentado o caso de estudo e as suas características. É destacado, ainda, o processo de determinação das necessidades

energéticas associadas ao edifício em estudo. Uma vez apresentado e caracterizado, são apresentadas as medidas de melhoria a aplicar na habitação, quer ao nível da envolvente quer ao nível de sistemas técnicos.

No terceiro capítulo pode ainda encontrar-se a análise dos níveis ótimos de rentabilidade, que permitem avaliar, numa segunda perspetiva, as soluções apresentadas para a reabilitação do caso de estudo

No capítulo quatro são apresentados os resultados do preenchimento da folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de habitação, obtidos associadas aos dois cenários de reabilitação, e os resultados da análise dos níveis ótimos de rentabilidade.

Por último, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões que resultam da análise detalhada e da discussão dos resultados decorrentes do caso de estudo. Para além disto, são apresentadas sugestões de trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO DO ESTADO DA ARTE**

### **2.1. Caracterização do Parque habitacional Português**

#### **2.1.1. Evolução**

O recenseamento geral da habitação, realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) é fundamental para a contextualização global do parque habitacional existente, fornecendo informações valiosas sobre o tipo de propriedades, forma de ocupação, conservação e características (INE, 2011). No entanto este estudo não é realizado por técnicos com conhecimento na área da construção, sendo os dados obtidos por observação dos edifícios e por inquéritos aos ocupantes.

Da análise, relativamente à evolução do número de alojamentos, verifica-se que o número de alojamentos ultrapassa a evolução do número de famílias portuguesas, bastante diferente da situação desejada, onde se verificasse um equilíbrio ente a evolução das dinâmicas habitacionais e do número de famílias clássicas. O mais próximo do desejado verifica-se em 1981, Gráfico 1, onde a disparidade de alojamentos familiares e de famílias clássicas é menor, mais equilibrada (INE, 2011).

No Gráfico 1 é apresentada evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas no período entre 1970 a 2011, onde é visível o aumento do número de habitações em relação ao número de famílias, que em 2011 se verifica que o número de alojamentos são mais 2 000 000 relativamente ao número de famílias (INE, 2011).

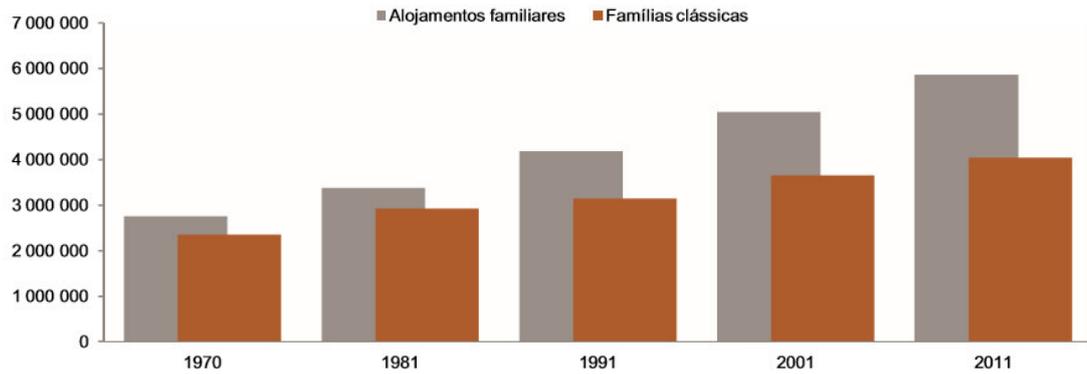


Gráfico 1 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas no período entre 1970 a 2011 (INE, 2011)

O Gráfico 2 mostra que, na década de 80 a 90, há um aumento do número de residências disponíveis, proporcionando as residências secundárias, verificando-se o aumento do acesso à propriedade, para uma grande parte das famílias, mantendo-se este cenário até 2011, data dos últimos sensos.

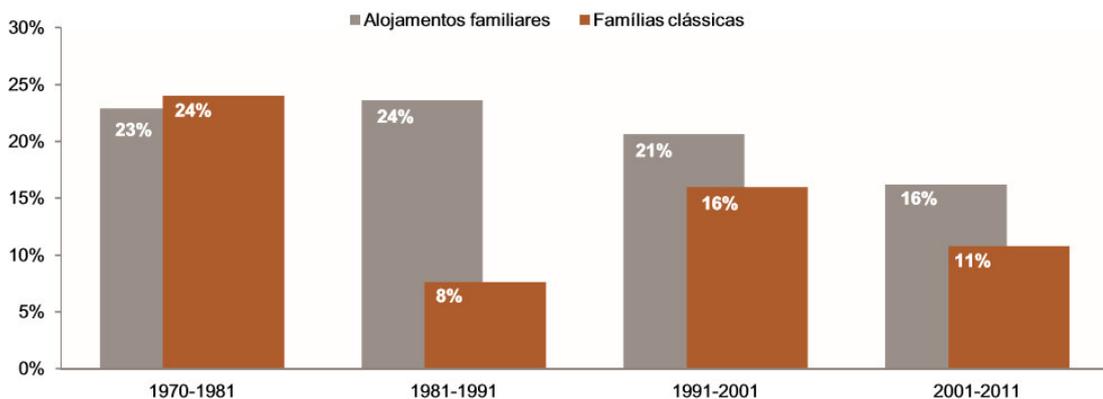


Gráfico 2 - Taxas de crescimento dos alojamentos familiares e de famílias clássicas no período entre 1970 a 2011 (INE, 2011)

É de realçar que, tal como se pode observar no Gráfico 2, nas últimas três décadas o crescimento dos alojamentos tem sido bastante superior ao crescimento das famílias clássicas, proporcionando o desequilíbrio entre o número de famílias e alojamentos disponíveis (INE, 2011).

O Gráfico 3 realça a forma de ocupação dos alojamentos familiares, referentes ao ano de 2011.

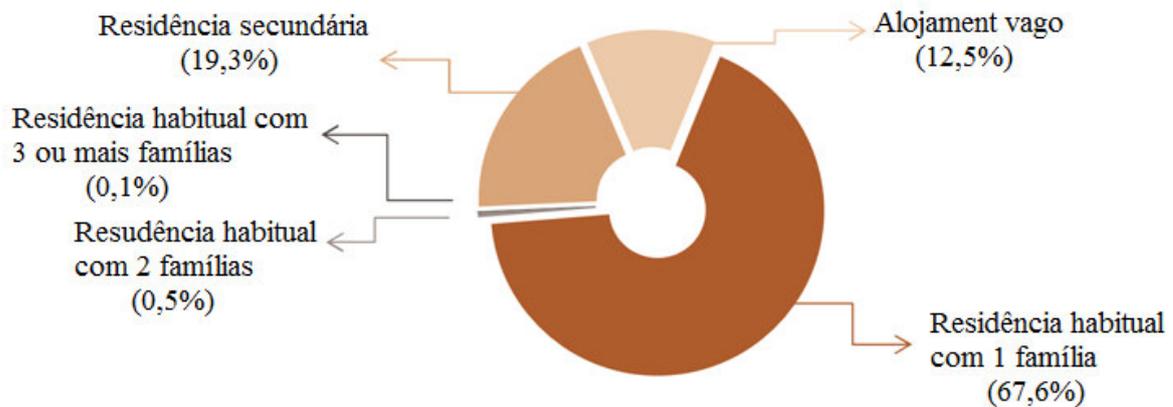


Gráfico 3- Forma de ocupação dos alojamentos familiares - 2011 (INE, 2011)

Sendo notório que, como ilustra o Gráfico 3, em 2011, 67,6% são alojamento de residência habitacional com uma família, 19,3% se destina a residência secundária e que 12,5% dos alojamentos estão vagos.

### 2.1.2. Características Habitacionais – Condições de habitabilidade

Através dos resultados dos censos é possível verificar as carências do parque habitacional Português, podendo estas ser classificadas a nível quantitativo e a nível qualitativo. O conceito de necessidades habitacionais permite incluir as necessidades que resultam da inexistência de habitação/abrigo, podendo através destes dados fazer-se uma análise quantitativa, e ainda, devido à insatisfação face às condições da habitação pode elaborar-se uma análise qualitativa (Jardim, 2009).

A carência habitacional a nível quantitativo em 2011 era de 132 656 alojamentos, menos de 22% comparativamente com os valores de 2001 (INE, 2012). Esta diminuição das carências habitacionais ocorreu em todas as regiões, exceto na região do Algarve em que esta situação se manteve estável. Apesar de o número de famílias clássicas ter sofrido um aumento significativo, o que provoca o aumento da reserva mínima do mercado da habitação, denotou-se a redução das carências quantitativas, influenciadas pelo decréscimo dos alojamentos não clássicos (barraca/casa rudimentar de madeira, móvel, improvisado em edifício e em outro local habitado) (INE, 2012).

O Gráfico 4 mostra as carências habitacionais a nível quantitativo (para os 132 656 alojamentos existentes no ano de 2011).



Gráfico 4 - Forma de ocupação dos alojamentos familiares - 2011 (INE, 2011)

A nível qualitativo as condições habitacionais são mais preocupantes (Gráfico 5), uma vez que não há necessidade de construir mais alojamentos, mas a de preservar e reabilitar o parque habitacional existente, de modo a prevenir a sua degradação, proporcionando condições mínimas de conforto (INE, 2011).

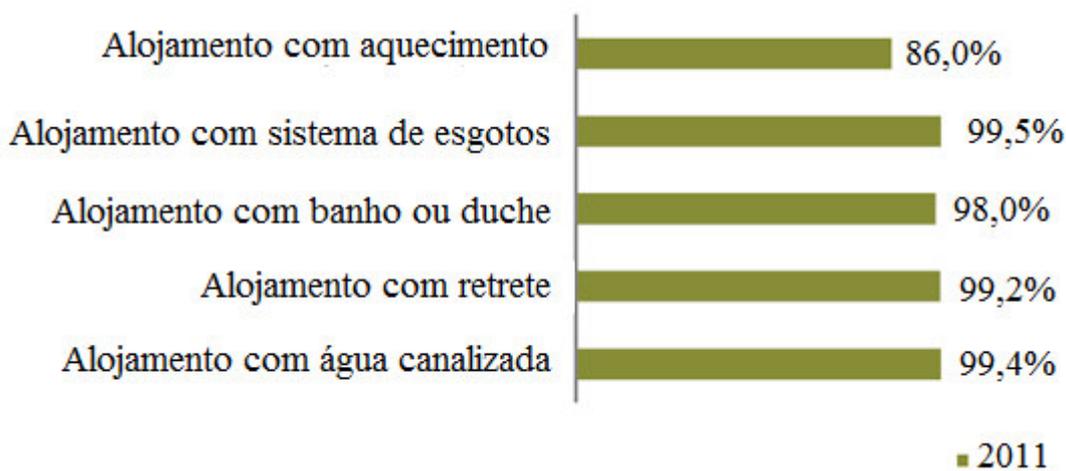


Gráfico 5- Proporção de alojamentos familiares de residência habitual por tipo de infraestrutura/equipamento – 2011 (INE, 2011)

De acordo com os dados dos censos de 2011, cerca 99,4% dos alojamentos familiares de residência habitual em Portugal dispunham de água canalizada (10% apresentavam um sistema de abastecimento ligado a uma rede privada, e, entre aqueles que não apresentam água canalizada, 92% são alojamentos clássicos) (INE, 2011). Menos de 1% dos alojamentos não

dispunham de retrete, sendo 92%, dos que não aprestavam retrete são alojamentos clássicos. No que respeita a instalações de banho ou duche correspondem a 98% dos alojamentos familiares, onde nos 2% que não apresentam este tipo de instalação 97% correspondem a alojamentos clássicos. E ainda, cerca de 0,5% dos alojamentos não dispunham de sistema de esgotos, sendo que, dos que não apresentam este tipo de infraestrutura 90% correspondiam a alojamentos clássicos (INE, 2011).

No que respeita a climatização, existe um crescimento de alojamentos com disponibilidade de aquecimento, sendo em 2001 78%, passando para 86% em 2011, estando associado, em grande parte, ao aquecimento central (INE, 2011).

### 2.1.2.1. Estrutura

No território português predominam edifícios com estrutura de betão armado, ou paredes de alvenaria com placa. Sendo apresentadas as características da estrutura através do Gráfico 6, classificadas para uma época de construção, pode evidenciar-se, pelos dados do INE, que ao longo dos anos a construção em betão armado tem sofrido um progressivo crescimento, passando de cerca de 17% no período entre 1919 a 1945 até 67% no período de 2001 a 2011.

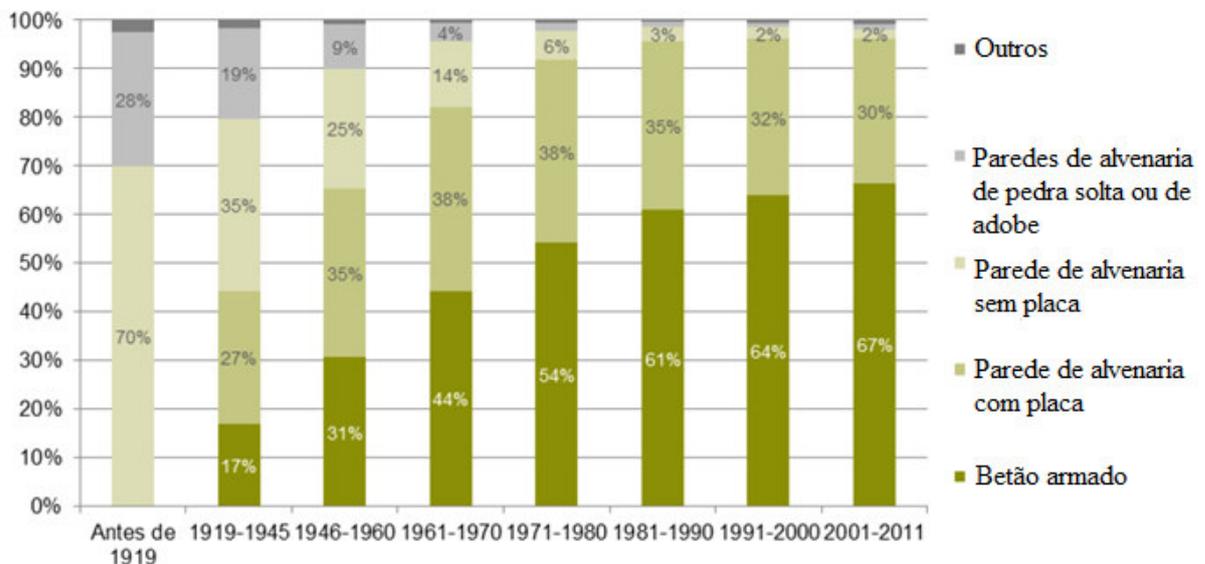


Gráfico 6 - Estrutura do parque habitacional português por época de construção (Branco, 2013)

### 2.1.2.2. Revestimento Exterior de paredes

O revestimento exterior de paredes, na maioria dos edifícios, corresponde a um reboco tradicional ou marmorite em pedra, como se pode verificar através do Gráfico 7. Realçando-se o aumento progressivo do reboco tradicional ou marmorite, 60% antes de 1919, até 1990, cerca de 91%, estabilizando nas épocas seguintes.

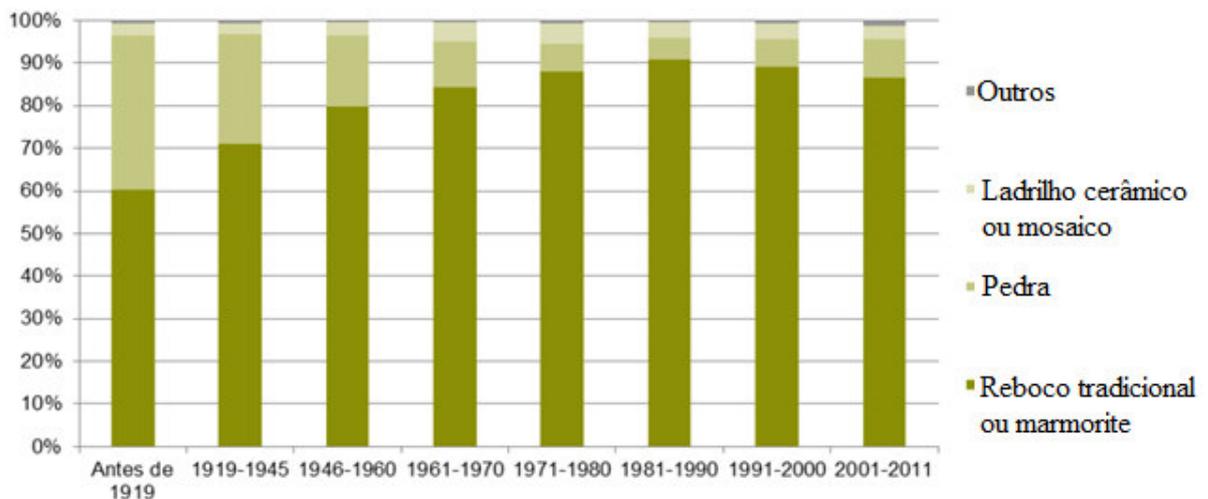


Gráfico 7 - Revestimentos exteriores de paredes predominante em Portugal, por época de construção (Branco, 2013)

### 2.1.2.3. Coberturas

Em Portugal, a grande maioria dos edifícios apresenta cobertura inclinada revestida a telha, cerâmica ou de betão, denotando-se, através do Gráfico 8 que a proporção de edifícios com cobertura inclinada revestida a telha sofreu uma diminuição, passando de 97% para 88% na última década.

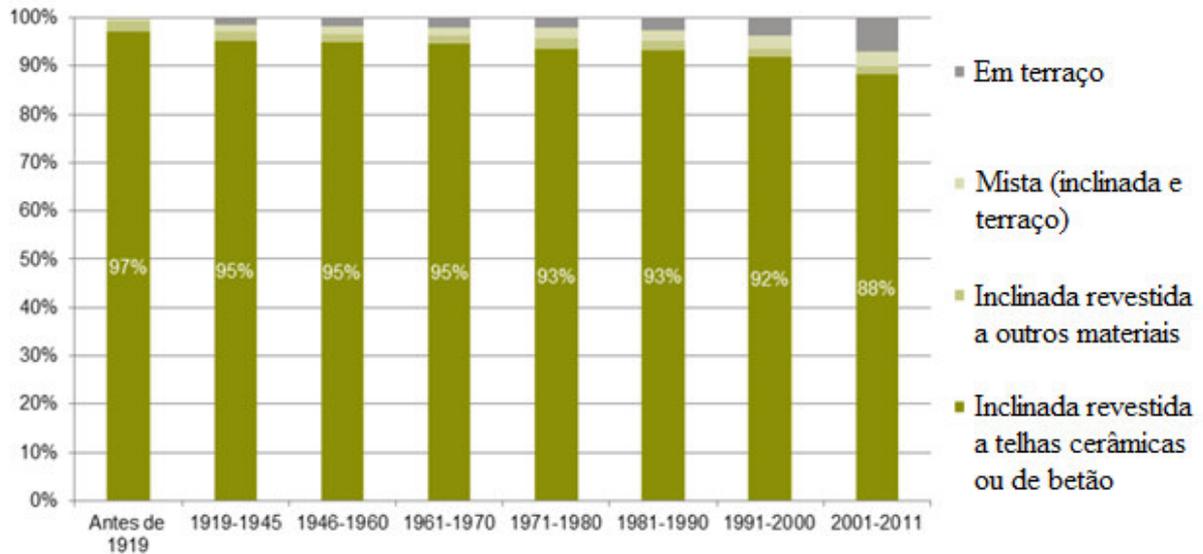


Gráfico 8 - Coberturas de edifícios em Portugal por época de construção (Branco, 2013)

### 2.1.3. Estado de Conservação

Dos 3 544 389 edifícios do parque habitacional, cerca de 71% não necessitam de reparação, havendo necessidade de intervir nos restantes (17% necessita de pequenas reparações, 7% médias reparações, 3% grandes reparações e 2% se encontravam muito degradados), sendo as intervenções/reparações necessárias ao nível da cobertura, estrutura, paredes e caixilharia (Gráfico 9).

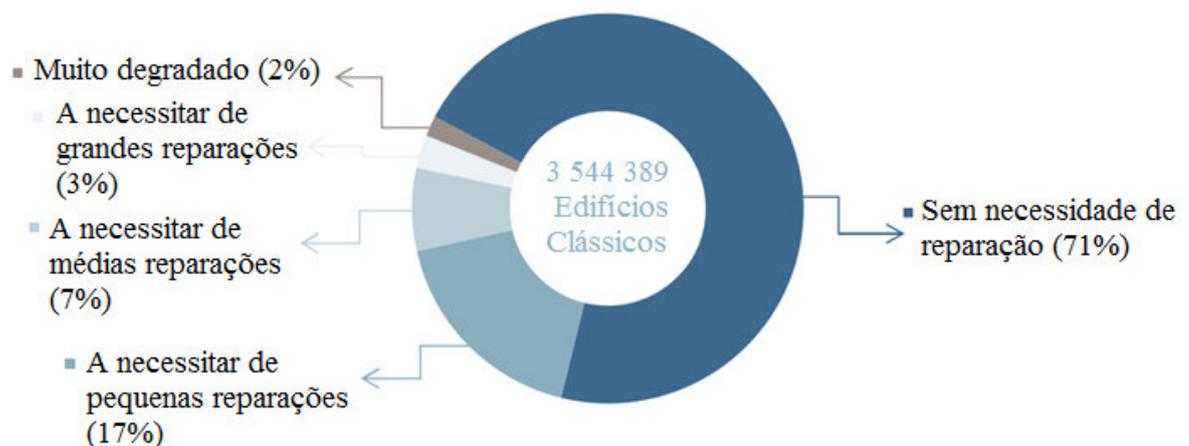


Gráfico 9 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação - 2011 (INE, 2011)

No Gráfico 10 apresenta-se a proporção de edifícios clássicos, correspondentes a uma dada época de construção, com a indicação do estado de conservação dos mesmos (INE, 2011).

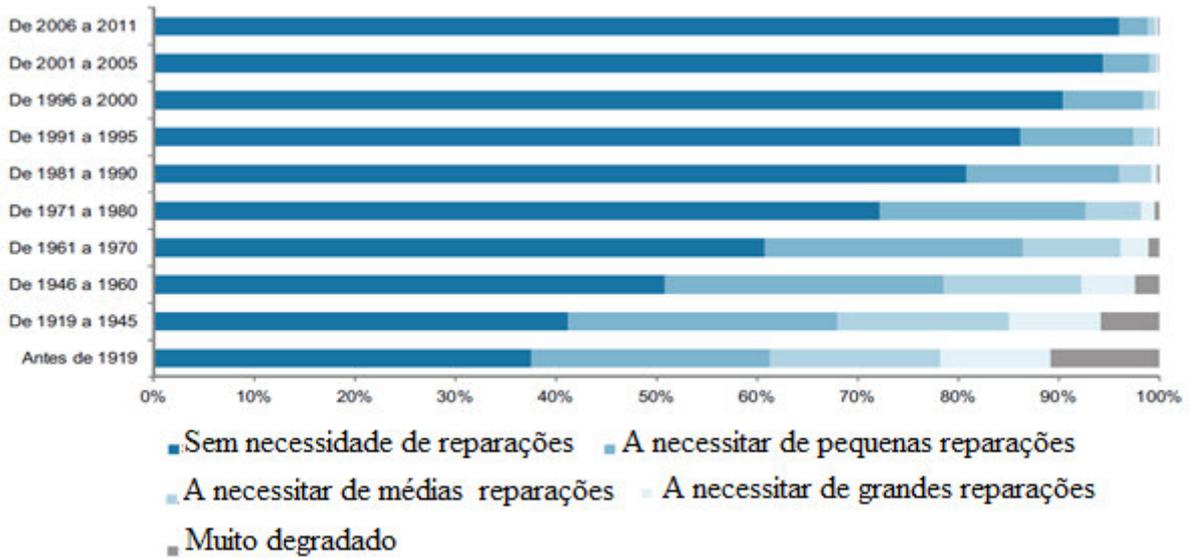


Gráfico 10 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação (INE, 2011)

### 2.1.4. Reabilitação

Tem-se verificado, nos últimos anos, a crescente importância da reabilitação face às obras de construção nova, tanto em ampliações como alterações e reconstrução, sendo de denotar, através do Gráfico 11, a sua evolução entre o período de 2001 a 2011.

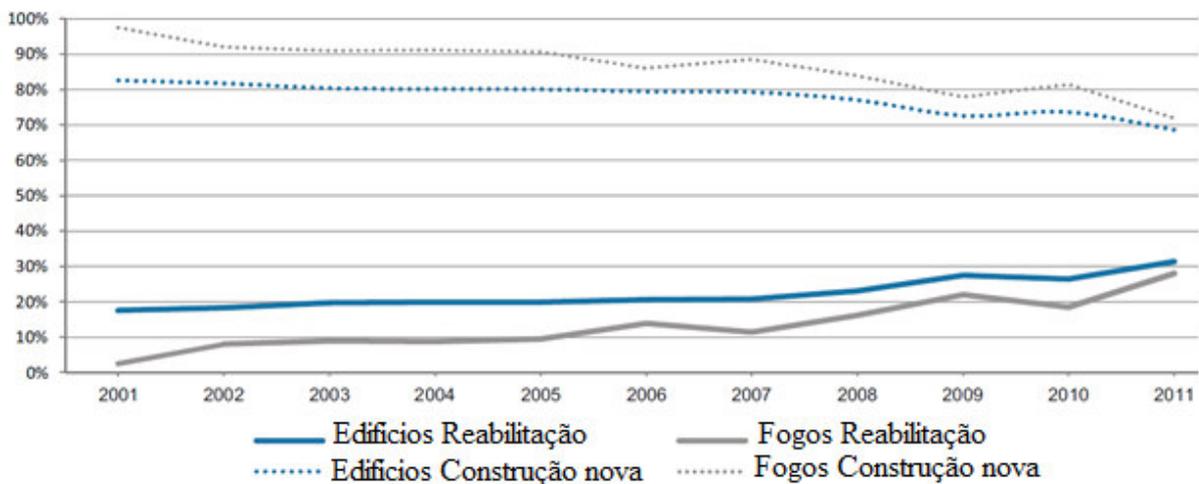


Gráfico 11 - Evolução dos edifícios e fogos licenciados, em obras de reabilitação (%) - 2001 a 2011 (INE, 2011)

Como se pode observar, através do Gráfico 14, de 2001 a 2011 há o aumento da reabilitação em detrimento da construção nova. Em 2001 os edifícios licenciados em obras de reabilitação

correspondiam a 16,9% da totalidade dos edifícios licenciados, e ainda, que os fogos licenciados em obras de reabilitação correspondiam apenas a cerca de 2,5% do total (INE, 2011). No entanto em 2011 verifica-se que os primeiros aumentaram para um valor que ronda os 31,4% e os segundos para 28%. Verificando-se a crescente consciencialização da importância da reabilitação, associada a uma quebra no licenciamento de novas construções (INE, 2011).

