

**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

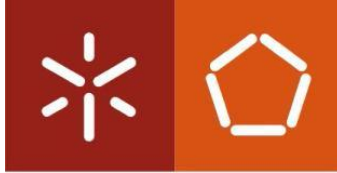
Ricardo Alves Machado

## **Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética**

Tese de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Novembro de 2014



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Ricardo Alves Machado

## **Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética**

Tese de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação da

Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva

Novembro de 2014

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais pelo apoio incondicional que me dedicaram, pela compreensão e pelo suporte que me concederam em todas as minhas decisões, durante toda a minha existência.

Agradeço ao meu irmão por estar sempre presente e ser o meu primeiro recurso face a qualquer dificuldade.

Aos meus grandes amigos e colegas de curso, Carlos Navio, Nuno Carvalho e Tiago Sousa, pela infinda amizade e grande contributo em todo o meu percurso académico, sendo eles uma parte fundamental para o meu sucesso.

Um obrigado especial a Marleen Stokkeby, por ser ela razão da minha motivação e empenho, e por sempre me ter pressionado para alcançar o meu objectivo.

Agradeço à professora Sandra Silva pela orientação deste trabalho.

E por último quero agradecer ao gabinete T.R.A.M.A. Arquitectos por todo o apoio e disponibilidade que me ofereceram.



## Resumo

A situação ambiental do nosso planeta tem-se revelado cada vez mais preocupante ao longo dos anos, sendo a gestão dos recursos energéticos uma das principais causas desta preocupação. A energia é um bem essencial, mas a sua produção e consumo têm registado um grande impacto ambiental, ameaçando o equilíbrio do planeta e a salvaguarda de gerações futuras.

Actualmente, o sector dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo energético mundial, pelo que a melhoria do seu desempenho energético pode contribuir significativamente para a sustentabilidade energética e ambiental do planeta.

Assim, este trabalho consiste no estudo de medidas de eficiência energética no campo da reabilitação de edifícios, no intuito de compreender e avaliar o impacto que estas medidas podem representar na redução dos consumos energéticos deste sector. Foi utilizado como caso de estudo deste trabalho um edifício de habitação unifamiliar construído no ano de 1963, para o qual foi analisado o seu desempenho energético antes e após a aplicação de diferentes medidas de reabilitação.

Para esta análise foi utilizado o *software* de simulação dinâmica *Design Builder* onde foi concebido o modelo do edifício em questão atendendo às suas características e realizadas as devidas alterações mediante os requisitos das medidas de reabilitação a aplicar. Deste modo foi obtido o diagnóstico energético após cada simulação, o que permitiu avaliar o impacto no consumo energético do edifício.

No final foi ainda realizada uma análise económica a fim de compreender a relação custo/benefício da aplicação das diferentes medidas de reabilitação estudadas.

Os resultados deste estudo mostram que é possível tornar um edifício energeticamente mais eficiente, reduzindo as suas necessidades energéticas através da aplicação de várias medidas de reabilitação.

**Palavras-Chave:** Reabilitação, Eficiência Energética, Simulação Dinâmica.



## **Abstract**

The environmental status of our planet has been revealing itself increasingly worrying over the years, being the management of the energy resources as one of the main causes of concern. Energy is an essential commodity, but its production and consumption have registered a large environmental impact, threatening the balance of the planet and the protection of future generations.

Nowadays, the building sector is one of the main responsible for the world's energy consumption, which means that improving the buildings' energy performance can significantly contribute to the world's energetic and environmental sustainability.

Therefore, this work consists in the study of energy efficient measures in the buildings' rehabilitation field, in order to understand and assess the impact that these measures can have in reducing the energy consumption of this sector. It was used as a case study of this work a building of single family dwelling built in 1963, for which was analyzed the energy performance before and after the application of the different rehabilitation measures.

This analysis was made using the dynamic simulation software Design Builder, designing the model according to the characteristics of the building and making the appropriate amendments required by the rehabilitation measures. Thus, the energetic diagnosis obtained by each simulation allowed to assess the impact on the building energy requirements.

In the end it has still been made an economic analysis in order to understand the cost/benefit relation of the rehabilitation measures studied.