### 2.1.5. Panorama da Reabilitação em Portugal

Entre 2001 e 2011 verificou-se um decréscimo de 36% no número de edifícios muito degradados e 40,4% no número de edifícios com necessidades de grandes reparações (INE, 2013). Sendo as regiões que apresentam o maior número de obras de reabilitação licenciadas, neste período, a Grande Lisboa, Tâmega e Algarve (INE, 2013).

Tendo em consideração um aumento de cerca de 12,2% de edifícios clássicos, cuja estrutura e materiais utilizados apresentam caráter não precário e com uma duração de pelo menos 10 anos, entre 2001 e 2011, permitindo verificar um decréscimo de 36% no número de edifícios clássicos muito degradados e de 40,4% de edifícios clássicos com necessidades de reparação, evidenciando a diminuição do mau estado de conservação do edificado (INE, 2013).

Através da Tabela 1 é possível observar a evolução do estado de conservação dos edifícios clássicos de 2001 até 2011.

Tabela 1 - Número de edifícios clássicos por estado de conservação (2001 a 2011) (INE, 2013)

Estado de conservação	Edifícios clássicos		
	2001	2011	Variação
	N.º		%
Sem necessidade de reparação	1 868 342	2 519 452	34,8
Com necessidade de reparação	1 199 336	965 782	-19,5
Pequenas reparações	706 716	624 322	-11,7
Reparações médias	329 605	244 303	-25,9
Grandes reparações	163 015	97 157	-40,4
Muito Degradados	92 365	59 155	-36
<b>TOTAL</b>	<b>3 160 043</b>	<b>3 544 389</b>	<b>12,2</b>

Pela informação apresentada na Tabela 1 é possível constatar que o número de edifícios clássicos que não apresentam necessidades de reparação aumentou 34,8%. Em 2011, 64,6%, dos edifícios com necessidade de reparação, necessitava apenas de pequenas reparações, correspondendo em 2001 a 58,9% (INE, 2013).

No que respeita ao estado de conservação, relativamente ao tipo de edifício, a maior proporção de edifícios sem necessidade de reparação são edifícios clássicos, com três ou mais alojamentos familiares (71,6%), seguindo-se os edifícios clássicos, com um ou dois alojamentos familiares (71,1%), distinguindo-se os edifícios isolados, onde 72,9% não necessitam de reparação (INE, 2013).

Tendo em conta o tipo de utilização, os edifícios exclusivamente residenciais encontram-se em melhor estado de conservação. Tendo-se verificado um decréscimo de 2001 para 2011 de edifícios com necessidade de reparação ou muito degradados, verificando-se também este decréscimo nos edifícios não residenciais (Tabela 2) (INE, 2013).

Tabela 2 - Número e proporção de edifícios clássicos por estado de conservação e tipo de utilização (2001 a 2011) (INE, 2013)

Estado de conservação	Edifícios exclusivamente residenciais				Edifícios principalmente residenciais				Edifícios principalmente não residenciais			
	2001		2011		2001		2011		2001		2011	
	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%	N.º	%
Sem necessidade de reparação	1 703 650	59	2 353 618	71	147 345	62	148 392	69,6	17 347	52,5	17 442	66,5
Com necessidade de reparação	1 098 019	38	895 470	27	87 529	37	62 098	29,1	13 788	41,7	8 214	31,3
Muito degradado	85 636	3	55 974	1,7	4 834	2	2 600	1,2	1 895	5,7	581	2,2
<b>TOTAL</b>	<b>2 887 305</b>	<b>100</b>	<b>3 305 062</b>	<b>100</b>	<b>239 708</b>	<b>100</b>	<b>213 090</b>	<b>100</b>	<b>33 030</b>	<b>100</b>	<b>26 237</b>	<b>100</b>

Como se pode verificar através da análise do Gráfico 12, de 2001 para 2011 houve um aumento na proporção de alojamentos familiares clássicos - residência habitual - localizados em edifícios que não apresentam necessidades de reparação, passando de 62,4% em 2001 para 75,1% em 2011. E, ainda, a redução de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios muito degradados.

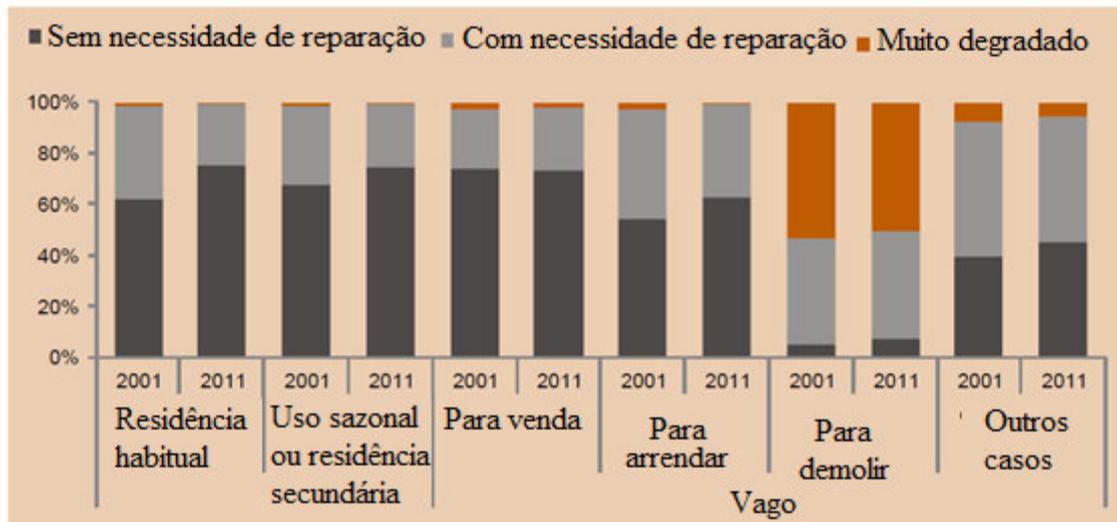


Gráfico 12 - Proporção de alojamentos familiares clássicos por estado de conservação do edifício e forma de ocupação (2001 a 2011) (INE, 2013)

No que respeita a alojamentos familiares clássicos vagos, os que se destinam a venda são os que se localizam em edifícios em melhor estado de conservação.

Entre 2001 e 2011 as regiões NUTS III de Grande Lisboa, Tâmega e Algarve apresentavam o maior número de edifícios com obras de reabilitação licenciadas (apenas habitação). Evidenciado através dos valores apresentados na Tabela 3 (INE, 2013).

Tabela 3 - Número de edifícios licenciados para obras de reabilitação nas cinco regiões NUTSIII, em habitações (2001 a 2011) (INE, 2013)

Ranking	2001-2011		
	NUTS III	N.º Edifícios	%
1	Grande Lisboa	7 585	10,2
2	Tâmega	6 436	8,7
3	Algarve	5 729	7,7
4	Dão-Lafões	3 841	5,2
5	Douro	3 785	5,1

No período de 2001 a 2011, realça-se uma tendência decrescente nas obras de reabilitação licenciadas (habitação), correspondendo a 8,4% em 2001 e 8,3% em 2011. O decréscimo de edifícios muito degradados foi acompanhado de uma redução no número de edifícios reabilitados (INE, 2013). O número acumulado de edifícios reabilitados, somente no que

respeita a edifícios de habitação, entre o período referido anteriormente, permitiu a redução da proporção de edifícios muito degradados (INE, 2013).

A maioria dos edifícios muito degradados, em 2011, localizam-se nos municípios de Lisboa, Porto, Vila Nova de Gaia, Leiria e Coimbra. Em contrapartida, os municípios que apresentam um maior número de edifícios com obras de reabilitação licenciadas, no que respeita a edifícios de habitação, entre 2001 e 2011, são o município de Cascais, Lisboa, Porto, Guimarães e Amarante. Pode verificar-se a relação do número de edifícios muito degradados, comparativamente com o número de edifícios licenciados para obras de reabilitação através da Figura 1 (INE, 2013).

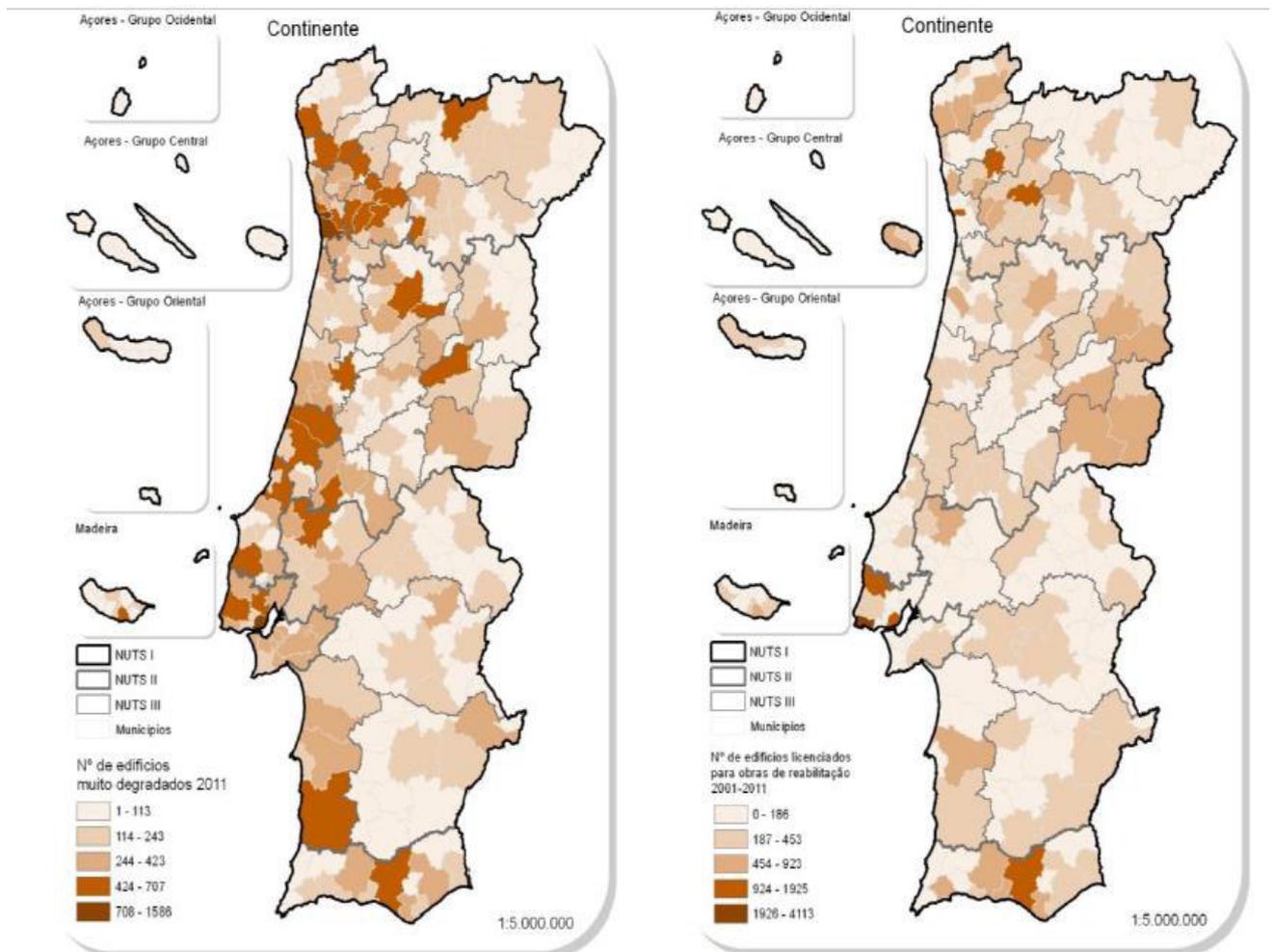


Figura 1 - Número de edifícios muito degradados e número de edifícios licenciados para obras de reabilitação (habitação), por município (2001 a 2011) (INE, 2013)

## 2.1.6. Consumo energético do parque edificado em Portugal – Setor doméstico

Para que haja evolução de uma sociedade são necessários recursos humanos, ferramentas, equipamentos, conhecimento tecnológico, matérias-primas e fundamentalmente energia. Tornando-se a energia o principal fator, que surge como o pilar para o desenvolvimento tecnológico e determinante para o desenvolvimento de uma sociedade (Horta, 2012).

A energia encontra-se disponível na natureza, no entanto, as sociedades não foram capazes de consumir, de forma sustentável, os recursos energéticos disponíveis. Vivendo-se tempos de crise e incerteza relativamente ao futuro energético, sendo urgente a mudança de hábitos, para que o uso dos recursos seja feito de uma forma equilibrada (Horta, 2012).

O setor doméstico é apresentado como um dos maiores consumidores de energia, apresentado pelos dados da Base de Dados Portugal Contemporâneo – PORDATA - relativamente aos consumos de energia. Sendo o setor doméstico precedido pela Indústria e pelo setor não doméstico (2014), tal como mostra o Gráfico 13 (PORDATA, 2016).

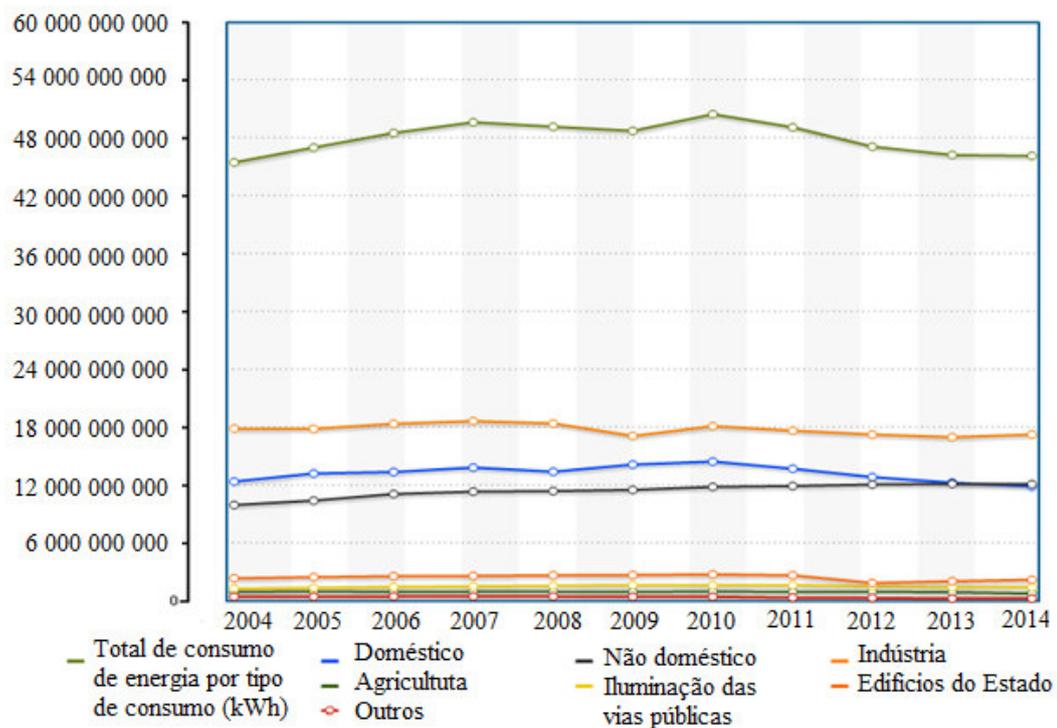


Gráfico 13 - Consumos de energia por setor (PORDATA, 2016)

Em anos anteriores assistiu-se a uma alteração dos hábitos de consumo de energia por parte das famílias em Portugal, de acordo com os dados obtidos através do Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico (ICESD) realizado em 2010 (INE & DGEG, 2011).

Segundo o ICESD, referente a 2010, o consumo de energia estimado era de 5 902 024 tep, onde cerca de 49,4% corresponde a energia gasta nos alojamentos. No período de referência, de outubro de 2009 a setembro de 2010, a eletricidade surge como a principal fonte de energia consumida, representando 42,6% do consumo total de energia deste setor. Denotando-se a elevada dependência da sociedade da energia elétrica, uma vez que a maioria dos equipamentos utilizados nas habitações requerem este tipo de fonte de energia. O aumento desta dependência está diretamente relacionado com o conforto térmico e ao crescimento do número de equipamentos elétricos disponíveis nas habitações. Os resultados do ICESD 2010, apresentam-se através do Gráfico 14.

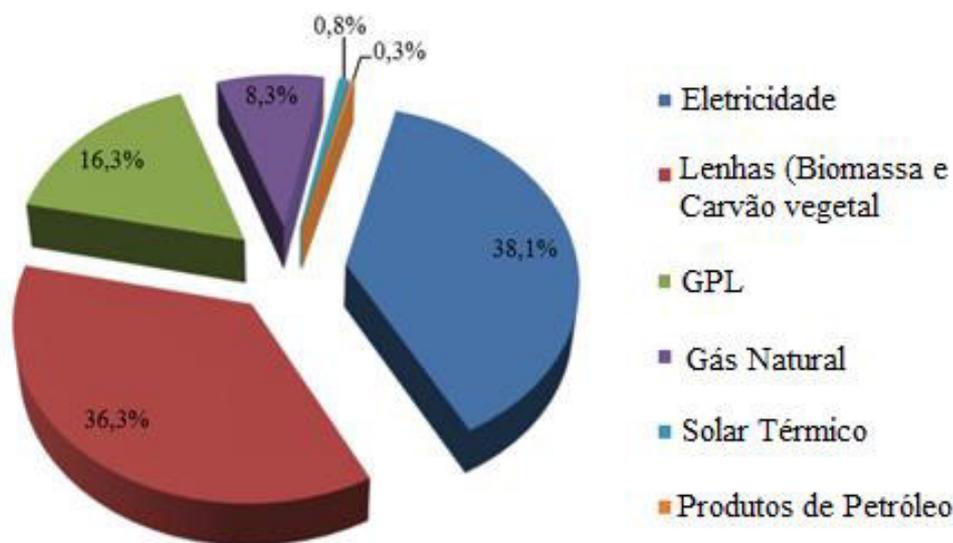


Gráfico 14 - Resultados do ICESD referente a 2010 relativamente ao tipo de fonte de energia (INE & DGEG, 2011)

Tendo em conta o tipo de utilização, no que respeita ao consumo de energia no setor doméstico, são considerados seis tipos de utilização de energia, nomeadamente: aquecimento do ambiente, arrefecimento do ambiente, aquecimento de águas sanitárias, cozinha, equipamentos elétricos e iluminação.

A contribuição para o consumo total de energia no alojamento, por tipo de energia e tipo de utilização em 2010, é apresentada no Gráfico 15.

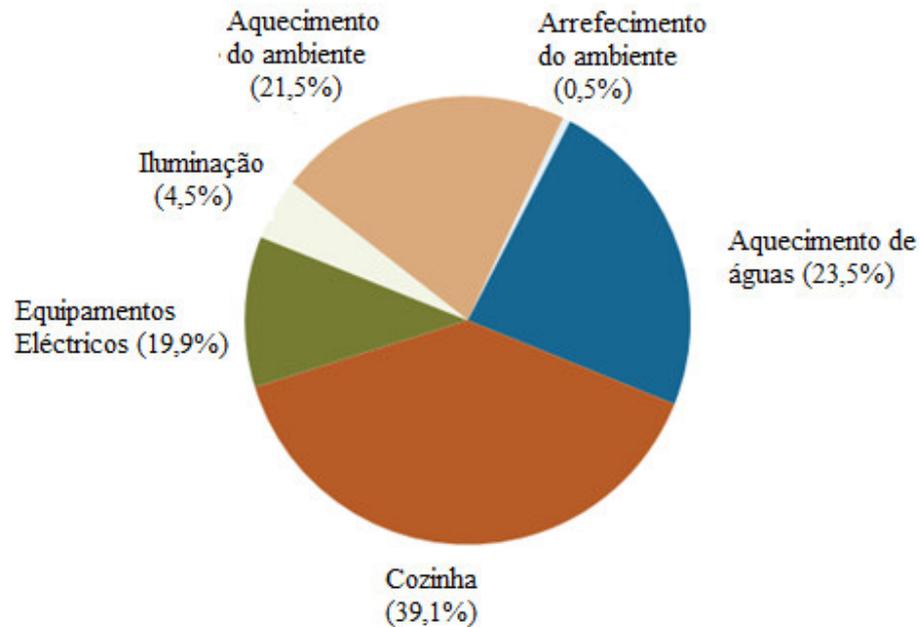


Gráfico 15 - Contribuição para o consumo total de energia no alojamento (INE & DGEG, 2011)

Na cozinha registou-se a maior parcela de utilização de energia afeta ao setor doméstico, correspondendo a 39,1% do total no período de referência, seguindo-se o aquecimento de águas sanitárias com 23,5%, o arrefecimento do ambiente contribui com a parcela mais baixa, 0,5% e 4,5% para iluminação (INE & DGEG, 2011).

Pelo apresentado pelo Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU) realça-se que as cidades se vão degradando progressivamente, nas suas estruturas urbanas, nos edifícios e espaços exteriores. Esta degradação faz parte do envelhecimento, do uso e, ainda, do desajustamento dos desenhos da sua organização a novos tipos de vida. Desta forma, torna-se fundamental o desenvolvimento da reabilitação em conjunto com a racionalização dos recursos.

## 2.2. Legislação aplicável

Para um processo de reabilitação adequado é necessário ter em consideração a legislação aplicável a este processo.

A legislação a ter em conta a quando de uma reabilitação, segundo o Portal da Habitação (Portal da Habitação, n.d.), é:

- **Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro** – Resultante da segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo ao desempenho energético dos edifícios, e à primeira alteração do Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril, onde é estabelecido o regime excecional e temporário aplicável á reabilitação de edifícios ou frações, em que a construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, tendo em conta que se destinem a ser afetos total ou parcialmente ao uso habitacional.
- **Decreto-Lei n.º 136/2014, de 9 de setembro** – Resultante da décima terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, onde é estabelecido o regime jurídico da urbanização e da edificação.
- **Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril** – É estabelecido um regime excecional e temporário a aplicar na reabilitação de edifícios ou frações, onde a conclusão da sua construção seja datada há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que se destinem, total ou predominantemente, a uso habitacional.
- **Decreto-Lei n.º 266-B/2012, de 31 de dezembro** – Estabelece o regulamento para a determinação do nível de conservação dos prédios urbanos ou de frações autónomas, quer sejam ou não arrendados, para os efeitos previstos no âmbito de arrendamento urbano, de reabilitação urbana e de conservação do edificado, e que anula os Decretos-Lei n.ºs 156/2006, de 8 de agosto e 161/2006, de 8 de agosto.
- **Lei n.º 32/2012, de 14 de agosto** – Provém da primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 307/2009, de 23 de outubro, onde é estabelecido o regime jurídico da reabilitação urbana, e à 54.ª alteração ao Código Civil, aprovando medidas destinadas a agilizar a reabilitação urbana.
- **Decreto-Lei n.º 307/2009, de 23 de outubro** – Aprova o regime jurídico da reabilitação urbana, no uso da autorização concedida pela Lei n.º 95-A/2009, de 2 de setembro.
- **Decreto-Lei n.º 177/2001, de 4 de junho** – Modifica o Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro, onde é estabelecido o regime jurídico da urbanização e da edificação.
- **Lei n.º 30-A/2000, de 20 de dezembro** – Permite ao Governo alterar o Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, onde é estabelecido o regime jurídico da urbanização e da edificação.
- **Lei n.º 30 –A/2000, de 24 de fevereiro** – Suspende a continuidade do Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, que estabelece o novo regime da urbanização e da edificação.

- **Decreto-Lei n.º555/99, de 16 de dezembro** – Estabelece o regime jurídico da urbanização e da edificação.

A legislação a aplicar para a obtenção de edifícios de nível NZEB:

- **Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro** – onde é estabelecida a regulamentação para a reabilitação de edifícios ou frações de habitação.
- **Diretiva Europeia 2010/31/EU reformulada** – dá importância à implementação de medidas de eficiência energética nos edifícios.

Dada a crescente importância das cidades, uma vez que uma grande parte da população reside em ambientes urbanos, estas são o principal motor da economia e do desenvolvimento. No entanto, é nas cidades onde se encontram os principais problemas no que diz respeito à habitação, uma vez que possuem vastas áreas degradadas. Manifestando-se a crescente necessidade de reabilitar (Madeira, 2009).

Até 1990 não havia qualquer legislação relativa ao desempenho térmico de edifícios em Portugal, sendo publicado em 1990 o Decreto-Lei 40/90, o primeiro regulamento relativamente às características de comportamento térmico dos edifícios. A partir daí foram surgindo novos regulamentos e alterações dos mesmos, havendo uma evolução da legislação associada à regulamentação térmica, apresentada através da Figura 2.



Figura 2 - Evolução da legislação térmica a nível nacional (Adaptado de (Fragoso, 2013))

## 2.3. nZEB – Nearly Zero Energy Buildings

### 2.3.1. O que são nZEB?

A EPBD define um edifício nZEB como um edifício “que tem um desempenho muito elevado de energia (...). A quase zero ou muito baixa quantidade de energia necessária deve de forma muito significativa ser coberta por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia renovável produzida no local ou nas proximidades”(EU, 2010).

Então, os nZEB são edifícios de consumo de energia quase zero, onde a quantidade total de energia consumida pelo edifício sejam aproximadamente iguais à quantidade de energia produzida a partir de fontes de energia renovável (Figura 3), diminuindo a dependência dos combustíveis fósseis, tornando-se, conseqüentemente, em edifícios que possuem um impacto nulo relativamente à emissão de gases com efeito de estufa (Gonçalves, 2011). Tendo vindo a ganhar importância e popularidade, apesar de ser, ainda, um conceito pouco comum, devido, em parte, ao aumento do preço dos combustíveis fósseis e aos avanços tecnológicos, uma vez

que o preço das tecnologias alternativas de produção de energia limpa tende a tornar-se mais baixo (Ceramics, 2015).

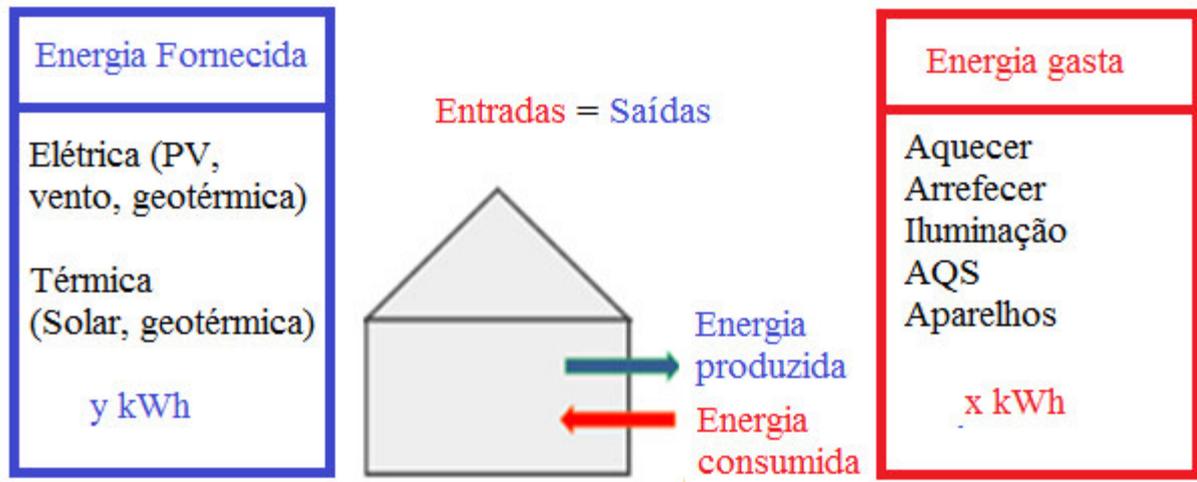


Figura 3 - Definição de nZEB (adaptado de (Gonçalves, 2011))

Uma vez que o setor da construção é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia produzida na União Europeia (Griffiths et al., 2011), a EPBD-recast realça a necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, com vista à redução do consumo de energia por parte dos edifícios, promovendo a utilização de fontes de energia renovável. Onde “a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no setor dos edifícios constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa. (...) A redução do consumo de energia e o aumento do consumo de energia proveniente de fontes renováveis têm igualmente um importante papel a desempenhar na promoção da segurança do aprovisionamento energético” (EU, 2010).

Tendo em vista este cenário, a introdução do conceito de nZEB torna-se essencial para a redução do consumo de energia por parte dos edifícios, através da atuação na envolvente e na colmatação das suas necessidades através de energia proveniente de fontes renováveis (Costa, 2014).

Portugal tem-se mostrado ativo e participando em fóruns de discussão sobre o tema, tanto europeus como nacionais, com foco na ação estudada para a implementação da Diretiva EPBD-recast e os NZEB, como afirma o diretor de Certificação Energética de Edifícios da ADENE, Paulo Santos. Os planos de ações estarão condicionados com os aspetos económicos e de

rentabilidade, o clima, as práticas existentes, entre outros, tratando-se de um conceito que para Portugal não é novo, uma vez que já se encontra incorporado nas boas práticas construtivas, como por exemplo o Edifício Solar XXI, que é o caso de um edifício muito próximo dos nZEB (Ascenso, 2012a).

### **2.3.2. O que vai mudar com os nZEB**

A União Europeia definiu que até 2020 todos os edifícios novos deverão ser “nearly zero energy buildings”, ou seja, altamente eficientes, devendo os edifícios públicos cumprir este pressuposto até 2018. Este conceito não é novo, no entanto é necessário referir que uma das metas a alcançar pela União Europeia (UE) é a redução em cerca de 20% dos consumos de energia, aumento em 20% da utilização de energia produzida a partir de fontes de energia renovável e redução em 20% da emissão de gases de efeito de estufa (EU, 2010).

A EPBD define as metas, cabendo aos Estados Membros (EM) definir o seu caminho, ou seja, cada um terá de apresentar uma definição concreta, plano de ação e estabelecer os requisitos e limites de forma a ir de encontro com as metas definidas pela UE e pela EPBD-recast, como o que se entende por “nearly zero”, desempenho energético elevado, a contribuição das energias renováveis produzidas no local ou na proximidade, devendo estes fazer parte da regulamentação térmica de cada país, dependendo da disposição política de cada EM, bem como o papel que as energias renováveis terão no balanço energético (Ascenso,2012b).

Bruxelas emitiu um comunicado onde apelou a uma abordagem mais coordenada no estabelecimento e reforma dos regimes de apoio e a uma maior utilização das transações comerciais das energias renováveis entre os Estados Membro (EM). Neste mesmo comunicado são apontadas quatro áreas principais onde os esforços devem ser intensificados até 2020, para que os objetivos europeus sejam alcançados tendo em consideração uma boa relação custo benefício (EU, 2010).

As quatro principais áreas abordadas são:

- Mercado energético - é necessário completar o mercado interno da energia e desenvolver as questões relativas aos incentivos na produção de eletricidade no

mercado, de modo a permitir a integração das fontes de energias renováveis de forma harmoniosa no mercado;

- Regimes de apoio – a Comissão Europeia é favorável a regimes que incentivem a redução de custos e que permitam evitar a sobrecompensação e apela também a uma maior coerência dos regimes de apoio entre os Estados Membros, de forma a evitar entraves necessários;
- Mecanismos de cooperação – a Comissão incentiva a maior utilização dos mecanismos de cooperação constante da Diretiva para as Energias Renováveis, que permitem aos Estados Membros atingir os objetivos nacionais vinculados á utilização das energias renováveis.
- Cooperação energética no Mediterrâneo – é preciso melhorar o quadro regulamentar, uma vez que proporcionaria investimentos em larga escala e possibilitaria à Europa importar eletricidade produzida a partir de fontes renováveis.

Dada a preocupação com o futuro das energias renováveis após 2020, onde a Comissão prevê que sem um quadro adequado, o setor deixe de crescer, deverá ser preparado para 2030 um enquadramento que proporcione um maior grau de inovação e que permita baixar os custos, tornando o setor mais promissor de investimento favorável ao crescimento. Sugerindo ainda a definição de novas metas para a emissão de gases com efeito de estufa (Ascenso, 2012c).

Segundo o Comissário europeu para a Energia, Günther Oettinger, deveríamos continuar a desenvolver energias renováveis e a promover soluções inovadoras, de uma forma eficaz em termos de custos. O que implica a produção de energia eólica e solar, nos casos em que faça sentido, do ponto de vista económico e transacioná-lo dentro da Europa, tal como é feito com outros produtos e serviços (Comissão Europeia, 2012).

### **2.3.3. Vantagens e desvantagens**

Decorrente da obtenção dos nZEB surgem alguns inconvenientes, mas, maioritariamente, vantagens (Ceramics, 2015).

As vantagens associadas a este tipo de edifício são:

- Maior conforto térmico, proporcionando temperaturas sempre constantes;
- Redução do custo total da propriedade devido à melhoria da eficiência energética;

- Maior confiabilidade – Os sistemas fotovoltaicos, caso seja o sistema adotado, têm garantias de 25 anos, raramente falham e resistem a intempéries;
- O valor de um edifício nZEB, comparativamente a edifícios convencionais similares, aumenta sempre que os custos energéticos aumentam;
- Futuras restrições legislativas e impostos sobre emissões de carbono levarão ao aumento de impostos sobre edifícios de baixa eficiência;
- Maior salubridade e durabilidade do edifício;
- Melhor qualidade de vida dos seus ocupantes;
- Mitigação de despesas energéticas inesperadas e maior segurança financeira relativamente a futuros aumentos dos preços da energia.

Em contrapartida apresentam como desvantagens:

- Custos iniciais e de construção muito elevados;
- No momento poucos arquitetos, projetistas e construtores possuem habilitações e conhecimentos para a construção de nZEB;
- Queda do preço das novas tecnologias de painéis solares – 17% ao ano – provocando a diminuição do valor do capital investido num sistema de geração de energia solar;
- Baixa produção de energia solar em países de latitudes mais próximas dos polos;
- Maior risco de recuperação do elevado investimento inicial na revenda do edifício.

#### **2.3.4. Como alcançar os nZEB**

A forma de alcançar os NZEB passa por dois passos (Gonçalves, 2011). O primeiro diz respeito a reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, pelo recurso a tecnologias para otimizar a eficiência térmica da envolvente e dos ganhos solares, pela definição de estratégias para sistemas passivos, iluminação natural e ventilação natural, pela integração urbana e pela escolha de sistemas eficientes para que seja possível obter uma iluminação eficiente e equipamentos eficientes, tal como mostra a Figura 4 (Gonçalves, 2011).

O segundo passo passa pela produção de energia, que segundo a Diretiva EPBD-recast deve ser produzida a partir de fontes de energia renovável, no local ou na vizinhança, de modo a assegurar que as necessidades energéticas, quase nulas, sejam satisfeitas recorrendo a energias renováveis (Gonçalves, 2011).

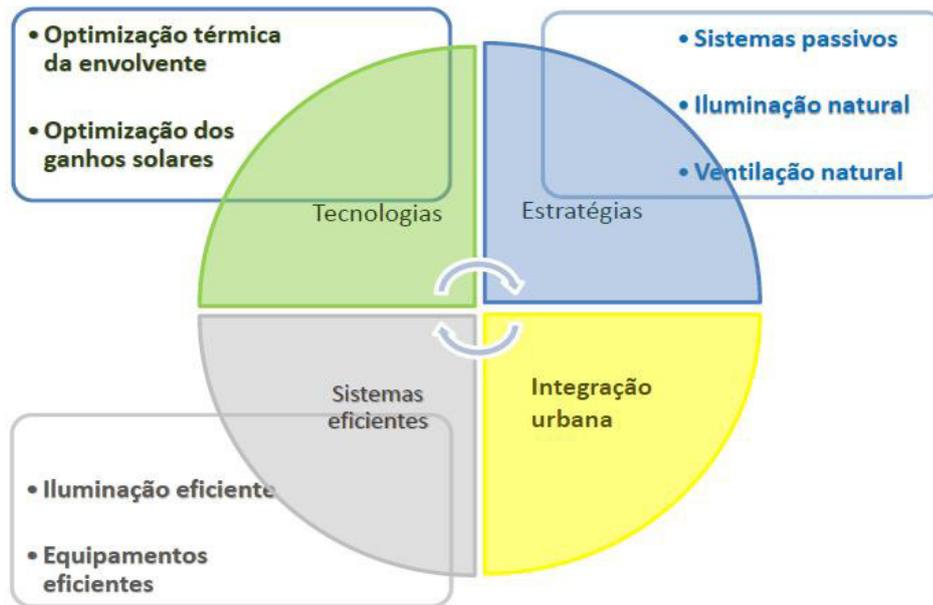


Figura 4 - Redução das necessidades energéticas (Gonçalves, 2011)

Algumas formas de obter os nZEB (Ascenso, 2012b) passam por:

Norma Passivhaus – Desenvolvida pelo investigador alemão Wolfgang Feist, no Passivhaus Institut (PHI), trata-se de uma norma que tem captado adeptos em toda a Europa, existindo cerca de 32 000 edifícios com este selo. Sendo obrigatória na Áustria e Frankfurt. É um conceito que pretende ser adaptável a todos os climas no mundo, havendo registos de projetos no Japão e na Coreia do Sul.

É uma abordagem onde o termo “passivo” se aplica à forma como funciona o sistema de aquecimento, o edifício não é aquecido de forma ativa, usando somente os ganhos de calor passivos para se aquecer, sendo necessária uma pequena quantidade adicional de calor. Tem como base um excelente isolamento térmico capaz de manter o calor pretendido no interior e o indesejado no exterior. Apresenta um sistema de ventilação que fornece ar novo constante no interior e um sistema de recuperação de calor de elevada eficiência que permite que o calor presente no ar seja extraído e reutilizado.

Existe uma poupança energética até 90%, comparativamente com os edifícios típicos do Centro da Europa e 75% relativamente a novas construções (Eich, n.d.).

Casas Solares Ativas – Este tipo de habitação apresenta frações solares de 100%, no caso dos novos edifícios, e superiores a 50% para as reabilitações. Para que estas casas funcionem é necessário um isolamento térmico elevado, espaço para uma grande área de coletores solares e para um grande depósito de armazenamento de água quente. De acordo com o

Sonnenhaus Institut uma casa solar ativa deve apresentar um consumo máximo de energia primária de 15kWh/m<sup>2</sup>/ano.

Plusenergie Haus – Este tipo de casa caracteriza-se por transformar mais energia do que aquela que consome. Utiliza energias renováveis, classificando-se como neutra em termos de emissões de carbono. O objetivo principal destas casas é serem “carbon-neutral”, e não tanto para alcançar um baixo consumo de energia, no entanto há a preocupação da utilização da energia de forma inteligente.

### **2.3.5. Importância da reabilitação para alcançar os nZEB**

É espectável a produção de 20% da energia final através de energias renováveis até 2020, que os novos edifícios apresentem consumos quase nulos de energia, que o desempenho energético dos edifícios existentes deve ser melhorado, aquando de grandes reabilitações, e o compromisso de atingir 20% em matéria de eficiência energética até 2020 (ADENE, 2013). Então, a reabilitação surge como um processo de intervenção de forma a conferir ao edifício uma qualidade (térmica e energética) superior à que estes possuem aquando da sua construção, esta surge como uma solução para os edifícios existentes (Mexa, 2011). Tendo como objetivos a melhoria de conforto térmico (sistemas passivos), redução dos consumos energéticos, correção de situações análogas, como patologias construtivas ou de caráter ambiental (Mexa, 2011). Permitindo cumprir as metas definidas pela União Europeia através da diretiva EPBD-recast.

## **2.4. Sistemas solares**

Tendo como base a diretiva europeia EPBD-recast, apesar das necessidades energéticas dos edifícios nZEB serem muito diminuídas, estas têm de ser asseguradas pela contribuição de energias renováveis, quer produzidas no local quer na sua proximidade (EU, 2010). Uma vez que o sol é uma fonte de energia inesgotável e que Portugal é o país Europeu que beneficia de mais tempo de exposição solar, os coletores solares constituem uma solução bastante apreciável (CENFIM, 2004).

Sendo apresentados em seguida os sistemas solares térmicos e os sistemas solares fotovoltaicos, relevantes para a dissertação.

## 2.4.1. Sistemas solares térmicos

Os sistemas solares térmicos permitem a produção de energia, tendo em conta que apresentam como função transformar a energia da radiação solar incidente em energia térmica, sendo possível transferir o calor produzido para um fluido (Kalogirou, 2009). Podendo ser divididos em dois tipos, de Circulação Natural ou Termossifão e de Circulação Forçada (Mexa, 2011).

### 2.4.1.1. Sistemas de circulação Natural

Este tipo de sistema pode considerar-se dividido em dois tipos de sistema, podendo ser de termossifão ou sistema de coletor e depósito integrado. Neste tipo de sistemas a circulação do fluido de transferência de calor dá-se por convecção natural (Mexa, 2011).

**Sistema de Termossifão** (Figura 5) – Vulgarmente utilizados em pequenos sistemas de produção de Água Quente Sanitária (AQS). O seu funcionamento baseia-se na diferença de densidade do fluido de transferência, proporcionado pelo aumento de temperatura no coletor. Neste tipo de sistema o depósito de acumulação tem de se encontrar a uma cota superior à do coletor, normalmente todo o sistema, coletor e termoacumulador, é instalado em cima da cobertura (Mexa, 2011).

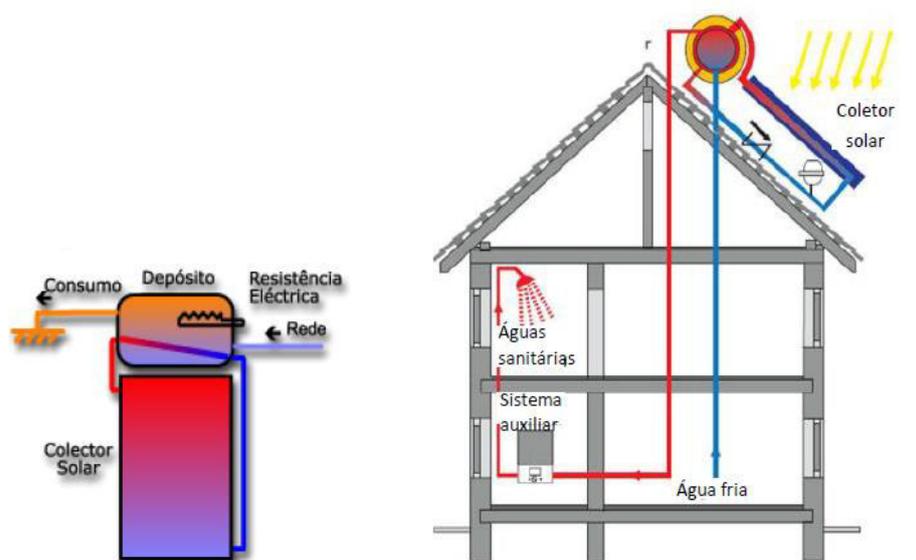


Figura 5 - Sistema de Termossifão (Sampaio, 2010)

Este sistema apresenta como principais vantagens o facto de funcionar sem bomba circuladora ou controladores, não consumindo energia elétrica, é mais fiável e apresenta um tempo de vida superior aos sistemas de circulação forçada (Mexa, 2011).

Ao apresentar o coletor e o depósito juntos, o último deve estar obrigatoriamente a cima do coletor, originando um sistema relativamente alto, o que pode causar problemas a nível estético (Mexa, 2011). Neste tipo de sistema, podem ocorrer problemas com a qualidade da água, as águas muito duras ou ácidas provocam incrustações no depósito, podendo levar à corrosão no circuito primário do coletor, no caso de sistemas diretos, sem permutador. Podendo provocar a degradação da qualidade da água e reduzir o tempo de vida do sistema (Mexa, 2011).

Este tipo de Sistema não é aconselhável em países frios, uma vez que as perdas térmicas do depósito são maiores, podendo provocar o congelamento da água presente no circuito durante o período de inverno (Mexa, 2011).

#### **2.4.1.2. Sistema de circulação forçada**

Este tipo de sistemas é normalmente utilizado em sistemas de média a grande dimensão. Relativamente ao sistema de circulação natural, neste o termoacumulador pode estar dentro da habitação, uma vez que não há necessidade de o manter junto ao depósito, dada a necessidade de se recorrer a uma bomba circuladora para que a energia seja transportada até ao mesmo. Dado não ser um processo autorregulado necessita de dispositivos de controlo de transferência de energia do coletor até ao termoacumulador. Na Figuras 6 é apresentado um exemplo de uma instalação com um sistema de coletores solares térmicos com circulação forçada, neste caso, o apoio do sistema é feito recorrendo a uma caldeira, que permite também aquecer o ambiente da habitação (CENFIM, 2004).

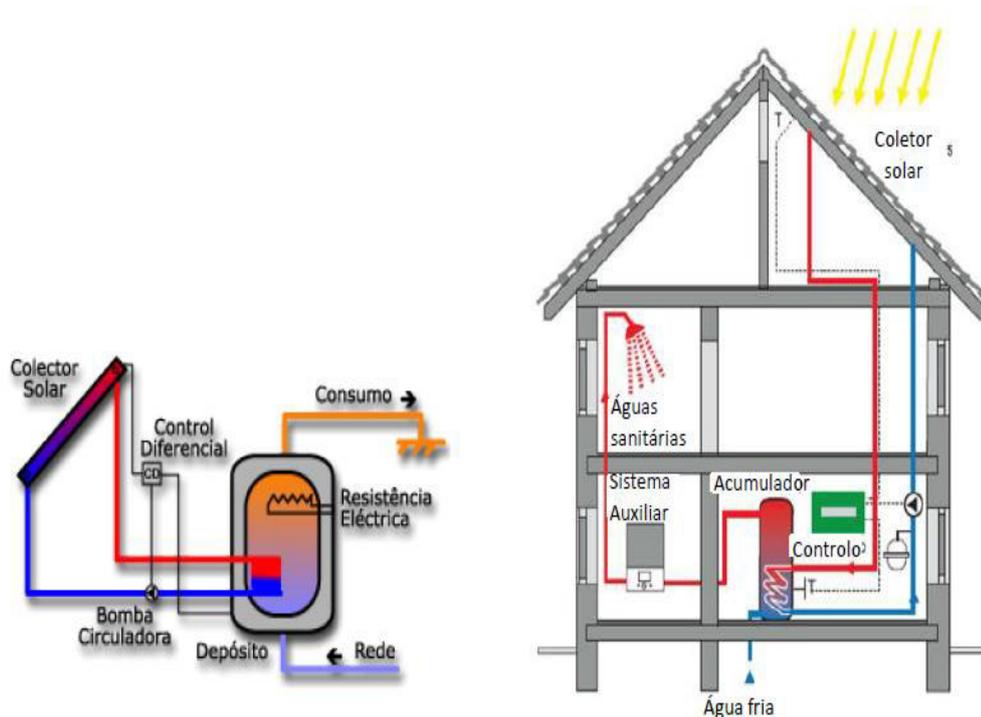


Figura 6 - Esquema de funcionamento de um sistema de circulação forçada (Sampaio, 2010)

Relativamente aos sistemas de circulação natural, os sistemas de circulação forçada apresentam maior flexibilidade quanto à localização do depósito, podendo ainda usufruir de mecanismos mais eficazes para evitar o sobreaquecimento ou o congelamento. No entanto, devido à sua maior complexidade, tornam-se sistemas mais caros, que necessitam de ser cuidadosamente dimensionados de modo a serem eficientes (Mexa, 2011). Apresentam algumas limitações, como o espaço necessário para o depósito de armazenamento e outros equipamentos (Mexa, 2011).

#### 2.4.2. Sistemas solares fotovoltaicos

Este tipo de sistema é constituído por módulos fotovoltaicos, compostos com um material capaz de gerar uma diferença de potencial quando exposto à radiação solar, ou seja, capaz de converter a radiação solar em energia eléctrica (SOTECNISOL Materiais, n.d.)

As células fotovoltaicas são constituídas por materiais semicondutores, normalmente compostas por duas ou mais camadas de material condutor, habitualmente silício, que quando exposto à luz gera cargas eléctricas, podendo ser conduzidas como corrente directa (Kalogirou, 2009).

Existindo diferentes tipos de células (SolarWaters, n.d.-b)

- Silício monocristalino – obtidas através de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais, apresentando uma eficiência de conversão de radiação solar em eletricidade superior a 12%.
- Silício policristalino – produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais.
- Filme Fino ou Silício amorfo – obtidas através da deposição de camadas muito finas de silício ou outros materiais semicondutores sobre superfícies de vidro ou metal, apresentando uma eficiência de conversão de luz solar em eletricidade de 5 a 7%.

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser de dois tipos, autónomos ou ligados à rede. Um sistema autónomo de produção de energia elétrica tem a funcionalidade de assegurar através de meios próprios o fornecimento da energia necessária sem a necessidade de se recorrer à rede elétrica nacional (Livre Power Lda, n.d.).

Na Figura 7 é apresentada uma ilustração do sistema solar fotovoltaico autónomo, onde não há ligação à rede.

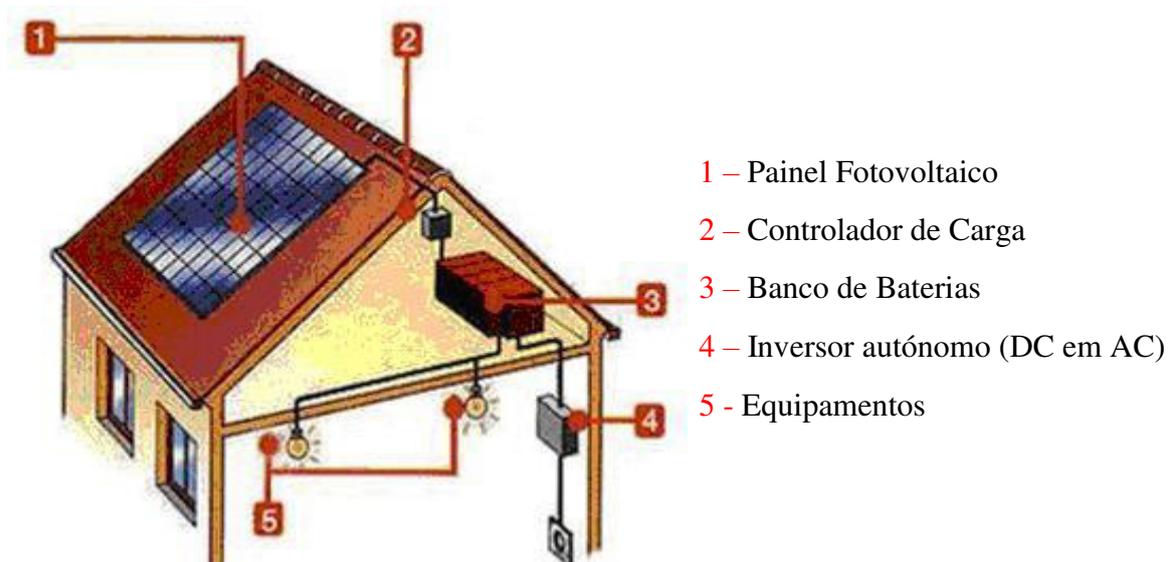


Figura 7 - Sistema solar fotovoltaico - sistema isolado (UFRJ, n.d.)