The results of this study show that it is possible to improve the energy efficiency of a building, reducing its energetic requirements by the application of some rehabilitation measures.

**Keywords:** Rehabilitation, Energy Efficiency, Dynamic Simulation.





# Índice

Capítulo 1   INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objectivos .....	3
Capitulo 2   ESTADO DA ARTE .....	5
2.1. O Ambiente e a Eficiência Energética.....	5
2.1.1. Panorama actual do ambiente e o Desenvolvimento Sustentável .....	5
2.1.2. As alterações climáticas.....	7
2.1.3. Política Energética .....	10
2.1.4. Utilização Racional de Energia (URE) – estratégias e barreiras .....	17
2.2. O Sector Residencial e a Reabilitação .....	18
2.2.1. Parque Habitacional Português.....	18
2.2.2. Edifícios.....	22
2.2.3. Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) .....	29
2.2.4. Problemas energéticos na envolvente dos edifícios .....	30
2.3. Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios .....	33
2.3.1. Reforço do isolamento térmico – Paredes Exteriores .....	34
2.3.1.1. Isolamento térmico pelo exterior .....	35
2.3.1.2. Isolamento térmico pelo interior .....	38
2.3.1.3. Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas.....	39
2.3.2. Coberturas .....	40
2.3.2.1. Coberturas inclinadas.....	40
2.3.2.2. Coberturas horizontais .....	42
2.3.3. Pavimentos .....	43
2.3.4. Vãos envidraçados.....	44

Capítulo 3   METODOLOGIA .....	49
3.1. Metodologia Geral.....	49
3.2. Software de simulação dinâmica - Energy Plus e Design Builder .....	51
3.3. Descrição do caso de estudo .....	59
3.3.1. Caracterização geométrica .....	59
3.3.2. Caracterização construtiva.....	61
3.4. Modelo de simulação - Design Builder .....	64
Capítulo 4   RESULTADOS.....	67
4.1. Diagnóstico Energético .....	67
4.2. Medidas de Reabilitação Energética – aplicação ao caso de estudo.....	69
4.2.1. Isolamento térmico nas paredes exteriores.....	69
4.2.2. Isolamento térmico na cobertura.....	72
4.2.3. Vãos Envidraçados .....	75
4.2.4. Combinação de medidas de reabilitação .....	78
4.3. Análise económica .....	81
4.3.1. Custo do investimento.....	81
4.3.2. Custo da energia ao longo do tempo .....	83
4.3.3. Período de retorno do investimento .....	85
Capítulo 5   CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS .....	89
5.1. Conclusões .....	89
5.2. Proposta de trabalhos futuros .....	91
Referências Bibliográficas.....	93

## Índice de Figuras

Figura 1 - Metas a atingir em 2020 .....	11
Figura 2 - Impacto previsto das medidas de eficiência do PNAEE a 2016 e 2020 (esquerda). Poupanças por área específica (direita).....	14
Figura 3 - Evolução prevista da meta global. Consumo total de FER em 2020 .....	16
Figura 4 - Evolução do número de alojamentos familiares e famílias clássicas 1970- 2011. ....	19
Figura 5 - Número e taxa de variação do número de alojamentos familiares clássicos sobrelotados e sublotados 2001-2011.....	21
Figura 6 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção .....	23
Figura 7 - Número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos, 2011 ..	24
Figura 8 - Número de edifícios clássicos segundo o número de pisos do edifício, 2011 .....	25
Figura 9 - Número de edifícios clássicos segundo tipo de estrutura de construção, 2011 .....	26
Figura 10 - Número de edifícios clássicos segundo tipo de revestimento exterior de paredes, 2011 .....	27
Figura 11 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura, 2011 .....	27
Figura 12 - Número de edifícios clássicos segundo estado de conservação, 2011 ..	28
Figura 13 - Causas de degradação do edificado.....	29
Figura 14 - Esquema de revestimento independente com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar.....	36
Figura 15 - Sistema de isolamento térmico com revestimento espesso (esquerda). Sistema de isolamento térmico com revestimento delgado (direita). ....	37
Figura 16 - Esquema pré-fabricado fixado directamente no suporte (esquerda). Solução de reboco isolante (direita). ....	38
Figura 17 - Solução de contra-fachada interior em alvenaria (esquerda). Solução de contra-fachada interior em gesso cartonado (direita). ....	39

Figura 18 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico da esteira horizontal de um desvão não habitável .....	41
Figura 19 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico das vertentes de um desvão habitável.....	42
Figura 20 - Reforço isolamento térmico inferior (esquerda). Reforço isolamento térmico superior (direita) .....	43
Figura 21 - Reforço isolamento térmico de pavimentos sobre espaço exterior ou não-aquecido. Isolamento térmico inferior (Esquerda). Isolamento térmico intermédio (Direita).....	44
Figura 22 - Reforço isolamento térmico de pavimentos sobre espaço exterior ou não-aquecido - Isolamento térmico superior. ....	44
Figura 23 - Quadro: Reabilitação térmica dos vãos envidraçados - medidas e objectivos .....	46
Figura 24 - Esquema da Metodologia Geral.....	50
Figura 25 - Design Builder - janela de novo projecto.....	52
Figura 26 - Design Builder – representação da geometria do modelo. ....	52
Figura 27 - Design Builder - janela de selecção do tipo de actividade para determinada zona.....	53
Figura 28 - Design Builder - janela de caracterização construtiva para os elementos da envolvente opaca. ....	54
Figura 29 - Design Builder - janela de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior.....	55
Figura 30 - Design Builder - janela referente às propriedades de um determinado elemento construtivo. ....	55
Figura 31 - Design Builder - janela de selecção do tipo de vão envidraçado. ....	56
Figura 32 - Design Builder - janela de selecção do modo de iluminação de uma determinada zona.....	57
Figura 33 - Design Builder - janela de selecção de sistemas AVAC. ....	58
Figura 34 - Design Builder - janela de escolha da simulação.....	58

Figura 35 - Planta de cobertura.....	60
Figura 36 - Planta do Piso 0.....	60
Figura 37 - Planta do Piso 1 e Piso 2.....	60
Figura 38 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 0.....	61
Figura 39 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 1 e piso 2...62	62
Figura 40 - Pormenor e características do pavimento térreo.....	63
Figura 41 - Pormenor e características do pavimento interior.....	63
Figura 42 - Pormenor e características da cobertura.....	64
Figura 43 - Pormenor e características dos vãos envidraçados.....	64
Figura 44 - Design Builder - Planta do Piso 0 no modelo de simulação.....	65
Figura 45 - Design Builder - Planta do Piso 1 e Piso 2 no modelo de simulação.....	65
Figura 46 - Gráfico representativos dos ganhos térmicos internos.....	68
Figura 47 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 1 e piso 2 com reforço de isolamento térmico (sistema ETICS).....	69
Figura 48 - Pormenor e características da tipologia construtiva da cobertura após intervenção de reabilitação.....	72
Figura 49 - Gráfico representativo dos ganhos térmicos internos após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.....	78
Figura 50 - Previsão da evolução do custo de energia.....	84



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Áreas e respectivos programas onde incide a poupança prevista pelo PNAEE 2016. ....	14
Tabela 2 - Carências habitacionais quantitativas, 2001-2011 .....	20
Tabela 3 - Alojamentos vagos. Taxas de Cobertura das Carências Habitacionais 2001-2011 .....	20
Tabela 4 - Carências habitacionais qualitativas 2001-2011 .....	22
Tabela 5 - Vantagens do novo certificado energético .....	30
Tabela 6 - Necessidades energéticas globais .....	67
Tabela 7 - Necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros usos de energia	67
Tabela 8 - Designação e características das diferentes simulações para reforço do isolamento térmico das paredes exteriores. ....	70
Tabela 9 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.....	70
Tabela 10 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.....	71
Tabela 11 - Quantificação e variação da produção de CO <sub>2</sub> após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.....	72
Tabela 12 - Designação e características das diferentes simulações para intervenção de reabilitação da cobertura.....	73
Tabela 13 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura.....	74
Tabela 14 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura.. .....	74
Tabela 15 - Quantificação e variação da produção de CO <sub>2</sub> após intervenção de reabilitação da cobertura.....	75
Tabela 16 - Tipo e características dos vãos envidraçados seleccionados para análise.....	76