Para um sistema solar fotovoltaico autónomo, concebido para alimentar um conjunto de cargas que operem isoladas da rede elétrica, no período de um ano, é fundamental, para além da integração dos painéis solares, incluir os seguintes equipamentos (Carneiro, 2009):

- Baterias – tendo como principal função assegurar a alimentação dos consumos de energia elétrica nos períodos em que o recurso solar se encontra indisponível (período noturno);
- Controlador de carga – A sua função consiste na gestão de carga das baterias;
- Inversor – Em caso da existência de cargas a alimentar em corrente alternada (CA), a sua função é converter a tensão contínua em tensão alternada, com a frequência e amplitude da rede.

No caso dos sistemas solares fotovoltaicos ligados à rede pública, o gerador fotovoltaico cede à rede a máxima potência que pode produzir em cada instante. Entre o módulo fotovoltaico e a rede há a necessidade de equipamentos de regulação e interface de modo a otimizar as condições de geração, adaptando-se às condições de receção impostas pela rede (Carneiro, 2009).

- Regulador MPP e Conversor DC/DC – Os reguladores são capazes de controlar o estado de carga, apresentando também como função interromper o fornecimento de energia às cargas externas sempre que a profundidade de descarga máxima da bateria é atingida. No entanto, quando a tensão do gerador fotovoltaico baixar, devido, por exemplo, à diminuição da intensidade da radiação solar, os reguladores podem não conseguir, de forma adequada, efetuar o aproveitamento da energia produzida pelo sistema fotovoltaico. Devido à diminuição da tensão do gerador fotovoltaico, o desvio que ocorre relativamente ao ponto ótimo de funcionamento à máxima potência (MPP) fica fora do alcance do regulador.

A potência máxima de um gerador, módulo ou painel fotovoltaico varia consoante as condições ambientais, nomeadamente com a temperatura e a radiação incidente, que influenciam diretamente a intensidade de corrente e a tensão nos terminais do painel.

O ideal é que os módulos funcionem sempre à máxima potência, de modo a que o gerador fotovoltaico esteja no ponto de operação correspondente à potência máxima, sendo também equipados por um conversor DC/DC.

- Inversor DC/AC – Uma vez que os painéis fotovoltaicos produzem energia elétrica em corrente contínua (DC), é necessário introduzir no sistema um inversor de corrente. Cujas

principal função é estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede elétrica de corrente alternada (AC), então, a sua principal função é converter o sinal elétrico DC do gerador fotovoltaico num sinal elétrico AC, de modo a ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede.

- Contador – quantifica a energia consumida proveniente da rede elétrica e da quantidade de energia produzida.

Na figura 8 é evidenciado o esquema de um sistema solar fotovoltaico com ligação à rede pública:

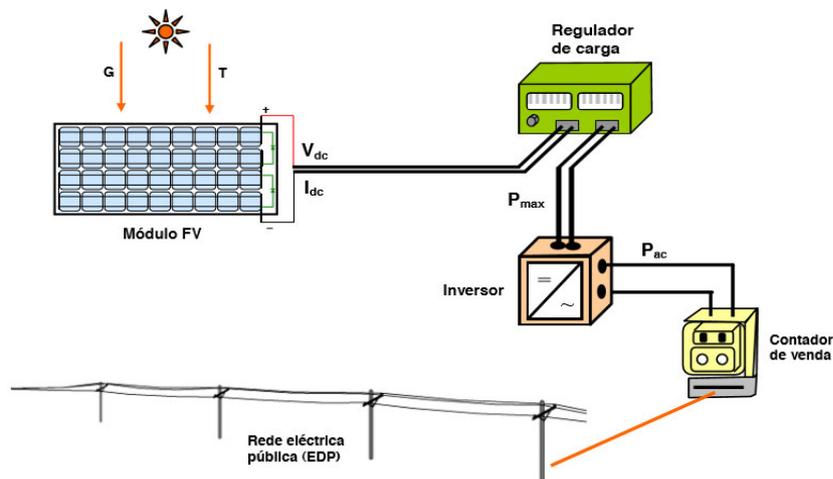


Figura 8 - Esquema de um gerador fotovoltaico e respetivos equipamentos de interface com a rede pública (Carneiro, 2009)

### **3. METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO**

#### **3.1. Metodologia**

A presente dissertação desenvolve-se com base num caso de estudo, um edifício de habitação caraterístico da década de 80. Passando o desenvolvimento da dissertação por cinco fases, que permitem alcançar os fins esperados.

A avaliação das necessidades energéticas, primeira fase, foi realizada com base na metodologia definida no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, REH (Emprego, 2013a), utilizando a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios (ITeCons & Universidade de Coimbra, n.d.), proposto pelo ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção. Esta ferramenta de cálculo permite a aplicação da metodologia de cálculo a edifícios novos ou a edifícios existentes.

Numa segunda fase foram propostos e analisados dois cenários de reabilitação, de modo a ser possível assegurar a diminuição das necessidades energéticas do edifício, determinadas na primeira fase, utilizando a mesma metodologia. Os dois cenários de reabilitação têm como fundamento a otimização da envolvente.

Uma vez que, num edifício com caraterísticas nZEB as necessidades energéticas remanescentes devem ser satisfeitas através de energias de fonte renovável, é imperativo associar à habitação uma fonte renovável de produção de energia, podendo situar-se na sua proximidade ou no local. Para tal, optou-se pela incorporação de um sistema de aproveitamento da energia solar térmica e fotovoltaica. Indo de encontro com as exigências definidas pela EPBD-recast e pela regulamentação associada ao desempenho energético dos edifícios de habitação.

A terceira fase relaciona-se com o dimensionamento dos sistemas solares. Para tal recorreu-se ao software SolTerm, distribuído pelo LNEG, que consiste num programa de análise de desempenho de sistemas solares, através de balanços energéticos ao longo do período de um

ano de referência e de simulação numérica. Através deste programa são dimensionados painéis solares térmicos e, ainda, os painéis solares fotovoltaicos. A utilização de sistemas solares térmicos permite o aquecimento de águas sanitárias e os sistemas fotovoltaicos a produção de energia elétrica, de modo a satisfazer as necessidades dos habitantes. O seu dimensionamento deve ter em conta a localização e aspetos relacionados, o número de ocupantes e os equipamentos.

Na fase seguinte pretendeu-se efetuar uma análise dos níveis ótimos de rentabilidade. Que consiste em avaliar os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. Esta fase tem como base o documento “Portugal EPBD National report on calculation of cost – optimal levels of minimum energy performance requirements for residential buildings”, da autoria de Marco Ferreira, Manuela Almeida, Ana Rodrigues e Catarina Araújo, da Universidade do Minho (Ferreira, Almeida, Rodrigues, & Araújo, 2014).

Para o cálculo do custo global, dos custos de investimento, que incluem a mão-de-obra, para os custos das tecnologias e custos de materiais, recorreu-se ao software Gerador de Preços CYPE (CYPE, n.d.). O CYPE permite, ainda, prever os custos de manutenção para as diversas soluções. Permitindo avaliar os custos e comparar os dados referentes aos dois cenários de reabilitação.

A última etapa prende-se ao balanço dos resultados obtidos através da aplicação do REH e da análise de custos, uma vez que é possível comparar os resultados através de duas variáveis, as necessidades energéticas associadas a cada cenário e os custos associados aos trabalhos e materiais utilizados para a reabilitação.

### **3.2. Caso de Estudo**

Neste trabalho foi estudada uma habitação unifamiliar, situada na periferia da cidade de Guimarães, originária da década de 80, selecionada de modo a ser representativa das habitações unifamiliares construídas naquela década de construção, com base nas características de um edifício padrão, definido pela ADENE, tendo como finalidade a sua reabilitação de modo a ser possível alcançar um edifício de nível nZEB, ou seja, que seja capaz de satisfazer as suas

necessidades através de fontes de energia renovável, nomeadamente a energia proveniente do sol.

Tendo em conta as principais características apresentadas pela ADENE para os edifícios de habitação unifamiliar da década de 1980, como: área útil de pavimento de 100m<sup>2</sup>, área de envidraçadas de 15m<sup>2</sup>, pé-direito de 2,7m, tipologia T3, apresentando 4 frentes, etc. (Anexo 1) levou à escolha do edifício apresentado como caso de estudo. Sendo analisado tendo em conta a sua localização, orientação e características.

### 3.2.1. Edifício unifamiliar - Guimarães

O edifício seleccionado trata-se de uma habitação unifamiliar da década de 80, apresentando tipologia T3, situada na periferia da cidade de Guimarães (Figura 9). Esta habitação desenvolve-se ao longo de dois pisos (Figura 10), constituído por uma área de rés do chão e um andar elevado, apresentando a sua fachada principal voltada a sul (S). No piso superior encontram-se três quartos, uma casa de banho e um local destinado a arrumos, no piso inferior desenvolvem-se uma cozinha, uma sala, uma casa de banho e um vestíbulo e, ainda uma garagem.

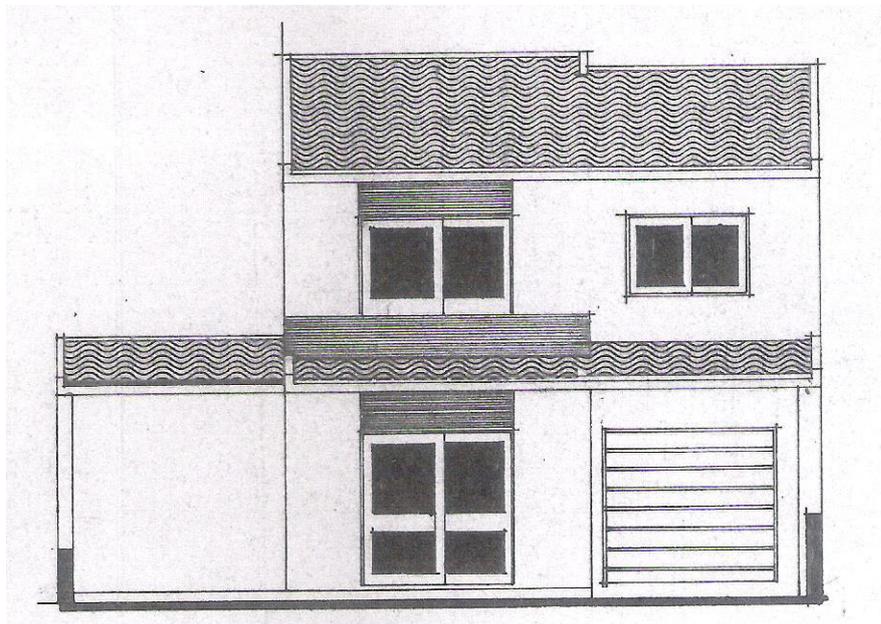


Figura 9 - Alçado Sul da moradia

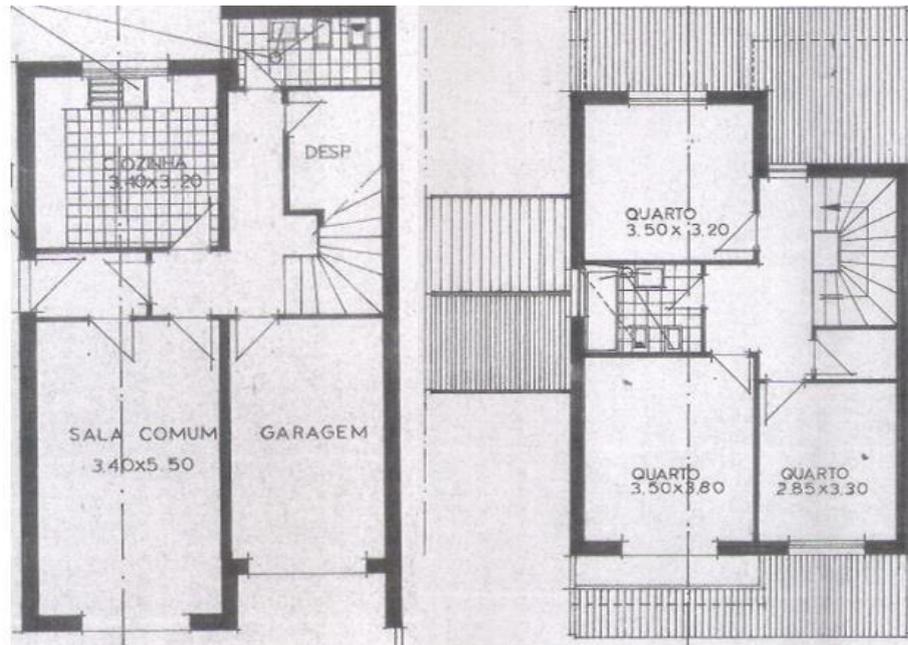


Figura 10 - Plantas do piso 1 e 2, respetivamente

O edifício em estudo tem uma área de  $129,97\text{m}^2$ , e em termos de área de envidraçados  $15,51\text{m}^2$ , nomeadamente  $10\text{m}^2$  orientados a Sul,  $3,69\text{m}^2$  a Norte e  $1,82\text{m}^2$  a Oeste.

### 3.2.2. Características construtivas

Uma vez que não é possível identificar as soluções construtivas do edifício, foram-lhe atribuídas as características construtivas do edifício padrão, da década de 80. Uma vez que foi escolhido como um edifício representativo, torna-se um edifício padrão segundo as características construtivas apresentadas pela ADENE (“ADENE - Agência para a energia,” n.d.). Apresentando na sua constituição:

#### 1) Paredes Exteriores

As paredes exteriores consistem numa solução de parede simples de alvenaria de tijolo furado de 22, rebocada em ambas as faces (Figura 11). Apresentando como coeficiente de transmissão térmica,  $U, 1,76\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

#### 2) Paredes Interiores

As paredes interiores que permitem a compartimentação do edifício são paredes simples de alvenaria de tijolo furado de 22, rebocada em ambas as faces (Figura 11). Estas paredes

permitem, ainda a separação dos espaços úteis dos espaços não úteis. Esta solução apresenta um U de  $1,62 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

### **3) Cobertura inclinada exterior**

A cobertura exterior consiste numa cobertura inclinada sem isolamento térmico na esteira, revestida de telha cerâmica (Figura 12). Apresenta um valor de U de  $2,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

### **4) Pavimentos Interiores**

O pavimento interior apresentam um revestimento em ladrilho, betonilha, sobre uma laje aligeirada com 15cm de espessura, apresentando, ainda, revestimento de teto, em estuque (Figura 13). Originando um U de  $1,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

### **5) Vãos envidraçados**

Os vãos envidraçados que integram o edifício em estudo consistem numa solução em janela simples, com vidro simples, apresentam caixilharia metálica sem corte térmico. Como solução de proteção é utilizado um sistema com portadas opacas, de cor clara.

Esta solução possui um coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite ( $U_{\text{wdn}}$ ) de  $4,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , ou seja, apresenta uma proteção noturna com baixa permeabilidade ao ar e um fator solar de 0,85, que corresponde a um vidro simples incolor de 6mm.

Com as características do envidraçado recorreu-se a um simulador para determinar a classe do Sistema de Etiquetagem Energética do Produto (SEEP) (“Simulador de Eficiência Energética de Janelas,” n.d.). Tendo em atenção o período de instalação (1961-1990), o tipo de abertura (correr), o tipo de caixilharia e o tipo de vidro, obteve-se classe G.

O simulador utilizado apresenta como fontes de informação LNEC ITE50, Despacho n.º 15793-K/2013 (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013b), EN 1026 e EN 12207.

O valor do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar ( $g_{\text{Lvc}}$ ) é de 0,3. O fator solar global ( $g_{\text{T}}$ ), de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, é determinado através da equação presente no Despacho n.º 15793-K/2013 (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013b), referente a vidros simples. Tal como o valor

do Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento ( $g_i$ ) e na estação de arrefecimento ( $g_v$ ), recorrendo às equações apresentadas no despacho referido.

É ainda essencial obter o fator de obstrução da radiação solar, que representa a redução da radiação solar que incide nos envidraçados devido ao sombreamento causado por diferentes tipos de obstáculos, podendo estes ser:

- Obstruções exteriores ao edifício, tais como outros edifícios, orografia, vegetação.
- Obstruções criadas por elementos do edifício, tais como outros corpos do mesmo edifício, palas, varandas e elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia.

Para tal, para ambas as estações, é necessário determinar o valor da obstrução do horizonte ( $\alpha_h$ ) e o angulo provocado pelas palas horizontais ( $\alpha$ ) e verticais, à esquerda ( $\beta_{esq}$ ) e à direita ( $\beta_{dir}$ ). Uma vez que o sombreamento na estação de arrefecimento é igual ao sombreamento na estação de aquecimento, os fatores apresentados anteriormente são iguais para ambas as estações.

Traduzindo-se através da Tabela 4 as características associadas aos vãos envidraçados do edifício de referência da década de 80:

Tabela 4 - Características dos vãos envidraçados do edifício de referência

Caraterísticas	
U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	4,1
FS	0,85
FS Global proteções móveis e fixas ativadas	0,36
Fg	0,7
Existem obstruções?	20°

Onde:

- FS - Fator solar do vidro – 0,85, ou seja, 85% da radiação solar atravessa o vidro;
- Fg - Fração envidraçada – Caixilharia de alumínio ou aço sem quadricula

## 6) Vãos opacos exteriores

Como vãos opacos exteriores existe a porta de entrada e o portão da garagem, apresentando para o coeficiente de transmissão térmica  $1,15 W/m^2 \cdot ^\circ C$ , uma vez que são constituídos por

madeira maciça de cor média. A porta de madeira encontra-se orientada a Oeste e o portão da garagem a Sul.

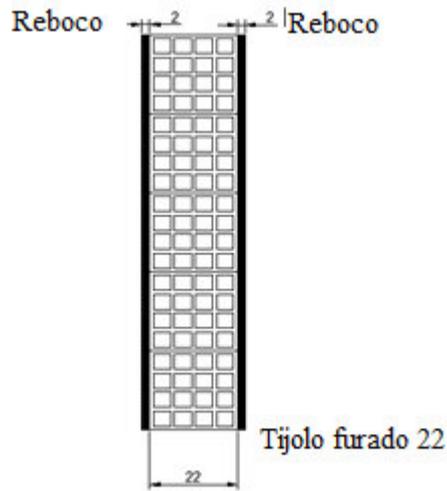


Figura 11 - Parede do edifício da década de 80

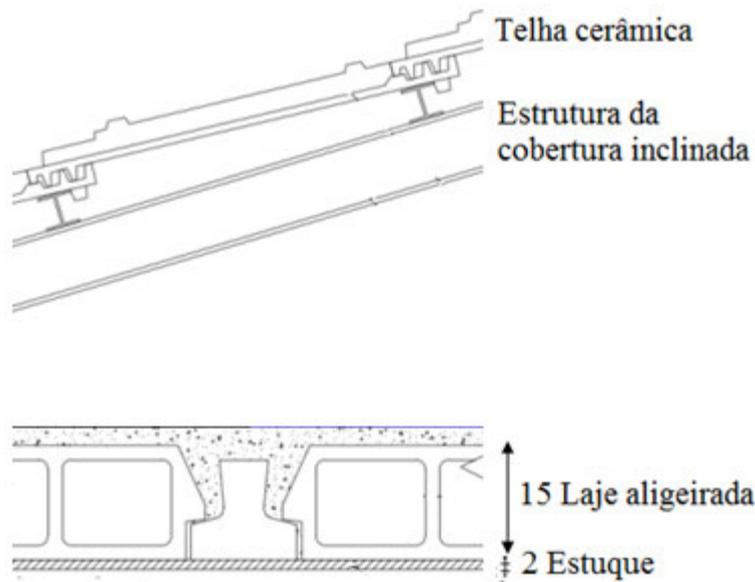


Figura 12 - Cobertura do edifício da década de 80

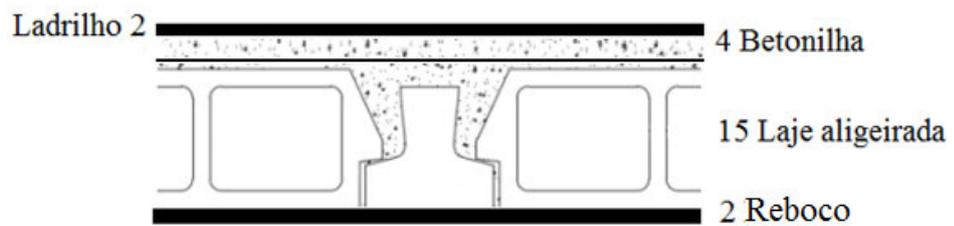


Figura 13 - Pavimentos do edifício da década de 80

### **3.2.2.1. Pontes Térmicas**

#### **3.2.2.1.1. Pontes Térmicas Planas**

Dada a configuração do edifício inicial e as características apresentadas pela ADENE para edifícios característicos da década de 80, não é necessário calcular o valor do coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana,  $U_{PTP}$ , sendo considerada uma simplificação, defendida no pelo Despacho n.º 15793-E/2013 (Emprego, 2013b), que consiste na majoração em 35% do valor do U da zona corrente, que resulta num U de 2,38 W/m<sup>2</sup>.°C.

#### **3.2.2.1.2. Pontes Térmicas Lineares**

As pontes térmicas lineares são avaliadas tendo em conta o valor do coeficiente de transmissão térmica linear ( $\Psi$ ), podendo ser determinado através de três métodos distintos:

- De acordo com as normas europeias em vigor, nomeadamente a Norma EN ISO 10211;
- Com recurso a um catálogo de pontes térmicas para várias geometrias e soluções construtivas típicas, desde que o cálculo tenha sido realizado de acordo com a Norma Europeia EN ISO 14683 com recurso à metodologia apresentada na Norma EN ISO 10211;
- Com recurso aos valores indicados na tabela 07 do Despacho n.º 15793-K72013.

Sendo identificadas as seguintes ligações:

- 1- Fachada com pavimento sobre ENU (pavimento R/C);
- 2- Fachada com pavimento intermédio;
- 3- Fachada com cobertura, onde não existe isolamento;
- 4- Fachada com varanda;
- 5- Fachada com caixilharia, onde o isolamento não contacta com a caixilharia dado não existir;
- 6- Fachada com pavimento sobre ENU (garagem).

Com base nos valores indicados na tabela 07 do Despacho N.º 15793-K72013, são apresentados na Tabela 5 os valores correspondentes ao tipo de ligação identificada:

Tabela 5 - Determinação do valor das Pontes Térmicas Lineares

Tipo de ligação	$\Psi$ (W/m.°C)
Fachada com pavimento sobre ENU (R/C)	0,7
Fachada com pavimento intermédio	0,7
Fachada com cobertura	0,7
Fachada com caixilharia	0,25
Fachada com pavimento sobre ENU (garagem)	0,7
Fachada com varanda	0,7

Não sendo contabilizado:

- Paredes interiores que separam espaço útil de um espaço não útil se o valor de  $b_{tr} < 0.7$ ;
- Portas exteriores, uma vez que são de madeira;

### 3.2.3. Zona climática

O ponto de partida para a realização do estudo é a identificação da zona climática correspondente à localização do edifício, de acordo com o Despacho n.º15793-F/2013 (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013a). O edifício em questão localiza-se no município de Guimarães, que se enquadra na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III como Ave (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013a).

De modo a ser possível aplicar os requisitos de qualidade térmica da envolvente é necessário identificar as zonas climáticas de inverno (I1, I2 ou I3) e de verão (V1, V2 ou V3). Para tal, é preciso determinar os parâmetros climáticos correspondentes, que se encontram associados a um determinado local e são obtidos a partir de valores de referência para cada NUTS III sendo ajustado com base na altitude do local (Guimarães – altitude:  $z=536\text{m}$ ), de acordo com a Equação 1:

$$X = X_{REF} + a \times (z - z_{REF}) \quad (1)$$

### 3.2.3.1. Estação de aquecimento (inverno)

As zonas climáticas de Inverno são definidas através do número de graus-dias (GD) (ITeCons & Coimbra, 2013), na base de 18°C, determinado através da Equação 2, encontrando-se os dados necessários para a sua determinação na Tabela 6.

$$GD = GD_{REF} + a \times (z - z_{REF})(^{\circ}C) \quad (2)$$

Tabela 6 - Número de Graus-Dias (GD)

Número de Graus-Dias (GD)	
GD <sub>REF</sub>	1653
a (mês/m)	1,5
z(m)	536
Z <sub>REF</sub> (m)	426
<b>GD°C</b>	<b>1818</b>

Tendo em conta o valor de Graus-Dias obtido, 1818°C, ajustado a Guimarães, a estação de aquecimento corresponde à Zona I3, uma vez que GD > 1800.

No que respeita aos restantes parâmetros da estação de aquecimento, é apresentado em seguida o seu ajuste para a cidade de Guimarães.

A duração da estação de aquecimento (ITeCons & Coimbra, 2013), M, é determinada através da Equação 3, com base nos dados da Tabela 7.

$$M = M_{REF} + a \times (z - z_{REF})(meses) \quad (3)$$

Tabela 7 - Duração da Estação de Aquecimento (M)

Duração da Estação de Aquecimento (M)	
$M_{REF}$	7,2
a (mês/m)	0
z(m)	536
$Z_{REF}$ (m)	426
<b>M(meses)</b>	<b>7,2</b>

A temperatura exterior média do mês mais frio,  $\theta_{ext,i}$ , determinado através da Equação 4, com base nos dados da Tabela 8.

$$\theta_{ext,i} = \theta_{ext,i REF} + a \times (z - z_{REF})(\text{graus}) \quad (4)$$

Tabela 8 - Temperatura exterior média do mês mais frio ( $\theta_{ext,i}$ )

Temperatura exterior média do mês mais frio ( $\theta_{ext,i}$ )	
$\theta_{ext,i REF}$	7,8
a (mês/m)	-6
z(m)	536
$Z_{REF}$ (m)	426
<b><math>\theta_{ext,i}</math> °C</b>	<b>7,14</b>

### 3.2.3.2. Estação de arrefecimento (verão)

As zonas climáticas de verão são definidas com base na temperatura média exterior,  $\theta_{ext,v}$ , determinado através da Equação 5, encontrando-se os dados necessários para a sua determinação na Tabela 9.

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v REF} + a \times (z - z_{REF})(\text{°C}) \quad (5)$$

Tabela 9 - Temperatura média exterior ( $\theta_{ext,v}$ )

Temperatura média exterior ( $\theta_{ext,v}$ )	
$\theta_{ext,v REF}$	20,8
a (mês/m)	-0,003
z(m)	536
$Z_{REF}$ (m)	426
<b><math>\theta_{ext,v}</math> °C</b>	<b>20,47</b>

Tendo em conta o valor obtido para a temperatura exterior média,  $20,47^{\circ}\text{C}$ , a zona climática de verão corresponde à Zona V2, dado que  $20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$ . Sendo a duração da estação de arrefecimento corresponde a quatro meses, 2 928 horas.

### 3.2.4. Zonas e Envolventes

Para definir a envolvente é necessário, em primeiro lugar, definir as zonas úteis e as zonas não úteis do edifício. Sendo as zonas úteis aquelas que são classificadas como espaços climatizados e habitados em permanência. E uma zona não útil um espaço não ocupado em permanência. Como, por exemplo, garagens, arrumos (não climatizados), marquises, desvãos, entre outros casos.

No edifício em análise existem três espaços classificados como zonas não úteis, que é o caso da garagem, o desvão da cobertura inclinada e o desvão sanitário. A despensa do rés-do-chão e os arrumos no piso 1, bem como a zona de escadas, são classificados como zonas úteis.

A envolvente pode ser de quatro tipos:

- **Envolvente Exterior** – Separação de espaços exteriores de espaços úteis;
- **Envolvente Interior** – Separação de espaços úteis de não úteis, podendo ser de dois tipos, com requisitos de interior ou com requisitos de exterior, dependendo do valor do coeficiente de redução de perdas ( $b_{tr}$ ).
- **Envolvente em contacto com o solo** – Separação de espaços úteis com o solo
- **Envolvente sem requisitos** – Separação com edifício adjacente, tendo em conta a possível demolição do edifício adjacente, considera-se o valor do coeficiente de redução de perdas igual a 0,6.

A envolvente interior pode ser de dois tipos, estando intimamente relacionada com o valor do coeficiente de redução de perdas dos espaços não úteis. Dada a existência de três espaços não úteis - ENU, a garagem, o desvão da cobertura e o desvão sanitário, é necessário determinar o coeficiente de redução de perdas,  $b_{tr}$ , de modo a estabelecer corretamente o tipo de envolvente que os separa do resto do edifício.

### 3.2.4.1. Coeficiente de redução de perdas

Perante a impossibilidade de se conhecer com precisão os valores da temperatura interior,  $\theta_{int}$ , temperatura ambiente exterior,  $\theta_{ext}$ , e do local não útil,  $\theta_{enu}$ ,

o valor de  $b_{tr}$  pode ser determinado em função da taxa de renovação do ar e da razão  $A_i/A_u$ .

Recorrendo-se à Tabela 22 do Despacho N.º 15793-K/2013 (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013b), relativa ao coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, para determinar o valor do coeficiente de redução perdas dos espaços não úteis do edifício, cujo excerto está apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Excerto da Tabela 22 do Despacho N.º 15793-K/2013 relativa ao coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013b)

b <sub>tr</sub>	V <sub>enu</sub> ≤ 50m <sup>3</sup>		50m <sup>3</sup> < V <sub>enu</sub> ≤ 200m <sup>3</sup>		V <sub>enu</sub> > 200m <sup>3</sup>	
	f	F	f	F	f	F
A <sub>i</sub> /A <sub>u</sub> < 0,5	1,0		1,0		1,0	
0,5 ≤ A <sub>i</sub> /A <sub>u</sub> < 1	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
1 ≤ A <sub>i</sub> /A <sub>u</sub> < 2	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
2 ≤ A <sub>i</sub> /A <sub>u</sub> < 4	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
A <sub>i</sub> /A <sub>u</sub> ≥ 4	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Onde:

- $A_i$ : somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil;
- $A_u$ : somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior;
- $V_{enu}$ : Volume do espaço não útil.

#### 3.2.4.1.1. Garagem

Uma vez que a garagem é um dos espaços não úteis (ENU) do edifício, é necessário determinar o valor do coeficiente de redução de perdas de modo a definir o tipo de envolvente associada ao mesmo.

Os valores que permitem a determinação do coeficiente de redução de perdas e a definição do tipo de envolvente associada, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficiente de redução de perdas do ENU - Garagem

Espaço não útil (ENU) - Garagem			
$A_i$ (m <sup>2</sup> )	1,24	$b_{tr}$	0,6
$A_u$ (m <sup>2</sup> )	1,19		
$A_i/A_u$	1,042		
$V_{enu}$ (m <sup>3</sup> )	35,802		
f	Sem aberturas de ventilação permanentes		

Uma vez que o espaço não útil apresenta todas as ligações entre os elementos vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, conclui-se que a garagem apresenta um  $b_{tr} = 0,6$ , ou seja, o elemento que separa o espaço útil do espaço não útil é classificado como elemento da envolvente interior com requisitos de interior, uma vez que o valor do coeficiente de redução de perdas é inferior a 0,7.

### 3.2.4.2. Desvão da Cobertura

Os valores que permitem a determinação do coeficiente de redução de perdas do desvão da cobertura e a definição do tipo de envolvente associada, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficiente de redução de perdas do ENU – Desvão da cobertura

Espaço não útil (ENU) – Desvão da cobertura			
$A_i$ (m <sup>2</sup> )	57,4	$b_{tr}$	0,8
$A_u$ (m <sup>2</sup> )	60,08		
$A_i/A_u$	0,955		
$V_{enu}$ (m <sup>3</sup> )	81,46		
f	Sem aberturas de ventilação permanentes		

Uma vez que o espaço não útil apresenta todas as ligações entre os elementos vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, conclui-se que a garagem apresenta um  $b_{tr} = 0,8$ , ou seja, o elemento que separa o espaço útil do espaço não útil é classificado como elemento da envolvente interior com requisitos de exterior, uma vez que o valor do coeficiente de redução de perdas é superior a 0,7.

### 3.2.4.3. Desvão Sanitário

O terceiro ENU do edifício habitacional é desvão sanitário, provocado pela elevação do pavimento relativamente ao solo em 30cm. Sendo necessário determinar o coeficiente de redução de perdas, de forma a definir o tipo de envolvente associada a este ENU.

Os valores que permitem a determinação do coeficiente de redução de perdas e a definição do tipo de envolvente associada, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Coeficiente de redução de perdas do ENU – Desvão Sanitário

Espaço não útil (ENU) – Desvão Sanitário			
$A_i$ (m <sup>2</sup> )	44,43	$b_{tr}$	0,3
$A_u$ (m <sup>2</sup> )	0		
$A_i/A_u$	$\geq 4$		
$V_{enu}$ (m <sup>3</sup> )	13,329		
$f$	Sem aberturas de ventilação permanentes		

Uma vez que o espaço não útil apresenta todas as ligações entre os elementos vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, conclui-se que o desvão sanitário apresenta um  $b_{tr} = 0,3$ , ou seja, o elemento que separa o espaço útil do espaço não útil é classificado como elemento da envolvente interior com requisitos de interior, uma vez que o valor do coeficiente de redução de perdas é inferior a 0,7.

### 3.2.4.4. Traçado da envolvente

Assim, através de um corte apresentado e das plantas do rés-do-chão e andar, uma vez determinados os coeficientes de redução de perdas dos espaços não úteis, é possível identificar, através de uma ilustração, os elementos dos diferentes tipos de envolvente que constituem o edifício habitacional em estudo, tal como representado na Figura 14.

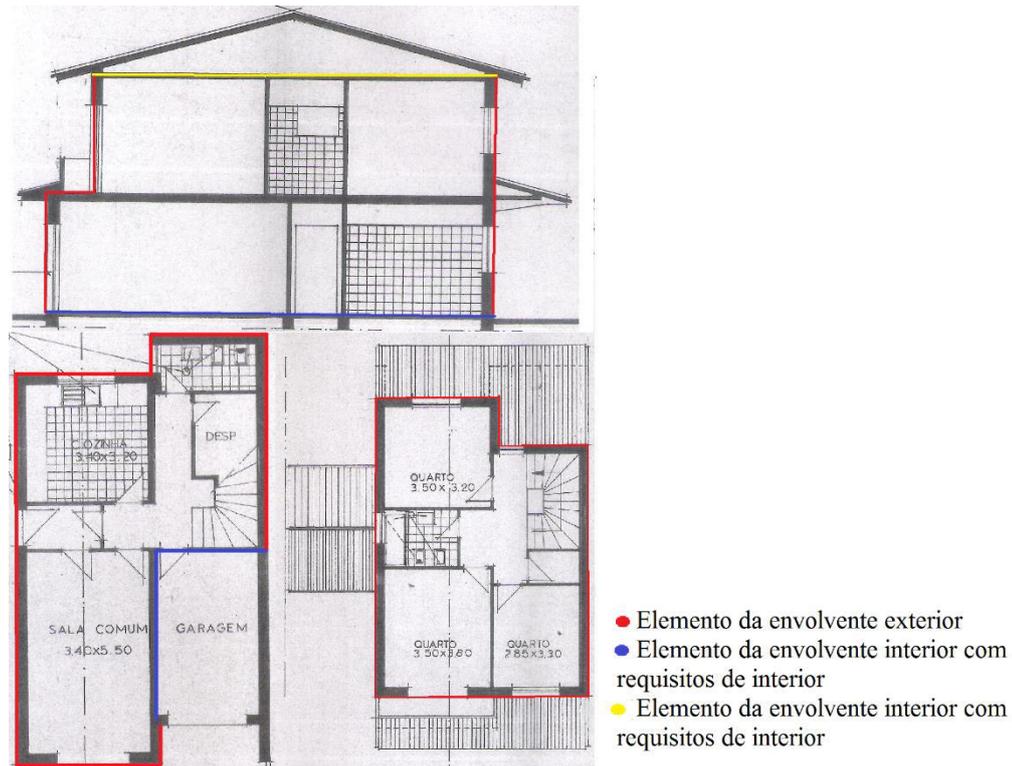


Figura 14 - Representação do traçado da envolvente do edifício em estudo

### 3.2.5. Inércia Térmica

O conceito de inércia térmica está associado à capacidade que os materiais possuem para armazenar calor. Por este motivo, as paredes exteriores, interiores e lajes devem ser concebidas como elementos de massa térmica, com capacidade de armazenar calor, contribuindo para uma melhor gestão dos recursos energéticos com vista ao conforto interior (Horta, 2012).

A inércia térmica pode ser dividida em três classes, Fraca, Média ou Forte, determinada tendo em conta a massa superficial útil por superfície de área de pavimento (Tabela 12), segundo a equação 15 apresentada no Despacho n. 15793-K (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013b), correspondente à Equação 6:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s_i} \times r \times S_i}{A_p} \quad (6)$$

Em que:

$M_{s_i}$  – Massa superficial útil do elemento  $i$  ;

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil;

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$  [ $m^2$ ];

$A_p$  – Área interior útil de pavimento [ $m^2$ ].

Para a determinação da massa superficial útil dos elementos de construção é necessário agrupá-los em três tipos e determinar a sua massa consoante as especificações apresentadas para cada um. Podendo ser elementos tipo EL1, da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente, EL2, elementos em contacto com o solo, ou EL3, elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento).

Para obter o valor correspondente à inércia térmica é necessário determinar o valor de  $r$ , fator de redução da massa superficial, que está dependente da resistência térmica do revestimento superficial interior, variando os valores consoante o tipo de elemento considerado.

Tabela 12 - Classe de Inércia Térmica

Classe de Inércia Térmica	$I_t$ [ $kg/m^2$ ]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Obtendo-se  $463,18 \text{ kg/m}^2$  para a inércia térmica, maior que  $400 \text{ kg/m}^2$ , ou seja, o edifício em estudo apresenta inércia térmica forte.

### 3.2.6. Preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS

A aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS tem como finalidade avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação enquadrado com o contexto regulamentar relativo ao desempenho térmico e energético dos edifícios, bem como o cumprimento dos requisitos mínimos de ventilação. O método de cálculo utilizado está de encontro com o método de cálculo apresentado no Despacho n.º 15793-E/2013 (Emprego, 2013b), no Despacho n.º 15793-I/2013 (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2013) e no Despacho n.º 15793-K/2013 (Ministério Da Economia E Do Emprego, 2013b).

Esta aplicação permite, através de um conjunto de dados de entrada, para edifícios novos ou existentes, obter a taxa de renovação do ar, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento, permitindo obter, nomeadamente, o valor de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ . Permite, ainda, obter o valor da taxa de renovação de ar do edifício de referência, o efeito da recuperação de calor na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento e o consumo de energia de ventiladores.

Para o seu preenchimento, tal como referido, é necessário introduzir determinados dados de entrada, nomeadamente: o enquadramento do edifício; as características de permeabilidade ao ar da envolvente; a existência de aberturas de admissão de ar na envolvente, condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta; o tipo de sistema de exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado ou exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão e existência de recuperados de calor (Verão).

Na Tabela 13 são evidenciados os dados necessários para o enquadramento do edifício.

Tabela 13 - Preenchimento da folha de cálculo – Aspectos relativos ao enquadramento do edifício

Tipo de edifício	Habitação Existente	Área útil (m <sup>2</sup> ):	129,97
		Pd (m):	2,7
Local (município)	Guimarães	N.º de pisos da fração	2
Região	A	Velocidade vento	Defeito REH
Rugosidade	II	Vento (u <sub>10REH</sub> : 3,6) (m/s)	0
Altitude do local (m)	536	Vol (m <sup>3</sup> ):	350,92
Número de fachadas expostas ao exterior (N <sub>fach</sub> )	2 ou mais	T <sub>exterior</sub> (°C)	7,1
		Z <sub>ref</sub> (m)	426
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	A <sub>env</sub> /A <sub>u</sub> :	0,12
		Proteção do edifício:	Desprotegido
Altura do edifício (H <sub>edif</sub> ) em m	5,4	Zona da fachada:	Inferior
Altura da fração (HFA) em m	5,4		

O edifício localiza-se na Região A (todo o continente, exceto as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e/ou de altitude superior a 600m, que, tal como as Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, pertencentes à Região B).

A rugosidade é de tipo II, uma vez que o edifício em estudo está localizado na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.

O edifício não possui caixas de estore, nem aberturas para a admissão de ar na envolvente e as caixilharias não possuem classificação. Não existem condutas de ventilação natural, nem condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta.

### **3.2.7. Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH**

Para a análise do comportamento térmico e desempenho energético do edifício, foi utilizada a folha de cálculo que traduz o Regulamento de Desempenho Energético dos edifícios de Habitação - REH (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto), desenvolvida pelo ITeCons, referente à versão de 29 de Abril de 2016.

Para iniciar o preenchimento da folha de cálculo é necessário introduzir dados como a identificação geográfica, identificação do imóvel e as características do imóvel.

O edifício privado, de habitação unifamiliar, com dois pisos, de tipologia T3, tem 129,97 m<sup>2</sup> de área útil e 2,7 m de pé direito. Está localizado no concelho de Guimarães, a periferia de uma zona urbana, a uma altitude de 536m, a mais de 5km da costa. O edifício foi construído entre 1981 e 1990.

Seguidamente é necessário fazer o levantamento dimensional, que consiste na medição individual de cada área das divisões que, em conjunto, formam o edifício. Tendo ainda em conta o valor do pé direito das mesmas. Como foi referido anteriormente, na apresentação do edifício em estudo, este possui 12 divisões, sendo estas três quartos, duas casas de banho, uma sala, uma cozinha, uma divisão destinada a arrumos, uma despensa, um corredor inferior e um superior, a área destinada à caixa de escadas e ainda um vestíbulo.

Para além disto, é preciso fazer a caracterização da envolvente exterior e da envolvente interior, através da introdução dos valores dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos que as

constituem. Sendo também necessária a inclusão das características referentes aos vãos envidraçados.

### **3.2.7.1. Ventilação**

Para além dos resultados obtidos para a ventilação, através do preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS, presentes na secção 4.1.1., é de realçar os seguintes aspetos, necessários no preenchimento da folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios:

- Sistema de ventilação – Cumpre a norma 1037-1? - Não.
- Foi medido o valor de n50? - Não.
- Tem aberturas de admissão de ar na fachada? - Não.
- Existem condutas de ventilação natural sem obstruções significativas? - Não.
- Existem meios mecânicos? - Não.
- Existem meios híbridos? - Não.
- É possível efetuar arrefecimento noturno com janelas? - Sim.

### **3.2.7.2. Sistemas Técnicos**

No que respeita a sistemas técnicos, uma vez que o edifício em estudo pertence à década de 80 conclui-se que não possui sistemas técnicos para climatização, não possui isolamento térmico nas tubagens de AQS e não dispõe de chuveiros ou sistemas de duche certificados de eficiência hídrica com rótulo A ou superior, dispondo de abastecimento de combustível gasoso, o gás natural.

Assim, para o cálculo das necessidades energéticas, quer para aquecimento quer para arrefecimento não são considerados sistemas, uma vez que, pelos dados apresentados pela ADENE, num edifício correspondente à década de 80 não existem sistemas para climatização. Para aquecimento de águas sanitárias é definido um sistema a gás natural, um esquentador a gás, uma vez que o edifício possui uma rede de abastecimento de gás natural.

### **3.3. CENÁRIOS DE MELHORIA**

Uma vez que o objetivo é obter um edifício de nível nZEB, que se traduz num edifício de elevado desempenho energético, é necessário implementar medidas de melhoria que permitam melhorar a classe energética para uma classe energética bastante superior, de modo a ser possível obter um edifício de consumo energético quase nulo.

De seguida serão apresentados dois cenários de intervenção, onde se vai fazer variar a constituição da parede exterior, sendo adotado para os restantes elementos somente uma solução de reabilitação, como acontece também nos sistemas técnicos adotados.

#### **3.3.1. Elementos Construtivos**

##### **3.3.1.1. Paredes Exteriores**

Para a reabilitação das paredes exteriores optou-se por duas soluções que incorporam isolamento pelo exterior, uma vez que contribuem para a diminuição do risco de condensações e permitem a continuidade da camada de isolamento térmico (Freitas, 2015). Possibilitando, ainda, a não alteração das áreas dos espaços que constituem a habitação.

As soluções escolhidas consistem na aplicação do sistema ETICS. A primeira consiste no sistema ETICS com aplicação de isolamento em EPS (poliestireno expandido) e a segunda, à aplicação de placa de aglomerado negro de cortiça expandida à vista, funcionando como isolamento e revestimento da parede de fachada. No que respeita às espessuras dos isolamentos, foram consideradas as espessuras recomendadas pela ADENE (ADENE, n.d.), tendo em conta a zona climática em análise.

##### **3.3.1.1.1. Primeiro Cenário**

Um aspeto fundamental é que o edifício não deve permitir grandes trocas de calor com o exterior, então é necessária, uma vez que o edifício em análise não possui qualquer isolamento térmico, colocar isolamento nos elementos construtivos, recorrendo-se ao sistema ETICS com EPS, uma vez que permite um excelente desempenho termo-acústico, excelente resistência mecânica, estabilidade dimensional do material, elevada durabilidade sem perda de características, conforto, entre outras (Amorim Isolamentos, n.d.).

Através da Tabela 14, e da Figura 15, é possível identificar os materiais que constituem o elemento em análise, bem como as suas espessuras.

Tabela 14 - Parede exterior – Primeiro cenário de melhoria

Elemento - Constituição		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Parede exterior	Reboco	2	36	0,32
	Isolamento EPS	10		
	Tijolo furado 22	22		
	Reboco	2		

A solução apresentada incorpora na sua constituição a aplicação de placas de poliestireno expandido, EPS, fixas à parede exterior existente através de cola e fixações mecânicas, posteriormente revestidas por um reboco.

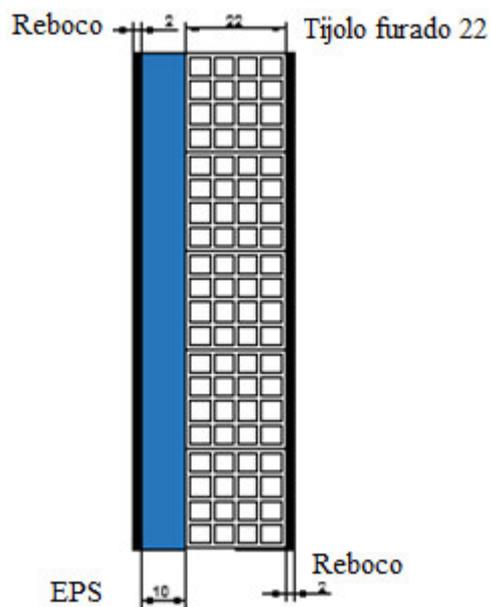


Figura 15 - Parede exterior – Primeiro cenário de melhoria (dimensões em cm)

Através desta medida é possível reduzir cerca de 80% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente à parede exterior, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo para caso de estudo.

### 3.3.1.1.2. Segundo Cenário

O segundo cenário de melhoria consiste na aplicação aglomerado de cortiça expandida, através de placas, à vista, funcionando como revestimento e como acabamento de parede exterior, proporcionando um aspeto natural da cortiça à vista. Este sistema permite um excelente desempenho termo-acústico, uma excelente resistência mecânica, durabilidade sem perda de características, conforto com um isolamento saudável, entre outros (SOFALCA, n.d.).

Através da Tabela 25 e da Figura 16, é possível identificar os materiais que constituem a parede exterior que integra o segundo cenário se reabilitação apresentado para a reabilitação do edifício, bem como as suas espessuras.

Tabela 15 - Parede exterior – Segundo cenário de melhoria

Elemento - Constituição		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Parede exterior	Placa de ICB	10	34	0,34
	Fixação mecânica	-		
	Cola de resina de reação	-		
	Tijolo furado 22o	22		
	Reboco	2		

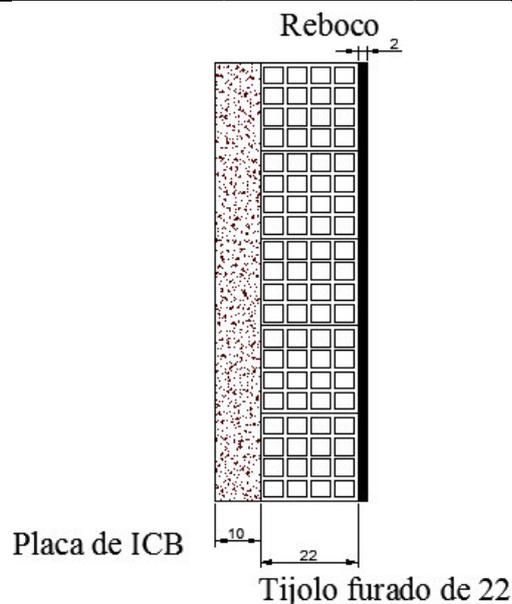


Figura 16 - Parede exterior – Segundo cenário de melhoria (dimensões em cm)

Através da aplicação deste cenário é possível reduzir cerca de 80% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente à parede exterior, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo caso de estudo.

### 3.3.1.2. Restantes Elementos Construtivos

Como referido, para os restantes elementos construtivos foi adotado somente um cenário de reabilitação, que será conjugado com o cenário um e cenário dois, que correspondem às diferentes paredes exteriores consideradas.

É necessário frisar que as espessuras de isolamento adotadas para as restantes soluções construtivas se apresentam conforme as espessuras apresentadas pela ADENE, tendo em consideração a zona climática associada ao caso de estudo (ADENE, n.d.).

#### 3.3.1.2.1. Cobertura Exterior - Varanda

Dada a existência de uma varanda, há a necessidade de a isolar e impermeabilizar, de modo a evitar perdas de calor, bem como infiltrações de humidade através deste elemento. Como tal, esta solução apresenta elementos que permitem alcançar esse objetivo (Tabela 16).

A Tabela 16 e a Figura 17 sintetizam os materiais e as espessuras dos materiais que constituem a varanda.

Tabela 16 - Solução de melhoria – cobertura exterior - varanda

Elemento - Constituição		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Pavimento exterior - varanda	Ladrilho cerâmico	2	35	0,27
	Betonilha	4		
	Manta geotêxtil	-		
	Isolamento EPS	10		
	Membrana de impermeabilização	-		
	Camada de forma	4		
	Laje estrutural - cerâmica	15		

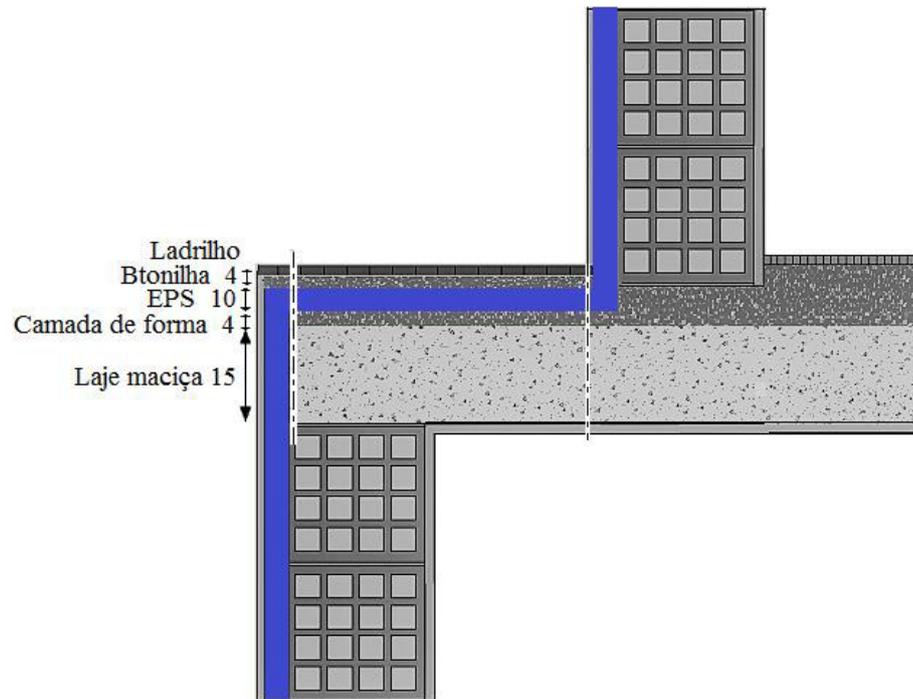


Figura 17 - Solução de melhoria – Cobertura exterior plana (dimensões em cm)

Através desta medida é possível reduzir cerca de 88% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente à cobertura exterior, da varanda, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo caso de estudo.