Tabela 17 - Tipo e características do vão envidraçado sugerido pelo software Design Builder.....	76
Tabela 18 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados. ....	77
Tabela 19 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.....	77
Tabela 20 - Quantificação e variação da produção de CO <sub>2</sub> após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados. ....	77
Tabela 21 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação (combinações).....	79
Tabela 22 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação (combinações).....	80
Tabela 23 - Quantificação e variação da produção de CO <sub>2</sub> após intervenção de reabilitação (combinações).....	80
Tabela 24 - Custo de aplicação das medidas de reabilitação .....	81
Tabela 25 - Custo do investimento das medidas de reabilitação. ....	82
Tabela 26 - Custo do investimento das combinações de medidas de reabilitação. ..	83
Tabela 27 - Custo do consumo energético ao longo do tempo. ....	84
Tabela 28 - Custo do consumo energético ao longo do tempo (combinações).....	85
Tabela 29 - Retorno do investimento das medidas de reabilitação. ....	86
Tabela 30 - Retorno do investimento da combinação de medidas de reabilitação. ..	87



## Abreviaturas

ADENE – Agência para a Energia

AEA – Agência Europeia do Ambiente

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AQS – Águas Quentes Sanitárias

BCSD – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável

CBD – Convenção da Biodiversidade

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

ENAAC – Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

ECO.AP – Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública

EPBD – Directiva Europeia para o Desempenho Energético de Edifícios

FER – Fontes de Energia Renovável

GEE – Gases com efeito estufa

I&D – Investigação e Desenvolvimento

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

NZEB – Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo (*net zero energy buildings*)

PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas

PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional da Acção para as Energias Renováveis

PNALE – Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão

RBNC – Roteiro Nacional de Baixo Carbono

UE – União Europeia

UNCCD – Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas para o Combate às Alterações Climáticas

URE – Utilização Racional de Energia

## Capítulo 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

O consumo energético é um assunto de elevada importância tanto a nível económico como a nível ambiental. A generalidade das necessidades energéticas de qualquer país desenvolvido é garantida essencialmente através da utilização de recursos fósseis, recursos esses cada vez mais escassos em todo o mundo e inexistentes/inexplorados em Portugal. Com isto, a dependência energética do exterior torna-se uma realidade, e é então imprescindível apelar a medidas que providenciem a alternativa a esta dependência, conduzindo à minoração do custo financeiro bem como do impacto ambiental.

Num primeiro olhar sobre este assunto, o impacto ambiental registado ao longo dos anos é um tópico que suscita elevada preocupação. A produção e consumo de energia de forma excessiva e inadequada proporcionam sérias ameaças ao nosso planeta, das quais se destacam as alterações climáticas. Assim sendo, surge a importância de definir medidas a nível global para combater a esta situação, nomeadamente à libertação de gases com efeito de estufa para a atmosfera, o que deu origem ao primeiro tratado jurídico internacional – Protocolo de Quioto. Mais tarde, com o período definido por este protocolo a chegar ao fim, surge a Correção de Doha ao Protocolo de Quioto visando um novo período de compromisso até 2020.

Esta situação alerta a comunidade mundial a promover a ideia de sustentabilidade, que se traduz no equilíbrio entre o ambiente, a economia e a sociedade, procurando estratégias e medidas que contribuam para este equilíbrio e para a salvaguarda das gerações futuras. Alcançar um desenvolvimento que satisfaça as nossas necessidades actuais sem comprometer a possibilidade das gerações futuras para satisfazer as suas próprias necessidades é o grande desafio global, designado como desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a União Europeia estabeleceu uma estratégia assente em três objectivos fundamentais visando promover o desenvolvimento sustentável. Conhecidos como objectivos 20/20/20, consistem na definição de metas a atingir até 2020 a respeito da redução das emissões de gases

com efeito de estufa (20%), do aumento da quota de energias renováveis (20%) e da melhoria da eficiência energética (20%).

Sendo o consumo de energia uma questão de grande relevância em prol do desenvolvimento sustentável é conveniente focar atenções no conceito da eficiência energética, sendo este traduzido pela optimização do uso da energia, tanto a nível da sua produção, como a nível da redução do seu respectivo consumo.