### 3.3.1.2.2. Pavimento R/C

Uma vez que o pavimento do rés-do-chão se apresenta sobre um desvão ventilado, podendo surgir problemas de condensações internas, se não for devidamente executado.

Através da tabela 17 e da Figura 18 encontram-se os materiais e as espessuras que constituem o pavimento do rés-do-chão.

Tabela 17 - Solução de melhoria – Pavimento R/C

Elemento - Constituição		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Pavimento R/C	Ladrilho cerâmico	2	36	0,20
	Betonilha	4		
	Manta geotêxtil	-		
	Isolamento EPS	10		
	Membrana de impermeabilização	-		
	Emulsão betuminosa	-		
	Camada de regularização	5		
	Laje estrutural	15		



Figura 18 - Solução de melhoria – Pavimento R/C (dimensões em cm)

Por se tratar de uma reabilitação, numa posição superior à laje, aligeirada, é colocada uma membrana de impermeabilização, para impermeabilizar o pavimento, e uma camada de isolamento térmico, de modo a impedir trocas de calor.

Permitindo reduzir cerca de 90% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente ao pavimento do R/C, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo para caso de estudo.

### 3.3.1.2.3. Cobertura

Uma vez que a cobertura de um edifício se encontra bastante exposta, tanto no inverno como no verão, há a necessidade de isolar. Neste caso, o isolamento é colocado sobre a laje de cobertura, recorrendo-se ao XPS, poliestireno extrudido, com 10 cm de espessura.

Pela Tabela 24 e Figura 26 é possível verificar quais os materiais, e respectivas espessuras, que constituem a cobertura proposta para a reabilitação do edifício.

Tabela 18 - Solução de melhoria - Cobertura

Elementos		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Cobertura	Telha cerâmica	0,8	29	0,28
	Isolamento XPS	12		
	Laje estrutural - cerâmica	15		
	Estuque	2		

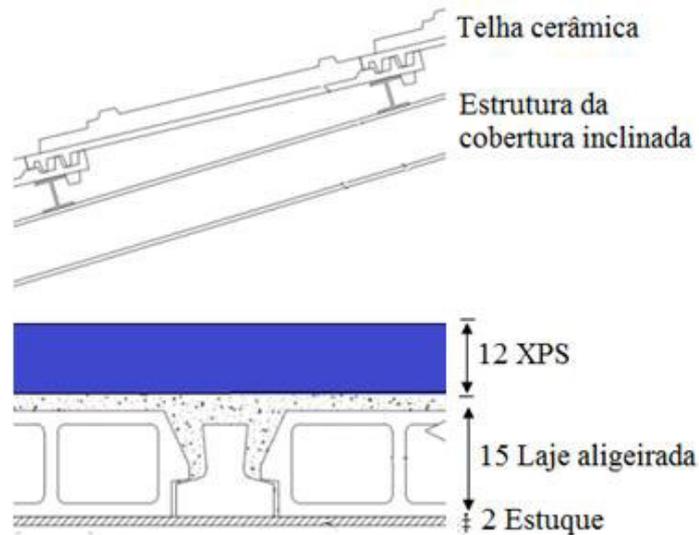


Figura 19 - Solução de melhoria – Cobertura (dimensões em cm)

Através desta medida é possível reduzir cerca de 88% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente à cobertura exterior inclinada, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo caso de estudo.

#### 3.3.1.2.4. Pavimento interior

Sobre a laje do pavimento será colocado isolamento térmico, uma vez que o pavimento interior, para além de promover a separação do piso R/C do piso superior, se encontra sobre um espaço não útil, permitindo manter uma temperatura mais homogénea no interior da habitação.

Pela Tabela 19 e Figura 20 é possível verificar quais os materiais, e respetivas espessuras, que constituem o pavimento interior da proposta para a reabilitação do edifício.

Tabela 19 - Solução de melhoria – Pavimento interior

Elementos		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Pavimento interior	Ladrilho cerâmico	2	29	0,50
	Betonilha leve c/ argila expandida	4		
	Isolamento em XPS	6		
	Laje estrutural - cerâmica	15		
	Estuque	2		

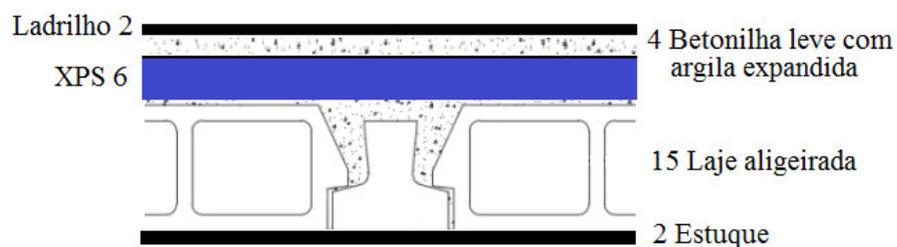


Figura 20 - Solução de melhoria – Pavimento interior (dimensões em cm)

A aplicação da proposta de reabilitação permite reduzir cerca de 70% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente ao pavimento interior, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo para caso de estudo.

### 3.3.1.3. Paredes Interiores

Para a solução de paredes interiores, quer divisórias, quer de separação de ENU de EU foi introduzida uma placa de ICB, de modo a tornar o elemento acusticamente melhor, relativamente à solução inicial. É ainda introduzida uma placa de gesso cartonado hidrófugo, uma vez que existem zonas húmidas, como a cozinha, as casas de banho, onde é produzido com frequência vapor de água.

Através da Tabela 20 e Figura 21 encontram-se sintetizados os materiais, e respetivas espessuras, que constituem as paredes interiores.

Tabela 20 – Solução de melhoria – Parede Interior

Elementos		Espessura (cm)	Espessura total (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Parede interior	Reboco	2	34	0,58
	Tijolo 22 furado	22		
	Argamassa de reboco	2		
	Placa de ICB	4		
	Placa de gesso cartonado hidrófugo	2		
	Reboco	2		

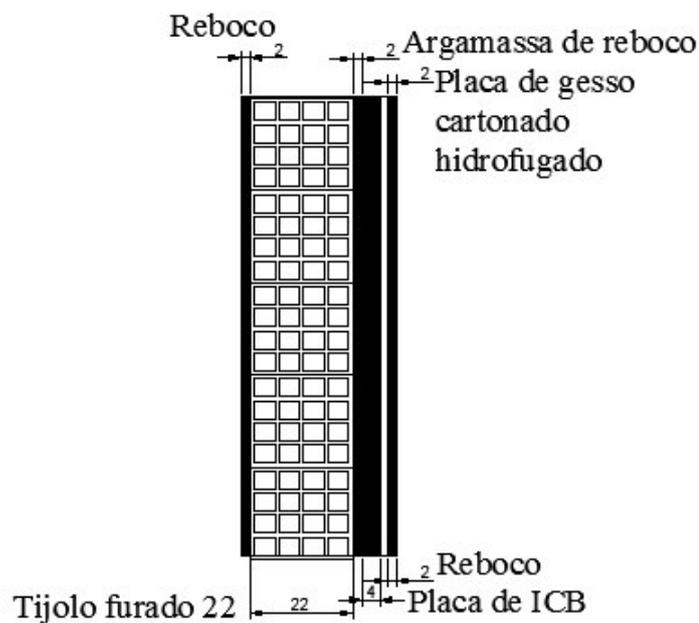


Figura 21 - Solução de melhoria – Paredes interiores (dimensões em cm)

A aplicação da proposta de reabilitação permite reduzir cerca de 65% do valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente à parede interior, comparativamente com o valor apresentado para o mesmo caso de estudo.

### 3.3.1.3.1. Vãos envidraçados

A maioria das janelas, em Portugal, possuem vidro simples, o que proporciona maiores trocas de calor com o exterior. Então, há a necessidade de as melhorar, de forma a obter uma janela eficiente, ou seja, uma janela que, pelas suas características proporciona o aumento do isolamento térmico e acústico da habitação, permitindo, ainda, a redução do valor da fatura de energia.

No que respeita à caixilharia optou-se por um caixilho em PVC, uma vez que, comparativamente com outros materiais, pelas suas características como, a durabilidade, bom isolamento térmico e acústico, boa resistência à corrosão, entre outros, torna-se um material mais interessante (OriginalPerfil - caixilharia em alumínio, n.d.).

Os envidraçados passarão a ser constituídos por vidros duplos, 4mm+16mm+4mm, de baixa emissividade no exterior, sendo o vidro interior um vidro simples incolor, cuja lâmina de ar é preenchida por argon. Estes vidros apresentam um desempenho superior, pois partem de um vidro incolor sobre o qual é depositada uma capa fina e transparente composta por materiais de base metálica. Esta capa permite refletir os raios infravermelhos de longo comprimento de onda, aqueles que transportam o calor e são responsáveis pelo aquecimento.

Apresentando as suas características através da Tabela 21:

Tabela 21 – Características dos vãos envidraçados

Caraterísticas	
Uw (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,0
Uwdn (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,87
FS Global Prot. Móveis e Fixas Ativadas	0,025
FS	0,6
Fg	0,65
g <sub>Lvi</sub>	0,47
g <sub>Lvc</sub>	0,04

Quanto à proteção dos vãos envidraçados, esta será garantida por intermédio de uma proteção exterior, contrariamente à situação inicial, através de persiana de réguas metálicas, em alumínio, de cor clara, que permitem boa estanquidade ao ar. Encontram-se pelo exterior de modo a evitar o fenómeno designado de efeito de estufa.

Esta solução de oclusão apresenta uma resistência térmica adicional que pode ser definida consoante a sua permeabilidade ao ar, uma vez que a solução apresentada apresenta boa estanquidade, ou seja, baixa permeabilidade ao ar, segundo a norma EN ISO 10077-1 (ISO 10077-1:2006, 2009), o acréscimo de resistência térmica oferecido é de 0,15 m<sup>2</sup>.°C/W.

Para que seja possível obter o valor do coeficiente de transmissão térmica médio dia noite, com o acréscimo de resistência oferecido pelo dispositivo de oclusão, pode recorrer-se à Equação 8 apresentada na norma EN ISO 10077-1 (ISO 10077-1:2006, 2009).

$$U_{wdn} = \frac{1}{1/U_w + \Delta R} \quad (6)$$

Onde  $\Delta R$  – Resistência térmica adicional.

Obtendo-se para o coeficiente de transmissão térmica média dia noite de  $0,87 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Traduzindo-se numa redução de 80%, comparativamente com o coeficiente de transmissão térmica médio dia noite dos envidraçados correspondentes ao caso de estudo.

### **3.3.1.3.2. Inércia térmica**

A contribuição da inércia térmica é fundamental, uma vez que se prende à capacidade que os materiais possuem para armazenar calor.

Para os dois cenários de reabilitação foi determinado o valor da inércia térmica, obtendo-se valores correspondente a uma inércia térmica forte para os dois cenários de  $403,26 \text{ [kg/m}^2\text{]}$ .

## **3.3.2. Sistemas Técnicos**

Completada a otimização da envolvente é necessário intervir ao nível dos equipamentos, quer para a produção de AQS quer para a climatização do edifício e ainda para produção de energia elétrica

### **3.3.2.1. Sistemas solares**

Para a determinação da energia produzida a partir dos sistemas solares, quer solares térmicos quer fotovoltaicos, recorreu-se ao software, SolTerm, disponibilizado pelo LNEG, que consiste

num sistema de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, ajustado às condições climáticas de Portugal.

Para além do pré-dimensionamento, o software apresenta ferramentas de otimização automática sobre vários critérios. Para além disto, disponibiliza também uma análise económica e uma análise de benefícios Energia-Ambiente, especialmente do uso de energia fóssil evitada e das emissões de gases com efeito de estufa

O ponto de partida prende-se com a identificação do clima, para tal, é necessário identificar o Concelho onde está implantado o edifício, onde é imperativo fornecer informação como propriedades que afetam, em especial, o clima radioativo, como, a turbidez da atmosfera, o albedo e as obstruções presentes no horizonte.

Por defeito o SolTerm usa uma máscara de 3° de altura, tendo um efeito prático desprezável, uma vez que os dados de radiação solar para esta altura solar são muito reduzidos, existindo também uma máscara de 20° de altura angular constante.

O albedo, por defeito, apresenta um valor típico de 20%, apropriado à maioria dos casos, existindo opções de maior ou menos refletividade. Sendo considerado para o parâmetro da turbidez da atmosfera o valor típico, associado a uma situação média de aerossóis e poeiras.

### **3.3.2.1.1. Sistemas solares térmicos**

Após a definição da zona e dos detalhes do local, passa-se para as definições relacionadas com os sistemas solares.

Inicialmente é preciso definir a configuração do sistema, neste caso escolheu-se um sistema com depósito, sendo seguidamente fornecidas as características do mesmo. Ao sistema solar térmico é associado um depósito com 250l de capacidade de armazenamento.

Os sistemas escolhidos são 5 coletores solares ESSE – European Solar Engineering – Ecosol 2,32, com um rendimento de 0,81, voltados a Sul com uma inclinação de 36°, ocupando uma área total de 11,6 m<sup>2</sup>, de acordo com os dados fornecidos pelo software para o coletor selecionado. Sendo apoiado por um sistema elétrico, a bomba de calor.

Através dos coletores solares selecionados é possível produzir 3415 kWh por ano.

### **3.3.2.1.2. Sistemas fotovoltaicos**

O sistema fotovoltaico selecionado foi o modelo SW 185 Mono da SolarWorld, sendo agrupados oito módulos com uma potência nominal de 1,5 kW, voltados a sul e com uma inclinação de 36°, de modo a otimizar a radiação solar incidente. Apresentando uma área total de 10,4m<sup>2</sup>, de acordo com os dados fornecidos pelo software para o painel selecionado, permitindo a produção de 1858kWh anuais.

### **3.3.2.2. Produção de AQS**

A preparação de águas quentes sanitárias será garantida por intermédio de painéis solares térmicos, que consistem no aquecimento de águas recorrendo a energia solar

No entanto, para fazer face às necessidades nos meses de inverno, com menor incidência solar, onde os sistemas solares térmicos não são capazes de garantir todas as necessidades, é necessário um sistema de apoio, que irá funcionar como complemento, de modo a que as necessidades dos habitantes sejam satisfeitas, proporcionando o nível de conforto desejado.

Para tal, como sistema de apoio recorre-se a uma bomba de calor, que consiste num sistema capaz de transportar calor desde locais frios até lugares mais quentes, contrariando o fluxo de calor de locais mais quentes para locais mais frios.

Para além de proporcionar poupança de energia, permite, ainda, a redução de emissão de CO<sub>2</sub>, uma vez que consome menor quantidade de energia primária, comparativamente com os meios de aquecimento tradicionais. A bomba de calor é recorrentemente associada como sistema de apoio aos painéis solares térmicos, em detrimento de outros sistemas, uma vez que são economicamente rentáveis, permitindo alcançar uma redução de cerca de 70% na relação energia calorífica produzida relativamente à energia elétrica consumida.

A bomba de calor selecionada consiste numa bomba de calor ar-água, de ciclo reversível, que permite o aquecimento e arrefecimento, com um COP, coeficiente de performance, de 4,41 e EER, índice de eficiência de energia, de 3,65, funcionando todo o ano.

### 3.3.2.3. Climatização dos espaços

De modo a rentabilizar os sistemas a integrar na habitação, para o aquecimento e arrefecimento dos espaços, recorre-se a uma bomba de calor, que para além de funcionar como sistema de apoio à produção de águas quentes sanitárias, irá permitir a climatização dos espaços interiores, proporcionando o conforto aos utilizadores (Carrier, 2010). Uma vez que as bombas de calor apresentam a forma mais económica para aquecimento central (SolarWaters, n.d.-a). Onde se encontram explanadas as suas aplicações para aquecimento na figura 22.

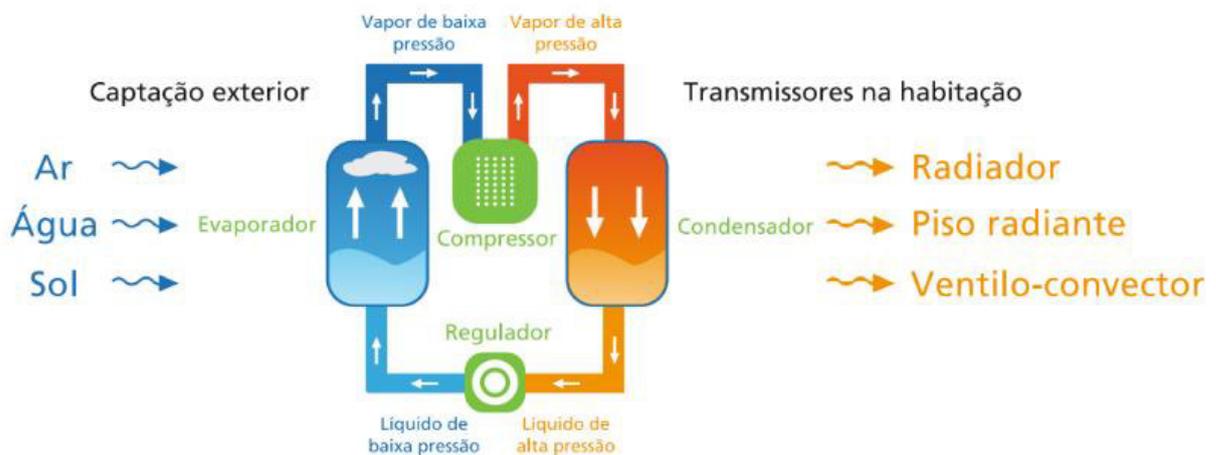


Figura 22 – Bomba de calor (SolarWaters, n.d.-a)

A rentabilidade da bomba de calor para o aquecimento central é tanto maior quanto menor a diferença entre a temperatura da fonte de calor e a temperatura do circuito de aquecimento. Sendo a melhor opção os aquecimentos que funcionam a baixa temperatura.

O sistema mais utilizado para climatização associado às bombas de calor são os ventiloconvectores. Estes sistemas proporcionam o aquecimento e arrefecimento, de forma uniforme rápida e fácil, dado que trabalham com a água a menor temperatura, pelo que, proporcionam custos reduzidos de funcionamento, quando comparados aos radiadores, por exemplo (SolarWaters, n.d.-a).

A água que alimenta os ventiloconvectores é proveniente do sistema central de aquecimento, aquecida ou arrefecida através da bomba de calor, permitindo ainda receber apoio do sistema solar térmico.

### **3.4. Níveis ótimos de rentabilidade**

A determinação dos níveis ótimos de rentabilidade foi realizada com base no relatório “Portugal EPBD National report on calculation of cost – optimal levels of minimum energy performance requirements for residential buildings” (Almeida, Ferreira, & Rodrigues, 2015).

Esta metodologia dá resposta ao Artigo 5.º da Diretiva 2010/31/UE (EPBD-recast), apresentando o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos do desempenho energético para os edifícios de habitação.

O cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade baseia-se na metodologia do valor atual líquido dos custos globais, que considera o investimento inicial, a soma dos custos anuais relativos a cada ano e o valor final ou residual, todos com referência ao ano de início.

A análise é feita para uma perspetiva privada dos custos, que reflete a comparação de investimentos para o cálculo da rentabilidade ótima sobre uma perspetiva macroeconómica, devendo ser incluídos os custos das emissões dos gases com efeito de estufa, sendo definido como o valor monetário dos custos ambientais provocados pelas emissões de gases relacionados com o consumo de energia por parte do edifício.

Para o cálculo do custo global e custos de investimento é incluída a mão-de-obra e os custos dos materiais, extraídos do gerador de preços CYPE, que permite prever os custos de materiais, instalação e manutenção para as diversas soluções. No que respeita à substituição dos sistemas de climatização e AQS, baseando os tempos de vida útil na norma EN 15459: 2006 (15 anos para os ventiloconvectores e 20 anos para a bomba de calor) e os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

Quanto às taxas de desconto, uma vez que se trata de um edifício unifamiliar na perspetiva privada, tendo em conta a metodologia aplicada, são consideradas taxas de 6%, como apresentados no documento considerado.

No que respeita à evolução dos preços da energia foram utilizados os valores apresentados no relatório “Portugal EPBD National report on calculation of cost – optimal levels of minimum energy performance requirements for residential buildings”.

Para termo de comparação foi desenvolvida uma solução de base, que consiste em ações de manutenção do caso de estudo, como reparações da envolvente acompanhada dos custos de mão de obra e manutenção apropriados. As intervenções consistem na reparação de fendas, limpeza mecânica e pintura das paredes de fachada, na substituição dos parapeitos cerâmicos, reparação da cobertura inclinada, substituição das janelas existentes e a substituição do esquentador a gás.

Para esta análise foi necessário proceder à orçamentação das soluções a incorporar no edifício, que integram custos de materiais e custos de mão de obra associados sendo também necessários os custos de manutenção, que estão associados a 10 anos, gerados a partir do CYPE (CYPE, n.d.).

A Tabela 22 comporta a informação relativamente à solução de base, que serviu como forma de comparar os custos necessários para recuperar o edifício, apesar de não cumprir os valores regulamentares das necessidades energéticas nem os coeficientes de transmissão térmica máximos.

Tabela 22 – Orçamentação da solução de base

	Base (€)	
	Intervenção	Manutenção
Parede Exterior	4 280,99	36,59
Vãos Envidraçados	486,47	10,17
AQS	174,61	35,5

A Tabela 23 permite identificar os custos associados à aplicação do primeiro cenário de melhoria, correspondente à aplicação do sistema ETICS, bem como a aplicação das soluções apresentadas para os restantes elementos que constituem o edifício, como pavimentos, coberturas, paredes, vãos envidraçados, etc. e, ainda, os custos associados aos sistemas técnicos

adotados, em particular, a bomba de calor, os ventiloconvectores, os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

Tabela 23 – Orçamentação do cenário 1 – ETICS com EPS

	Cenário 1 - ETICS (€)	
	Intervenção	Manutenção
Envolvente opaca exterior e envolvente interior	17 734,25	257,66
Vãos Envidraçados	4 685,39	60,49
Acessórios	3 927,00	224
AQS	7 452,63	575,33
Renováveis	56 372,36	2 543,88

A Tabela 24 permite identificar os custos associados à aplicação do primeiro cenário de melhoria, correspondente à aplicação das placas de ICB, bem como a aplicação das soluções apresentadas para os restantes elementos que constituem o edifício, como pavimentos, coberturas, paredes, vãos envidraçados, etc. e, ainda, os custos associados aos sistemas técnicos adotados, em particular, a bomba de calor, os ventiloconvectores, os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

Tabela 24 - Orçamentação do cenário 2 - ICB

	Cenário 2 - ICB (€)	
	Intervenção	Manutenção
Envolvente opaca exterior e envolvente interior	27 455,39	261,52
Vãos Envidraçados	4 685,39	60,49
Acessórios	3 927,00	224
AQS	7 452,63	575,33
Renováveis	56 372,36	2 543,88

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Caso de estudo – situação inicial

#### 4.1.1. Resultados do preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS

Para as condições iniciais do edifício, devido às suas características, são obtidos, para a análise das condições de ventilação, os seguintes resultados, sintetizados na Tabela 25:

Tabela 25 - Resultados obtidos para a ventilação do edifício em estudo

Balanço de energia - Edifício	
$R_{ph,I}$ ( $h^{-1}$ ) - Aquecimento	0,4
$R_{ph,V}$ ( $h^{-1}$ ) - Arrefecimento	0,6
$W_{vm}$ (kWh)	0
Balanço de energia - Edifício de Referência	
$R_{ph,IREF}$ ( $h^{-1}$ )	0,4
Caudal mínimo de ventilação	
$R_{ph}$ estimado em condições nominais ( $h^{-1}$ )	0,29

Dado que existem requisitos mínimos, e que o caudal estimado em condições nominais é de  $0,29h^{-1}$ , há a necessidade de ponderar medidas que aumentem os níveis de ventilação, proporcionando o cumprimento dos requisitos mínimos de ventilação.

#### 4.1.2. Resultados do Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH

Após o preenchimento completo da folha de cálculo, de acordo com as características do edifício, e, ainda, acrescentando as condições de ventilação, obtém-se os seguintes valores para os indicadores energéticos, apresentados na tabela 26:

Tabela 26 - Resultados obtidos através do preenchimento da folha de cálculo

Indicador Energético	Valor de Cálculo	Valor de Referência
Nic	256,95	57,66
Nvc	9,33	7,95
Qa	2377	2377
Ntc	665,2	173,33
Ntc/Nt	3,88	F

Onde:

- Nic - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano)
- Nvc - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano)
- Qa - Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)
- Ntc - Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

Após a análise dos valores obtidos denota-se um balanço negativo, uma vez que o valor referente necessidades nominais anuais de energia primária útil para aquecimento, Nic, ultrapassa em cerca de quatro vezes o valor de referência.

A classe energética obtida, para o edifício, é F, traduzindo-se em custos anuais mais elevados, bem como um desempenho energético muito inferior ao mínimo recomendável.

## 4.2. Sistemas Solares

### 4.2.1. Solar Térmico – Análise Económica

Através do software SolTerm é possível obter uma análise económica, tendo em conta a utilização dos sistemas solares térmicos. Quando existe capital disponível para investir neste tipo de sistema, que apresenta um custo de investimento de 5800€, e custos associados à manutenção e a reparações, rondam os 2600€, é possível evitar os custos associados ao valor da energia fornecida pela rede, de 16490€, associados a um cenário de 20 anos, vida útil do sistema.

## **4.2.2. Benefícios Energia - Ambiente**

Recorrendo ao SolTerm é possível estimar as reduções do uso de energia fóssil e de emissões de gases com efeito de estufa, sendo calculadas a partir de energia primária deslocada pelo uso do sistema solar.

Uma vez integrados os sistemas solares térmicos é possível evitar o consumo de 5723 MWh/ano de energia primária de origem fóssil, e, ainda, evitar a emissão de 1,26 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/ano. Através dos sistemas fotovoltaicos é possível evitar o consumo de 226MWh/ano de energia primária de origem fóssil e evitar a emissão de 50kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ano.

Os consumos de energia fóssil evitados são apresentados conforme o combustível fóssil não consumido.

## **4.3. Resultados da Aplicação dos Cenários de Melhoria**

### **4.3.1. Resultados do preenchimento da folha de cálculo: Aplicação LNEC – Ventilação REH e RECS**

No processo de reabilitação do edifício houve um decréscimo do pé-dieito da habitação, uma vez que nos pavimentos foi colocado isolamento, passando-se de um pé-direito de 2,7m para 2,5m.

No que respeita à ventilação, foram introduzidas duas condutas de ventilação natural, uma na cozinha e a outra na casa de banho, uma vez que são locais onde há a produção de vapores, funcionando como um sistema de exaustão e, ainda, uma conduta de admissão na cozinha. Ambas as condutas apresentam perda de carga fraca.

Após a reabilitação do edifício, com base nas suas características, obtiveram-se os resultados apresentados através da Tabela 27:

Tabela 27 - Resultados obtidos para a ventilação dos cenários em estudo

Balanço de energia - Edifício	
$R_{ph,I}$ ( $h^{-1}$ ) - Aquecimento	0,52
$R_{ph,V}$ ( $h^{-1}$ ) - Arrefecimento	0,6
$W_{vm}$ (kWh)	0
Balanço de energia - Edifício de Referência	
$R_{ph,I,REF}$ ( $h^{-1}$ )	0,4
Caudal mínimo de ventilação	
$R_{ph}$ estimado em condições nominais ( $h^{-1}$ )	0,41

Após a análise dos resultados é de realçar que o caudal de ventilação estimado apresenta um valor satisfatório.

#### **4.3.2. Resultados do Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH**

O objetivo dos cenários de melhoria apresentados tem como base a diminuição das necessidades energéticas associadas ao edifício, determinadas através da folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de habitação, baseado no REH.

Após o preenchimento da folha de cálculo com todos os dados referentes ao edifício, bem como os sistemas técnicos selecionados, para climatização e como apoio para a produção de AQS, e, ainda, o contributo das energias renováveis, provenientes dos sistemas solares térmicos, para aquecimento de água e os sistemas fotovoltaicos, para produção de energia elétrica, é possível obter os resultados das necessidades energéticas, apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Resultados do preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento e Energético de Edifícios - REH

		1º Cenário	2º Cenário
Indicador Energético	Valor de Referência	Valor de Cálculo	Valor de Cálculo
Nic	24,77	14,20	16,51
Nvc	7,95	6,17	5,87
Qa	2377	2377	2377
Ntc	46,99	3,62	4,40
Classe Energética	Ntc/Nt	A+	A+

Os valores obtidos para a necessidade energéticas não diferem muito, uma vez que a qualidade da envolvente apresenta características equivalentes, dado que, para os cenários de reabilitação a principal diferença é a fachada exterior, que, no entanto, se traduzem em valores da mesma ordem de grandezas. E, ainda, o facto de os valores dos coeficientes de transmissão térmica se apresentarem muito próximos.

É possível constatar que, através da aplicação dos dois cenários de reabilitação, é possível reduzir cerca de 99% das necessidades nominais anuais globais de energia primária, uma vez que foi possível reduzir cerca de 95% das necessidades de aquecimento e 34% das necessidades de arrefecimento. Tendo em conta os valores obtidos para o caso de estudo, apresentados na secção 4.1.2., comparativamente com os valores obtidos para a aplicação dos cenários de reabilitação.

Posto isto, para espessuras de isolamento da ordem dos 10cm, no primeiro e segundo cenários, secção 3.3.1.1., obtém-se coeficientes de transmissão térmica da mesma ordem de grandeza. No entanto, apesar de ser obtida a mesma classe energética, A+, o primeiro cenário, correspondente à aplicação de ETICS com isolamento em EPS nas paredes exteriores, obteve o menor valor para as necessidades nominais anuais globais de energia primária, tornando-se a melhor solução de reabilitação.

#### 4.4. Resultados da Aplicação da Metodologia – Níveis Ótimos de Rentabilidade

Após a aplicação dos cenários de reabilitação, através da metodologia de avaliação dos níveis ótimos de rentabilidade (Ferreira, Almeida, Rodrigues, & Araújo, 2014), é possível observar os custos associados à aplicação dos dois cenários de reabilitação propostos.

Para a aplicação da metodologia foi necessário proceder à orçamentação das obras de reabilitação associados aos cenários de reabilitação, que incorporam os custos de mão de obra. Onde o cenário base apresentado consiste na manutenção do caso de estudo, baseando-se em pequenas obras de reparação, enunciadas na secção 3. 4..

Os valores apresentados para a intervenção consistem na orçamentação das ações de reabilitação associadas aos cenários apresentados, integrando custos de materiais, mão de obra e sistemas técnicos, associados aos valores de manutenção, apresentando-se na Tabela 29, os custos em euros, €:

Tabela 29 - Comparação dos custos associados às intervenções

Cenário	Base		1 - ETICS com EPS		2 - ICB à vista	
	Intervenção	Manutenção	Intervenção	Manutenção	Intervenção	Manutenção
Envolvente Opaca	6 762,38	82,27	10 548,77	243,65	20 269,91	247,51
Envolvente Envidraçada	486,47	10,17	4 685,39	60,49	4 685,39	60,49
Acessórios	0	0	3 927,00	224	3 927,00	224
AQS	174,61	35,5	7 452,63	575,33	7 452,63	575,33
Renováveis	0	0	56 372,36	2 543,88	56 372,36	2 543,88
Total	7 423,46 €	127,94 €	82 986,15 €	3 647,36 €	92 707,29 €	3 651,21 €

No que respeita ao primeiro cenário, para além destes valores, investimento inicial, acrescido, ao fim de 30 anos, com as substituições dos sistemas técnicos se obtém um custo de 121 981€. E, os custos totais, incluindo os custos associados à energia elétrica, afeto a taxas e à variação do custo da eletricidade, de 139 533€.

Para o segundo cenário, no fim de 30 anos, o investimento inicial e substituição de sistemas técnicos, é de 133 938€, que quando acrescentados os custos da eletricidade origina um montante de 151 655€.

Tabela 30 – Resultados da aplicação da metodologia

Solu- ção	Custo ini- cial glo- bal	Custos de exploração (30 anos)	Custos to- tais (30 anos/m <sup>2</sup> )	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ntc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Redu- ção Ntc
	Privado	Privado	Privado	Total	Total	Total	Total	
Base	9 179 €	97 758 €	822,78	192,13	10,08	20,55	500,88	
1	121 981 €	17 552 €	1 073,58	14,20	6,17	16,44	3,62	99,28%
2	133 938 €	17 717 €	1 166,76	16,51	5,87	16,44	4,40	99,12%

Verificando-se que em relação à situação inicial, anterior à reabilitação, o cenário que proporcionou os melhores resultados é a aplicação do sistema ETICS com EPS.

## **5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **5.1. Conclusões**

O objetivo principal desta dissertação prende-se com soluções de reabilitação que permitem alcançar um edifício com características de um edifício nZEB, mostrando a viabilidade económica no ciclo de vida do edifício. Esta necessidade deve-se à procura de reduzir os consumos energéticos dos edifícios de habitação, e consequentemente a redução das emissões de gases com efeito de estufa, CO<sub>2</sub>, de modo cumprir com as metas definidas na EPBD-recast.

Através da aplicação da metodologia de cálculo das necessidades energéticas dos edifícios definida na regulamentação térmica nacional, REH, determinaram-se as necessidades energéticas do edifício existente, e de dois cenários de reabilitação selecionados foi possível reduzir substancialmente esses valores.

Os cenários adotados consistem na aplicação de isolamento pelo exterior, uma vez que, desta forma, é possível aplicar continuamente o isolamento e consequentemente eliminar pontos de fragilidades na envolvente, que por sua vez, proporciona a diminuição do risco de condensações no interior do edifício (Freitas, 2015). Optando-se pela aplicação do sistema ETICS, com EPS, muito usado em Portugal, e o recurso a placas de aglomerado negro de cortiça expandida, colocada à vista, não havendo a necessidade de qualquer tipo de acabamento.

É de realçar que os dois cenários (ETICS com EPS e ICB à vista), possuem um desempenho energético muito semelhantes, uma vez que a qualidade da envolvente é equivalente, sendo a única diferença entre eles a constituição das paredes de fachada que, no entanto, apresentam coeficientes de transmissão térmica dentro da mesma ordem de grandeza, conjugada com a reabilitação dos restantes elementos, a mesma para os dois cenários. Constituindo os dois cenários uma boa opção de reabilitação no que toca às necessidades energéticas resultantes após a intervenção e as vantagens que este tipo de sistema proporciona, como a eliminação de pontes térmicas, de condensações no interior do edifício.

No que respeita à análise dos níveis ótimos de rentabilidade, onde é feito um balanço relativamente ao custo inicial e custo de manutenção e substituição dos sistemas, são conjugadas as necessidades de energia do edifício. Isto, permite a comparação de uma solução base, constituída por ações de manutenção do edifício em estudo, que permitem reparações e pinturas, com os cenários de reabilitação, podendo determinar-se o custo total ao fim de 30 anos.

A partir dos resultados obtidos através da aplicação da metodologia de níveis ótimos de rentabilidade, é possível realçar que a solução mais económica é a aplicação do primeiro cenário, sistema ETICS com isolamento em EPS, cerca de 8% mais barata, comparativamente à utilização do ICB à vista, segundo cenário.

Se se considerar os períodos de retorno associados à aplicação do isolamento em EPS no sistema ETICS ou as placas de ICB, onde os fluxos estão associados ao preço da energia e à manutenção anual, obtém-se um período de retorno de 0,9 anos para o sistema ETICS com EPS e de 1 ano para a aplicação da placa de ICB à vista. Realçando-se que, apesar da aplicação do segundo cenário não necessitar de acabamentos, comparativamente com o primeiro cenário, torna-se mais caro, traduzindo-se num período de retorno igualmente superior.

Em suma, à custa de intervenções que permitam a otimização térmica da envolvente, otimização dos ganhos solares, de estratégias de sistemas passivos, iluminação natural, ventilação natural e sistemas de iluminação e equipamentos eficientes, é possível obter um edifício com características de um edifício nZEB.

Colmatando o principal objetivo desta dissertação, obteve-se um edifício com características de nZEB. Resultado da diminuição das necessidades energéticas inerentes ao edifício, durante o período de utilização, conjugado com a integração de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos para as satisfazer através de energia renovável, produzida *in situ* ou na periferia, originando, consequentemente, menores emissões de CO<sub>2</sub> durante o período de utilização.

## 5.2. Perspetivas para trabalhos futuros

O conceito de edifício de balanço energético quase nulo, nZEB, é relativamente recente, estando estipulado que estes devem apresentar necessidades energéticas quase nulas, no entanto, ainda não existem valores numéricos estipulados que o traduzam.

Posto isto, há necessidade de um estudo exaustivo através da aplicação de um dado cenário de reabilitação em vários pontos do país, para as diferentes tipologias de edifícios e para as diferentes épocas construtivas. Constituindo esta dissertação, que aborda somente um caso de estudo específico, uma pequena parte do trabalho que permitiria o estabelecimento dos valores que traduzem as reduzidas necessidades energéticas, através da comparação com os outros casos existentes.

Uma vez que, atualmente, a preocupação na reabilitação passa pelo cumprimento da legislação, a única forma de controlar os valores das necessidades energéticas passa pelo cumprimento dos requisitos mínimos e pelos valores de referência apresentados.

Futuramente, de modo a dar um contributo mais significativo para a determinação dos valores associados aos NZEB, seria possível efetuar um estudo onde fossem avaliados mais cenários de reabilitação para a envolvente e sistemas, e diferentes combinações dos mesmos, aplicados ao edifício em análise. Podendo o mesmo ser realizado para outros edifícios característicos de outras épocas construtivas. Recorrendo-se a simulações dinâmicas para prever as necessidades energéticas, originando valores com maior rigor, possibilitando analisar os benefícios associados aos diferentes cenários de reabilitação.

Realçando que, o fim, será sempre o contributo para a definição de valores mais específicos para as quase nulas necessidades de energéticas e a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. Tendo como objetivo as metas apresentadas através da Diretiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios.



## BIBLIOGRAFIA

- ADENE. (n.d.). 10 Soluções de Eficiência Energética. (2016-05-05) Retrieved from <http://www.adene.pt/10solucoes-eficiencia-energetica>
- ADENE. (n.d.). Legislação | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. (2016-03-18) Retrieved from <http://www.adene.pt/sce/legislacao-0>
- ADENE. (2013). A importância dos produtos eficientes na Reabilitação Urbana. *Seminário APCMC*.
- Almeida, M., Ferreira, M., & Rodrigues, A. (2015). Soluções otimizadas de reabilitação de edifícios residenciais para atingir os nzeb. *Seminário Paredes de Alvenaria 2015: Reabilitação E Inovação*, 20.
- AluKit. (n.d.). Caixilharias. (2016-06-5) Retrieved from <http://www.alukit.pt/caixilharias.html>
- Ambiente Gelado. (n.d.). A importância das edificações nZEB no perfil de consumo energético. (2016-04-20) Retrieved from <http://ambientegegado.com.br/v40/dicas-uteis/instalacao-e-manutencao/item/724-a-importancia-das-edificacoes-nzeb-no-perfil-de-consumo-energetico>
- Amorim Isolamentos. (n.d.). ETICS, Aplicações. (2016-04-28) Retrieved from <http://www.amorimisolamentos.com/aplicacoes/ETICS/57/>
- Ascenso, R. (2012a). Os NZEB portugueses. *TEMA DE CAPA*, 2.
- Ascenso, R. (2012b). O que vai mudar com os NZEB? *TEMA DE CAPA*, 5
- Ascenso, R. (2012c). A Eficiência energética, as renováveis e a Europa. *TEMA DE CAPA*, 2.

Branco, J. (2013). Habitação em Portugal: evolução e tendências.

Carneiro, J. (2009). Projeto Interdisciplinar II - Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.

Comissão Europeia. (2012). Energias renováveis : Comissão confirma a integração do mercado e a necessidade de crescimento para além de 2020.

CENFIM. (2004). Energia Solar - Conversão Térmica, 1–5.

Ceramics, P.-S. (2015). O futuro hoje: Edifícios NZEB, 1–3. (2016-04-28) Retrieved from <http://prelis.pt/nzeb-nearly-zero-energy-buildings/>

Comissão Europeia (n.d.). Edifícios eficientes do ponto de vista energético (2016-04-28) Retrieved from [http://ec.europa.eu/info/policies/energy-efficient-buildings\\_pt](http://ec.europa.eu/info/policies/energy-efficient-buildings_pt)

Costa, R. J. G. (n.d.). Reabilitação Sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade.

Costa, R. J. G. (2012). Reabilitação Sustentável de edifícios antigos - Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade. *Universidade Do Minho Escola de Engenharia.*

Costa, R. J. G., Bragança, L., Mateus, R., & Bezerra, J. (2014). Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade, 65–80.

Costa, R. P. (2014). Integração de sistemas solares na reabilitação de edifícios, 12

CYPE. (n.d.). Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A. (2016-08-12) Retrieved from <http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/>

- DGGE / IP-AQSpP. (2004). Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Agua no Sector Doméstico. *Água Quente Solar*.
- Diogo, A. C. D. F. (2012). Sistemas Envidraçados com e sem Protecção Solar. *Instituto Suoerior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa*.
- Direção-Geral de Energia e Geologia. (2013). Despacho n.º 15793-L/2013. *Diário Da República*, 234(88), 35088.
- EEP, & ADENE. (n.d.). Simulador de Eficiência Energética de Janelas. (2016-05-05) Retrieved from <https://www.seep.pt/pt-PT/Produtos/Documents/janela/simulador.aspx>
- Emprego, M. D. E. E. Do. (2013a). Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de agosto, 4988–5005.
- Emprego, M. D. E. E. Do. (2013b). Despacho n.º 15793-E/2013. *Diário Da República*, (14), 14–25.
- EU. (2010). 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*, 13–35.
- Fernandes, D. S. (2012). Estudo sobre a realidade da reabilitação de edifícios em Portugal Abordagem térmico-energética. *Faculdade de Ciências E Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa*.
- Ferreira, M. (2009). A eficiência energética na reabilitação de edifícios. *Universidade Nova de Lisboa*, 160.
- Ferreira, M., Almeida, M., Rodrigues, A., & Araújo, C. (2014). PORTUGAL EPBD National report on calculation of cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for residential buildings Níveis Ótimos de Rentabilidade, (December 2015).

- Fragoso, R. (2013). O Novo Enquadramento Legal do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). *Encontro 2013 ADENE - Agências Regionais E Municipais de Energia*.
- Gomes, S. C. P. (2013). Reabilitação energética à escala urbana: aplicação à Colina de Santana em Lisboa. *Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa*.
- Gonçalves, H. (2011). Em direcção aos Edifícios de Balanço Energetico Zero. *Jornadas de Climatização - Ordem Dos Engenheiros*.
- Griffiths, N., Despret, C., Economidou, M., Maio, J., Nolte, I., & Rapf, O. (2011). *Principles For neArly Zero-energy Buildings. Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*.
- Horta, R. M. C. (2012). Construção sustentável de edificios de balanço energético quase zero. *Faculdade de Ciências E Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa*, 130.
- Huld, T., Müller, R., & Gambardella, A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86(6), 1803–1815.
- INE. (2011). *Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001 - 2011*.
- INE. (2012). Parque Habitacional em Portugal: Evolução na última década. *Destaque : Informação À Comunicação Social*, 1–10.
- INE. (2013). Reabilitação do Parque Habitacional. *Destaque*, 1–14.
- INE, & DGEG. (2011). *Inquerito ao consumo de energia doméstico 2010*.
- ISO 10077-1:2006. (2009). 10077-1: 2006. *Thermal Performance of Windows, Doors and Shutters--Calculation of Thermal Transmittance--Part, 1*.
- ISQ. (2010). *Colectores Solares Térmicos*.
- ITeCons, & Coimbra, U. de. (2013). Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) - Síntese da regulamentação aplicável, 127.

- ITeCons, & Universidade de Coimbra. (n.d.). Plataforma para a Eficiência Energética de Edifícios. Retrieved from <http://www.itecons.uc.pt/p3e/>
- Jardim, F. (2009). Universidade do Minho Fátima Maria Gomes Jardim Proposta de Intervenção de Edifícios de Habitação Trabalho efectuado sob a orientação da. *Universidade Do Minho*, 260.
- Jornal de Negócios. (n.d.). Descubra a solução mais barata - Investidor Privado. (2016-09-03) Retrieved from [http://www.jornaldenegocios.pt/mercados/investidor\\_privado/detalhe/descubra\\_a\\_solucc\\_edilatildeo\\_mais\\_barata.html](http://www.jornaldenegocios.pt/mercados/investidor_privado/detalhe/descubra_a_solucc_edilatildeo_mais_barata.html)
- Kalogirou. (2009). Solar Energy Engineering - Processes and Systems. Soteris A.
- Leva, F., Salerno, C., Camacho, J., & Guimarães, S. (n.d.). Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico. (2016-09-08) Retrieved from [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200020&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200020&script=sci_arttext)
- Livre Power, L. (n.d.). Sistemas autónomos e ligados à rede. (2016-09-08) Retrieved from <http://aerogeradores.blogs.sapo.pt/20986.html>
- Madeira, C. (2009). A Reabilitação Habitacional em Portugal SOLARH, 100.
- Marques, F. (2014). Integração de painéis solares térmicos na reabilitação de edifícios em Portugal para AQS e aquecimento ambiente.
- Martins, A. (2002). Reabilitação térmica e energética dos vãos envidraçados da envolvente dos edifícios. *FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade Do Porto*, 244.
- Mexa, N. F. D. S. (2011). Sistemas Solares Térmicos - Simulação de perfis de consumo e

cálculo do comportamento térmico a longo prazo. *Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências*, 85.

Ministério Da Economia E Do Emprego. (2013a). Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro. *Diário Da República*, 2.<sup>a</sup> série(234), 26–31.

Ministério Da Economia E Do Emprego. (2013b). Despacho n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro. *Diário Da República*, 2.<sup>a</sup> série(234), 58–87.

Nuno, P., & Duarte, A. (2012). Colectores Solares Térmicos - Análise de desempenho térmico de soluções tecnológicas no mercado. *FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade Do Porto*.

PORDATA. (2016). Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo - Portugal. (2016-05-06) Retrieved from <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>

Portal Energia - Energias Renováveis. (n.d.). Dimensionamento de Sistemas Solares Fotovoltaicos. (2016-08-15) Retrieved from <http://www.portal-energia.com/dimensionamento-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>

Portal da Habitação. (n.d.). Portal da Habitação - Reabilitação urbana. (2016-05-22) Retrieved from [http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/legislacao/reabilitacao\\_urbana](http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/legislacao/reabilitacao_urbana)

SEEP, & ADENE. (n.d.). Simulador de Eficiência Energética de Janelas. (2016-05-23) Retrieved from <https://www.seep.pt/pt-PT/Produtos/Documents/janela/simulador.aspx>

Sampaio, P. (2010). Colectores Solares Térmicos. *IQS*.

SOFALCA. (n.d.). Aglomerado de cortiça expandida - ICB.

- Sofia, A., & Madeira, G. (2010). Integração de painéis solares térmicos - Soluções de pós-construção. *Universidade Nova de Lisboa*, 161.
- Solarterra. (n.d.). SUA ENERGIA SOLAR FORNECENDO PARA A REDE ELÉTRICA | SOLARTERRA. (2016-09-10) Retrieved from <http://solarterra.com.br/sua-energia-solar-fornecendo-para-a-rede-eletrica/>
- SolarWaters. (n.d.-a). BOMBA DE CALOR - SolarWaters. (2016-09-03) Retrieved from <http://www.solarwaters.pt/bomba-de-calor>
- SolarWaters. (n.d.-b). Sistema fotovoltaico microgeração - produção de energia microgeração. (2016-08-29) Retrieved from <http://www.solarwaters.pt/producao-de-energia-microgeracao/sistema-fotovoltaico-microgeracao>
- SOTECNISOL Materiais. (n.d.). Sistemas Solares Fotovoltáicos. (2016-08-29) Retrieved from <http://www.sotecnisol.pt/materiais/sistemas/solucoes-solares-de-climatizacao/sistemas-solares-fotovoltaicos/sistemas-solares-fotovoltaicos/>
- Sousa, J., Silva, S., & Almeida, M. (2012). Energy Rehabilitation of Portuguese Residential Building Stock Through its Transformation into NZEB. *Seminário Reabilitação Energética de Edifícios - Universidade Do Minho*, (Tortellini 2006), 41–48.
- Šúri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., & Ossenbrink, H. A. (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81(10), 1295–1305.
- T & T Multielétrica. (n.d.). T & T Multielétrica : Climatização. (2016-09-03) Retrieved from <http://www.tt-lda.pt/idx/produtoservico,24,1,0>
- TORREENSE Cerâmicas. (n.d.). Telha Lusa | Cerâmica Torreense - Telhas e acessórios de telhado, pavimentos rústicos, abobadilhas, tijolos furados e face à vista. (2016-05-16) Retrieved from <http://www.ceramicatorreense.pt/pt/telhados/telha-lusa/>
- UFRJ, P. I. P. (n.d.). (06) Configuração da distribuição de energia | Energia solar. (2016-08-26) Retrieved from <https://energiasolar2012.wordpress.com/configuracao-da-distribuicao-de->

[energia/](#)

Vulcano. (n.d.). Gama de Esquentadores Sensor Estanque WTD 24 AME.