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia final da europa. Com base nisto, é pertinente considerar a intervenção a nível do desempenho energético dos edifícios, de modo a conseguir tornar estes energeticamente eficientes, atendendo à satisfação das necessidades de habitação, nomeadamente as condições de conforto térmico, bem-estar e saúde, através de reduzidos consumos de energia.

De um ponto de vista nacional em torno deste tema da eficiência energética nos edifícios, é importante reconhecer o estado do parque habitacional português, que registou uma elevada taxa de crescimento nas últimas décadas. Contudo, a taxa de crescimento de famílias foi inferior à taxa de crescimento do parque habitacional, pelo que, apesar de este facto se traduzir na redução das carências habitacionais quantitativas, o mesmo pode não se verificar nas carências habitacionais qualitativas. Isto deve-se particularmente a factores construtivos e de ocupação, como a adequabilidade dos alojamentos à dimensão e constituição das famílias, a degradação dos edifícios, bem como a existência de infra-estruturas básicas, o que aponta para um desajuste entre o património construído e a qualidade habitacional.

Atendendo à situação actual do nosso país e ao intuito de satisfazer as carências habitacionais qualitativas, o segmento da construção revela-se uma solução de menor potencialidade de mercado para os anos futuros, o que faz com que a intervenção a nível da reabilitação se torne numa estratégia fundamental.

Com isto, este trabalho visa o estudo de medidas de reabilitação energética de edifícios, considerando como caso de estudo um edifício construído na década de 60, no intuito de avaliar possíveis propostas de intervenção a nível energético e económico.

## 1.2. Objectivos

O objectivo desta dissertação é o estudo de medidas de reabilitação de edifícios, essencialmente a nível da envolvente exterior, visando a eficiência energética.

Pretende-se com este trabalho conhecer diferentes soluções para a reabilitação energética de edifícios e a sua aplicabilidade, no intuito de avaliar propostas de intervenção e o seu impacto nos consumos energéticos de um determinado edifício.

É objecto de estudo desta dissertação um edifício construído na década de 60, para o qual é pretendido analisar o respectivo desempenho energético antes e após a aplicação de medidas de reabilitação. Esta análise será realizada através de simulação dinâmica recorrendo ao *software Design Builder*, de onde se esperam obter valores acerca das necessidades energéticas, ganhos térmicos internos, produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e/ou outros parâmetros que permitam avaliar o impacto no desempenho energético do edifício.

Pretende-se também realizar a análise económica das propostas de intervenção a fim de perceber a relação custo/benefício da aplicação das medidas de reabilitação estudadas para o edifício. Para esta análise pretende-se realizar a estimativa da poupança energética proporcionada por cada intervenção mediante o consumo energético e o custo do investimento, em ordem a avaliar se é justificável ou não realizar a intervenção, tendo em conta o período de retorno do investimento.

Atendendo à situação actual do nosso país, considerando a crise económica que se faz sentir e o mercado da construção praticamente estagnado que proporciona o crescimento do mercado da reabilitação, espera-se que este trabalho se revele útil para uma melhor compreensão dos aspectos em torno da reabilitação energética dos edifícios.



## Capítulo 2 | ESTADO DA ARTE

### 2.1. O Ambiente e a Eficiência Energética

#### O Ambiente

##### 2.1.1. Panorama actual do ambiente e o Desenvolvimento Sustentável

Uma das principais preocupações com que a sociedade moderna se depara actualmente é a gestão dos recursos energéticos. A exploração dos recursos de origem fóssil tem vindo a ser excessiva ao longo dos anos, e inevitavelmente, a sua possível escassez torna-se uma grande preocupação a nível mundial. Devido à natureza finita destes recursos, juntamente com o impacto ambiental do seu consumo, a sociedade vê-se alertada para procurar estratégias e medidas que contrariem este ritmo, procurando contribuir para um melhor ambiente no planeta e para as gerações futuras. Isto resume-se no paradigma do desenvolvimento sustentável.

Em 1987, a Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento alerta para a necessidade de promover a ideia de sustentabilidade, sendo então o conceito de desenvolvimento sustentável apresentado oficialmente através do Relatório Brundtland que o define como um desenvolvimento que satisfaz as nossas necessidades actuais sem comprometer a possibilidade das gerações futuras para satisfazer as suas próprias necessidades (1).