# **ANEXOS**



**Anexo I - Edifícios Residenciais de Referência - Levantamento Dimensional e Sistemas**

Tabela I.1 – Quadro resumo – edifícios de referência



Edifício Unifamiliar de Referência - Década de 80

			Unidade		
Levantamento Dimensional	Área útil de pavimento		100	[m <sup>2</sup> ]	
	Pé - direito		2,7	[m]	
	Configuração	Tipologia	T3	-	
		Nº frentes	4	-	
	Cobertura	Área	100	[m <sup>2</sup> ]	
		Tipo	C/Desvão		
	Pavimento	Área	100	[m <sup>2</sup> ]	
		Tipo	ENU		
Sistemas	Ventilação		Natural		
	Sistema AQS		Esquentador		
	Sistema de Aquecimento		Não Tem		
	Sistema de Arrefecimento		Não Tem		
Inércia Térmica			Média		
Rede de abastecimento de combustível líquido ou gasoso?			Sim		
Existe isolamento na tubagem de distribuição de AQS com resistência térmica $\geq 0.25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ?			Não		
Chuveiros ou sistemas de duche possuem certificado de eficiência hídrica com rótulo A ou superior?			Não		
Envolvente Exterior	Paredes	Coef. Trans. Térmica	1,76	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
		Cor	Clara		
		Fachada ventilada	Não		
	Coberturas	Coef. Trans. Térmica	2,8	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
		Cor	Clara		
	Pavimentos	Coef. Trans. Térmica	2,1	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
	PTP's	Coef. Trans. Térmica	Majoração 35%		
	Envidraçados	Caixilharia		Metálica s/CT	
		Tipo de vidro		Simples	
		Coef. Trans. Térmica	4,1	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
		Fator solar (FS) vidro	0,85		
		Proteção solar	Portadas opacas interiores		
		FS Global Prot. Móveis e Fixas Ativadas	0,3		
		Fração envidraçada	0,7		
	Existem obstruções		20°		
Envolvente Interior	Paredes	Coef. Trans. Térmica	1,62	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
	Coberturas	Coef. Trans. Térmica	2,8	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
	Pavimentos	Coef. Trans. Térmica	1,65	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
	Espaços não úteis		Aplicável		
	Pavimentos interiores		Aplicável		



## Anexo II – Coeficiente de redução de perdas

Tabela II.1 – Coeficiente de redução de perdas - ENU



ENU: Garagem  
Desvão da cobertura  
Pavimento R/C

ENU - Garagem				
Ai	[m <sup>2</sup> ]	1,24	btr	0,6
Au	[m <sup>2</sup> ]	1,19		
Ai/Au		1,04		
VENU	[m <sup>3</sup> ]	35,802		
f	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas			
Envolvente Interior com Requisitos de Interior				

ENU - Desvão da cobertura				
Ai	[m <sup>2</sup> ]	57,4	btr	0,8
Au	[m <sup>2</sup> ]	60,08		
Ai/Au		0,955		
VENU	[m <sup>3</sup> ]	81,46		
f	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas			
Envolvente Interior com Requisitos de Exterior				

ENU – Pavimento R/C				
Ai	[m <sup>2</sup> ]	44,43	btr	0,3
Au	[m <sup>2</sup> ]	0		
Ai/Au		≥4		
VENU	[m <sup>3</sup> ]	13,329		
f	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas			
Envolvente Interior com Requisitos de Interior				



**Anexo III – Aplicação LNEC - Ventilação - REH e RECS – Edifício Inicial**

Tabela III.1 – Aplicação LNEC – Ventilação – Edifício Inicial

Enquadramento do Edifício			
Tipo de edifício	Habitação Existente	Área útil [m <sup>2</sup> ]:	129,97
Local (município)	GUIMARÃES	Pd [m]:	2,7
Região	A	N.º de pisos da fração	2
Rugosidade	II	Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local (m)	536	Vento (u10REH: 3,6) [m/s]	0
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	Volume [m <sup>3</sup> ]:	350,92
		Texterior [°C]	7,1
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Zref [m]	426
		Aenv/Au:	0,12
Altura do edifício (Hedif) em [m]	6	Proteção do edifício:	Desprotegido
		Zona da fachada:	Inferior
Altura da fração (HFA) em [m]	6	Rph mínimo PES [h <sup>-1</sup> ]	0,85
Permeabilidade ao Ar da Envolvente			
Foi medido valor n50		Não	
Valor n50 medido[h <sup>-1</sup> ]		1	
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:		vidro normal	
Área dos vãos [m <sup>2</sup> ]		15,51	
Classe de permeabilidade ao ar (janelas/portas)		Sem classificação	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Não tem	
Aberturas de Admissão de Ar na Envolvente			
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente		Não	
Conduatas de Ventilação Natural, Conduatas com Exaustores/Ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduata			
Conduatas de ventilação natural sem obstruções significativas		Não	
Exaustão ou Insuflação por Meios Mecânicos de Funcionamento Prolongado			
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)		Não	
Exaustão ou Insuflação por Meios Híbridos de Baixa Pressão			
Existem meios híbridos		Não	

Tabela III.2 – Aplicação LNEC – Ventilação – Edifício Inicial - resultados

Resultados	
Balauço de Energia - Edifício	
Rph,i (h <sup>-1</sup> ) - Aquecimento	0,4
Rph,v (h <sup>-1</sup> ) - Arrefecimento	0,6
Wvm (kWh)	0
Balauço de Energia - Edifício de Referência	
Rph,i REF (h <sup>-1</sup> )	0,4
Caudal mínimo de ventilação	
Rph estimada em condições nominais (h <sup>-1</sup> )	0,29
Requisito mínimo de ventilação Edifício Novos (h <sup>-1</sup> )	0,4
Critério Rph mínimo: Ponderar medidas de melhoria do sistema de ventilação.	

## Anexo IV – Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, de acordo com o REH - Solução Inicial

Tabela IV.1 – Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Solução Inicial

Envolvente Exterior								
PDE1	Parede Exterior					U (W/m <sup>2</sup> .°C)		U ref.
	Solução Corrente		Parede simples sem isolamento			1,76		0,35
	PTP		Pilares			2,38		-
	PTP		Vigas			2,38		-
Tipo de solução	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	Área Envidraçada [m <sup>2</sup> ]	Área Efetiva [m <sup>2</sup> ]	Pala Horizontal	Pala vertical		Cor
						Esquerda	Direita	
PDE1	Norte	10,26	1,6	8,66	49,84	45	16,8	Clara
PDE1	Norte	8,64	0	8,64	27,41	17,26	28,39	
PDE1	Oeste	10,8	1,7	9,1	64,26	54,46	54,46	
PDE1	Oeste	15,12	0	15,12	0	0	0	
PDE1	Sul	10,8	4,2	6,6	27,41	17,1	17,74	
PDE1	Sul	8,1	0	8,1	51,55	32,01	45	
PDE1	Este	28,89	0	28,89	0	0	0	
PDE1	Norte	10,8	1,6	9,2	36,53	16,7	16,7	
PDE1	Norte	8,1	0,49	7,61	61,63	21,8	21,8	
PDE1	Oeste	24,52	0,7	23,82	0	0	0	
PDE1	Sul	18,9	5,8	13,1	27,41	73,3	73,3	
PDE1	Este	21,87	0	21,87	0	0	0	
Cobertura exterior								
Cobertura exterior					U (W/m <sup>2</sup> .°C)		Área[m <sup>2</sup> ]	U ref.
CE1	Cobertura exterior - varanda				2,1		2,8	0,3
	Cobertura plana sem isolamento							
CE2	Cobertura exterior - telhado				2,8		66,15	0,3
	Cobertura inclinada sem isolamento							
Vãos envidraçados Exteriores								
VE1	Vãos envidraçados Exteriores				Proteção			Área [m <sup>2</sup> ]
	Janela simples com vidro simples				Portadas de madeira - interior			
	Uwdn (W/m <sup>2</sup> .°C)		4,1		gL,vi	0,85		15,58
	Uwdn ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)		2,2		gT	0,3		

Tabela IV.1 – (Cont.) Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Solução Inicial

Divisão	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	SEEP	À Face Exterior	Obst. do Horizonte	Pala Horizontal	Pala Vertical	
							Esquerda	Direita
Quarto 1	Norte	1,6	G	Não	1	34,99	20,23	20,23
Quarto 2	Sul	4,2	G	Sim	0,9	29,74	21,8	7,73
Quarto 3	Sul	1,6	G	Não	0,9	38,66	8,58	22,74
WC	Oeste	0,7	G	Não	0,84	15,95	11,31	11,31
Corredor sup	Norte	0,49	G	Não	1	36,38	15,95	80,96
Sala	Sul	4,2	G	Sim	0,9	18,21	14,74	6,32
Cozinha	Norte	1,6	G	Não	1	55,4	19,799	30,47
WC serviço	Oeste	0,7	G	Não	0,9	108,03	116,33	16,05
Hall	Oeste	0,49	G	Sim	0,9	58,62	35,78	35,78
Classe Caixilharia		Caixa de estore	Fg	FS Global Prot. g <sub>TP</sub>		gi	gv	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,77	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,49	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,49	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,49	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,77	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,49	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,77	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,49	
Sem classificação		Não tem	0,7	0,77		0,77	0,49	
Vãos Opacos Exteriores			U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U ref.	Área [m <sup>2</sup> ]	Orientação		
VOE1	Porta de entrada		1,15	0,35	1,3	Oeste		
VOE2	Portão garagem		1,15	0,35	4,4	Sul		
Id. do Tipo solução	Pontes Térmicas Lineares			Método	Psi (W/m.°C)	Psi ref. (W/m.°C)		
	Tipo de Solução							
PTLE1	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido			Tabelados	34,7	0,7		
PTLE2	Fachada com varanda			Tabelados	4	0,7		
PTLE3	Fachada com cobertura			Tabelados	50,3	0,7		
PTLE4	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia			Tabelados	44,2	0,25		
PTLE5	Fachada com pavimento de nível intermédio			Tabelados	42,3	0,7		
PTLE6	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido			Tabelados	6,8	0,7		

Tabela IV.1 – (Cont.) Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Solução Inicial

Envolvente Interior					
Definição da envolvente interior - ENU	ENU	Ai/Au [m <sup>2</sup> ]	VENU [m <sup>3</sup> ]	Ventilação	b <sub>tr</sub>
	Garagem	$1 \leq Ai/Au < 2$	$V \leq 50$	fraca	0,6
	Desvão cobertura	$0,5 \leq Ai/Au < 1$	$50 < V \leq 200$	fraca	0,8
	Pavimento R/C	$Ai/Au \geq 4$	$V \leq 50$	fraca	0,3
PDI1	Parede Interior				
	Parede sem isolamento		U ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)		0,6
	ENU	Garagem	U (W/m <sup>2</sup> .°C)		1,62
	Área [m <sup>2</sup> ]	10,35			
PVI1	Pavimento Interior				
	simples sem isolamento		Área [m <sup>2</sup> ]	U ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,5
	ENU	Garagem	10,35	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,65
		Pavimento R/C	44,4		



## Anexo V - Aplicação LNEC - Ventilação - REH e RECS – Primeiro e Segundo Cenários

Tabela V.1 – Aplicação LNEC – Ventilação – Primeiro e Segundo Cenários

Enquadramento do Edifício			
Tipo de edifício	Habitação Existente	Área útil [m <sup>2</sup> ]:	129,97
Local (município)	GUIMARÃES	Pd [m]:	2,5
Região	A	N.º de pisos da fração	2
Rugosidade	II	Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local [m]	536	Vento (u10REH: 3,6) m/s	0
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	Volume [m <sup>3</sup> ]:	350,92
		Texterior [°C]	7,1
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Zref [m]	426
		Aenv/Au:	0,12
Altura do edifício (Hedif) em [m]	6	Proteção do edifício:	Desprotegido
		Zona da fachada:	Inferior
Altura da fração (HFA) em [m]	6	Rph mínimo PES [h <sup>-1</sup> ]	0,85
Permeabilidade ao Ar da Envolvente			
Foi medido valor n50		Não	
Valor n50 medido[h <sup>-1</sup> ]		1	
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:		vidro normal	
Área dos vãos [m <sup>2</sup> ]		15,51	
Classe de permeabilidade ao ar (janelas/portas)		2	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Não tem	
Aberturas de Admissão de Ar na Envolvente			
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente		Não	
Conduatas de Ventilação Natural, Conduatas com Exaustores/Ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduata			
Conduatas de ventilação natural sem obstruções significativas		Sim	
Escoamento de ar	Exaustão	Admissão	
Perda de carga	Baixa	Baixa	
Altura da conduata	3		
Cobertura	Inclinada (10 a 30°)		
Nº de conduatas semelhantes	2	1	
Exaustão ou Insuflação por Meios Mecânicos de Funcionamento Prolongado			
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)		Não	
Exaustão ou Insuflação por Meios Híbridos de Baixa Pressão			
Existem meios híbridos		Não	

Tabela V.2 – Aplicação LNEC – Ventilação – Primeiro e Segundo Cenários – Resultados

Resultados	
Balanço de Energia - Edifício	
Rph,i (h <sup>-1</sup> ) - Aquecimento	0,52
Rph,v (h <sup>-1</sup> ) - Arrefecimento	0,6
Wvm (kWh)	0
Balanço de Energia - Edifício de Referência	
Rph,i REF (h <sup>-1</sup> )	0,52
Caudal mínimo de ventilação	
Rph estimada em condições nominais (h <sup>-1</sup> )	0,41
Requisito mínimo de ventilação Edifício Novos (h <sup>-1</sup> )	0,4
Critério Rph mínimo: Valores satisfatórios.	

## Anexo VI – Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, de acordo com o REH – Primeiro Cenário

Tabela VI.1 – Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Primeiro Cenário

Envolvente Exterior								
PDE1	Parede Exterior					U (W/m <sup>2</sup> .°C)		U ref.
	Solução Corrente		Parede simples sem isolamento			0,32		0,35
Tipo de solução	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	Área Envidraçada [m <sup>2</sup> ]	Área Efetiva [m <sup>2</sup> ]	Pala Horizontal	Pala vertical		Cor
						Esquerda	Direita	
PDE1	Norte	10,26	1,6	8,66	49,84	45	16,8	Clara
PDE1	Norte	8,64	0	8,64	27,41	17,26	28,39	
PDE1	Oeste	10,8	1,7	9,1	64,26	54,46	54,46	
PDE1	Oeste	15,12	0	15,12	0	0	0	
PDE1	Sul	10,8	4,2	6,6	27,41	17,1	17,74	
PDE1	Sul	8,1	0	8,1	51,55	32,01	45	
PDE1	Este	28,89	0	28,89	0	0	0	
PDE1	Norte	10,8	1,6	9,2	36,53	16,7	16,7	
PDE1	Norte	8,1	0,49	7,61	61,63	21,8	21,8	
PDE1	Oeste	24,52	0,7	23,82	0	0	0	
PDE1	Sul	18,9	5,8	13,1	27,41	73,3	73,3	
PDE1	Este	21,87	0	21,87	0	0	0	
Cobertura exterior								
Cobertura exterior					U (W/m <sup>2</sup> .°C)		Área[m <sup>2</sup> ]	U ref.
CE1	Cobertura exterior - varanda				0,25		2,8	0,3
	Cobertura plana com isolamento							
CE2	Cobertura exterior - inclinada				0,27		66,15	0,3
	Cobertura inclinada com isolamento							
Vãos envidraçados Exteriores								
VE1	Vãos envidraçados Exteriores			Proteção				Área [m <sup>2</sup> ]
	Janela simples com vidro duplo			Persiana de réguas metálicas				
	Uwdn (W/m <sup>2</sup> .°C)			0,87	gL,vi	0,47		15,58
	Uwdn ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)			2,2	gT	0,04		

Tabela VI.1 – (Cont.) Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Primeiro Cenário

Divisão	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	SEEP	À Face Exterior	Obst. do Horizonte	Pala Horizontal	Pala Vertical	
							Esquerda	Direita
Quarto 1	Norte	1,6	A	Não	1	34,99	20,23	20,23
Quarto 2	Sul	4,2	A	Sim	0,9	29,74	21,8	7,73
Quarto 3	Sul	1,6	A	Não	0,9	38,66	8,58	22,74
WC	Oeste	0,7	A	Não	0,84	15,95	11,31	11,31
Corredor sup	Norte	0,49	A	Não	1	36,38	15,95	80,96
Sala	Sul	4,2	A	Sim	0,9	18,21	14,74	6,32
Cozinha	Norte	1,6	A	Não	1	55,4	19,799	30,47
WC serviço	Oeste	0,7	A	Não	0,9	108,03	116,33	16,05
Hall	Oeste	0,49	A	Sim	0,9	58,62	35,78	35,78
Classe Caixilharia		Caixa de estore	Fg	FS Global Prot. g <sub>TP</sub>		gi	gv	
2		Não tem	0,65	0,04		0,042	0,42	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,42	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,42	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
Vãos Opacos Exteriores			U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U ref.	Área [m <sup>2</sup> ]	Orientação		
VOE1	Porta de entrada		0,3	0,35	1,3	Oeste		
VOE2	Portão garagem		0,3	0,35	4,4	Sul		

Tabela VI.1 – (Cont.) Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Primeiro Cenário

Envolvente Interior						
Definição da envolvente interior - ENU	ENU	Ai/Au [m <sup>2</sup> ]	VENU [m <sup>3</sup> ]	Ventilação	b <sub>tr</sub>	
	Garagem	$1 \leq Ai/Au < 2$	$V \leq 50$	fraca	0,6	
	Desvão cobertura	$0,5 \leq Ai/Au < 1$	$50 < V \leq 200$	fraca	0,8	
	Pavimento R/C	$Ai/Au \geq 4$	$V \leq 50$	fraca	0,3	
PDI1	Parede Interior					
	Parede sem isolamento		U ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)		0,6	
	ENU	Garagem	U (W/m <sup>2</sup> .°C)		0,58	
	Área [m <sup>2</sup> ]	10,35				
PVI1	Pavimento Interior					
	simples sem isolamento		Área [m <sup>2</sup> ]	U ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,5	
	ENU	Garagem	10,35	U (W/m <sup>2</sup> .°C)		0,5
		Pavimento R/C	44,4			



## Anexo VII - Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, de acordo com o REH – Segundo Cenário

Tabela VII.1 – Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Segundo Cenário

Envolvente Exterior								
PDE1	Parede Exterior					U (W/m <sup>2</sup> .°C)		U ref.
	Solução Corrente		Parede simples sem isolamento			0,34		0,35
Tipo de solução	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	Área Envidraçada [m <sup>2</sup> ]	Área Efetiva [m <sup>2</sup> ]	Pala Horizontal	Pala vertical		Cor
						Esquerda	Direita	
PDE1	Norte	10,26	1,6	8,66	49,84	45	16,8	Clara
PDE1	Norte	8,64	0	8,64	27,41	17,26	28,39	
PDE1	Oeste	10,8	1,7	9,1	64,26	54,46	54,46	
PDE1	Oeste	15,12	0	15,12	0	0	0	
PDE1	Sul	10,8	4,2	6,6	27,41	17,1	17,74	
PDE1	Sul	8,1	0	8,1	51,55	32,01	45	
PDE1	Este	28,89	0	28,89	0	0	0	
PDE1	Norte	10,8	1,6	9,2	36,53	16,7	16,7	
PDE1	Norte	8,1	0,49	7,61	61,63	21,8	21,8	
PDE1	Oeste	24,52	0,7	23,82	0	0	0	
PDE1	Sul	18,9	5,8	13,1	27,41	73,3	73,3	
PDE1	Este	21,87	0	21,87	0	0	0	
Cobertura exterior								
Cobertura exterior					U (W/m <sup>2</sup> .°C)		Área[m <sup>2</sup> ]	U ref.
CE1	Cobertura exterior - varanda				0,25		2,8	0,3
	Cobertura plana com isolamento							
CE2	Cobertura exterior - inclinada				0,27		66,15	0,3
	Cobertura inclinada com isolamento							
Vãos envidraçados Exteriores								
VE1	Vãos envidraçados Exteriores			Proteção				Área [m <sup>2</sup> ]
	Janela simples com vidro duplo			Persiana de réguas metálicas				
	Uwdn (W/m <sup>2</sup> .°C)			0,87	gL,vi	0,47		15,58
	Uwdn ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)			2,2	gT	0,04		

Tabela VII.1 – (Cont.) Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Primeiro Cenário

Divisão	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	SEEP	À Face Exterior	Obst. do Horizonte	Pala Horizontal	Pala Vertical	
							Esquerda	Direita
Quarto 1	Norte	1,6	A	Não	1	34,99	20,23	20,23
Quarto 2	Sul	4,2	A	Sim	0,9	29,74	21,8	7,73
Quarto 3	Sul	1,6	A	Não	0,9	38,66	8,58	22,74
WC	Oeste	0,7	A	Não	0,84	15,95	11,31	11,31
Corredor sup	Norte	0,49	A	Não	1	36,38	15,95	80,96
Sala	Sul	4,2	A	Sim	0,9	18,21	14,74	6,32
Cozinha	Norte	1,6	A	Não	1	55,4	19,799	30,47
WC serviço	Oeste	0,7	A	Não	0,9	108,03	116,33	16,05
Hall	Oeste	0,49	A	Sim	0,9	58,62	35,78	35,78
Classe Caixilharia		Caixa de estore	Fg	FS Global Prot. g <sub>TP</sub>		gi	gv	
2		Não tem	0,65	0,04		0,042	0,42	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,42	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,42	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
2		Não tem	0,65	0,04		0,42	0,19	
Vãos Opacos Exteriores			U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U ref.	Área [m <sup>2</sup> ]	Orientação		
VOE1	Porta de entrada		0,3	0,35	1,3	Oeste		
VOE2	Portão garagem		0,3	0,35	4,4	Sul		

Tabela VII.1 – (Cont.) Preenchimento da Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético, REH – Primeiro Cenário

Envolvente Interior					
Definição da envolvente interior - ENU	ENU	Ai/Au [m <sup>2</sup> ]	VENU [m <sup>3</sup> ]	Ventilação	b <sub>tr</sub>
	Garagem	$1 \leq Ai/Au < 2$	$V \leq 50$	fraca	0,6
	Desvão cobertura	$0,5 \leq Ai/Au < 1$	$50 < V \leq 200$	fraca	0,8
	Pavimento R/C	$Ai/Au \geq 4$	$V \leq 50$	fraca	0,3
PDI1	Parede Interior				
	Parede sem isolamento		U ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)		0,6
	ENU	Garagem	U (W/m <sup>2</sup> .°C)		0,58
	Área [m <sup>2</sup> ]	10,35			
PVI1	Pavimento Interior				
	simples sem isolamento		Área [m <sup>2</sup> ]	U ref. (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,5
	ENU	Garagem	10,35	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,5
		Pavimento R/C	44,4		



**Anexo VIII – Orçamento para Níveis Ótimos de Rentabilidade**

Tabela VIII.1 – Orçamento

Descrição	Unidade	A (m <sup>2</sup> )	€/m <sup>2</sup>	Man.
<b>Parede exteriores</b>				
Reparação de fendas com gesso	m <sup>2</sup>	160,68	2,43	0,01
Limpeza mecânica de fachadas com jato de água	m <sup>2</sup>	160,68	11,9	0
Pintura da parede com tinta de silicone	m <sup>2</sup>	160,68	11,4	0,21
Substituição dos parapeitos em cerâmica	m	8,8	16,67	0,23
Sistema ETICS (EPS=100mm)	m <sup>2</sup>	160,68	14,79	0,03
Isolamento e revestimento em placa de aglomerado de cortiça (ICB=100mm)	m <sup>2</sup>	160,68	75,29	0,05
<b>Cobertura</b>				
Reparação de telhado em cobertura inclinada, substituindo as telhas deterioradas	m <sup>2</sup>	104,7	14,84	-
Limpeza de telhas em cobertura inclinada	m <sup>2</sup>	104,7	8,86	-
Isolamento de coberturas inclinadas sobre espaço não habitável (XPS=100mm)	m <sup>2</sup>	62,7	8,37	1,8
<b>Pavimento R/C</b>				
Ladrilho cerâmico	m <sup>2</sup>	77,4	19,89	0,34
Manta geotêxtil	m <sup>2</sup>	77,4	24,62	0,05
Isolamento do pavimento sobre laje de pavimento R/C (EPS=100mm)	m <sup>2</sup>	77,4	18,08	1,51
<b>Pavimento intermedio</b>				
Ladrilho cerâmico	m <sup>2</sup>	74,9	19,89	0,34
Isolamento sobre laje intermédia (XPS=60mm) devido à presença de ENU	m <sup>2</sup>	74,9	8,37	0,02
<b>Paredes interiores</b>				
Isolamento com aglomerado de cortiça expandida (ICB=40mm)	m <sup>2</sup>	85,25	18,56	0,04
Placa de gesso cartonado hidrófugo	m <sup>2</sup>	85,25	16,55	0,03
<b>Cobertura - Varanda</b>				
Ladrilho cerâmico	m <sup>2</sup>	2,8	19,89	0,34
Manta geotêxtil	m <sup>2</sup>	2,8	24,62	0,05
Isolamento sobre laje de varanda (EPS=100mm)	m <sup>2</sup>	2,8	14,79	0,03
Membrana de impermeabilização	m <sup>2</sup>	2,8	25,74	0,05

Tabela VIII.1 – (Cont.) Orçamento

Envidraçados				
Substituição das janelas existentes (vidro simples_4mm)	m <sup>2</sup>	15,58	26,1	0,65
Substituição das janelas existentes (caixilharia em alumínio_1,6*1)	un	3	8,87	-
Substituição das janelas existentes (caixilharia alumínio_2,1*2)	un	2	8,87	-
Substituição das janelas existentes (caixilharia alumínio_0,7*0,7)	un	2	8,87	-
Substituição das janelas existentes (caixilharia alumínio_0,7*1)	un	2	8,87	-
Vidro duplo (4+16+4) com árgon	m <sup>2</sup>	15,58	116,01	2,44
Caixilharia em PVC, U=2,1 (1,6*1)	un	3	285,9	2,57
Caixilharia em PVC, U=2,1(2,1*2)	un	2	405,81	3,65
Caixilharia em PVC, U=2,5 (0,7*0,7)	un	2	190,86	1,72
Caixilharia em PVC, U=2,5 (0,7*1)	un	2	226,66	2,04
Colocação de persianas de réguas metálicas	un	9	41,51	1,04
Sistemas				
Ventiloconvectores - Embutir (15 anos) (3 quartos, sala, cozinha, corredores)	un	7	561	32
Esquentador a gás	un	1	174,61	35,5
Bomba de calor XP Energy (20 anos)	un	1	7452,63	575,33
Renováveis				
Painel fotovoltaico	un	8	2275,92	237,36
Coletor solar térmico (AQS)	un	5	5800	129
Estrutura para suporte do solar térmico e fotovoltaico	un	13	705	-

Tabela VIII.2 – Custos Associados aos Cenários

Obra de Reabilitação [€]	Base	Man.	ETICS	Man.	ICB	Man.
Envolvente opaca exterior e interior	6762,38	82,27	10548,77	243,65	20269,91	247,51
Envolvente envidraçada	486,47	10,17	4685,39	60,49	4685,39	60,49
acessórios	0	0	3927,00	224,00	3927,00	224,00
DHW	174,61	35,50	7452,63	575,33	7452,63	575,33
Renováveis	0	0	56372,36	2543,88	56372,36	2543,88
<b>TOTAL</b>	<b>7423,46</b>	<b>127,9441</b>	<b>82986,15</b>	<b>3647,356</b>	<b>92707,29</b>	<b>3651,212</b>