Apesar de a ideia ser clara, o desafio de alcançar o desenvolvimento sustentável apresenta uma complexidade considerável pois envolve a conjugação de três diferentes questões. Em primeiro lugar, o desenvolvimento sustentável implica um desenvolvimento económico, sendo a economia um elemento essencial para alcançar o “equilíbrio ideal”. Não menos importante é a questão da protecção do ambiente, que não foi suficientemente considerada no passado, e ainda o objectivo de promover o bem-estar da sociedade. A economia, o ambiente, e o bem-estar da sociedade são então as três questões que formam a base de suporte para o conceito de desenvolvimento sustentável.

É verdade que já desde os anos 70 e 80 se reconhecem questões de carácter ambiental, contudo, é na sequência do Relatório Brundtland (1987) que a União

Europeia (UE) adere à noção de desenvolvimento sustentável. Visando a reconciliação do desenvolvimento económico com a protecção do ambiente, o conceito é colocado na agenda política mundial em 1992 no Rio de Janeiro, com o decorrer da Cimeira da Terra a título oficial de Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento. Esta conferência revelou o despertar das nações para as questões ambientais e culminou anos de preparação de diferentes tratados e documentos na área do Ambiente. Estes tratados internacionais serviriam como resposta ao aumento das preocupações sobre tendências alarmantes no ecossistema global. A própria noção de questão ambiental global era então recente e questionava a comunidade internacional sobre os conceitos e as instituições necessárias.

No início da década de noventa é criada a Agência Europeia do Ambiente (AEA), que encetou efectivamente as suas actividades em 1994, com o objectivo de apoiar o desenvolvimento sustentável e ajudar a alcançar melhorias significativas e mensuráveis ao nível do ambiente na Europa, mediante a prestação de informação oportuna, bem orientada, pertinente e fiável aos decisores políticos e ao público (2).

Passadas mais de quatro décadas de políticas da União Europeia, e após mais de 200 actos legislativos adoptados em prol da protecção do ambiente, a legislação europeia em vigor nos dias de hoje cinge a maior parte das questões ambientais. De acordo com a Comissão Europeia, todavia a aplicação das políticas continua a ser problemática. Não basta adoptar legislação: é igualmente necessária que essa seja devidamente aplicada e respeitada (3).

Em 2010 a Comissão Europeia propôs a estratégia Europa 2020, considerada uma estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. Esta visa melhorar a competitividade da UE, mantendo simultaneamente o seu modelo de economia social e melhorar significativamente a eficiência na utilização de recursos (4).

Para além de ter como objectivo incidir essencialmente no emprego, na investigação e desenvolvimento (I&D), na educação, na luta contra a pobreza e exclusão social, a estratégia Europa 2020 assenta também no âmbito das alterações climáticas e sustentabilidade energética, procurando reduzir as emissões de gases de efeito



estufa (GEE) em 20% em relação a 1990, obter 20% da energia a partir de fontes renováveis e aumentar 20% a eficiência energética (5).

### 2.1.2. As alterações climáticas

A energia é um bem essencial para toda a população mundial, contudo, a sua produção e consumo pode levar a consequências drásticas para o planeta. Exemplo disso é a emissão de gases provenientes da produção de energia através da exploração e queima de combustíveis fósseis. Estes gases, como é o caso do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ao serem emitidos para a atmosfera provocam a retenção da radiação solar, facto conhecido como efeito estufa, o que conduz ao aquecimento do planeta e à instabilidade climática.

O problema das alterações climáticas começou a ser devidamente reconhecido nas últimas décadas do século XX, alertando para a necessidade de fazer face à sua tendência. A primeira conferência sobre o clima mundial (*First World Climate Conference* (WCC)) deu-se em 1979, o que revelou ser o início de um desenrolar de diversas iniciativas no âmbito das alterações climáticas.

Em 1992, aquando da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento (Cimeira do Rio) foram definidos diferentes tratados e documentos relativos ao ambiente, de entre os quais são predominantes a Convenção-Quadro das Nações Unidas para o Combate às Alterações Climáticas (UNFCCC), a Convenção da Biodiversidade (CBD) e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) (6).

A UNFCCC entrou em vigor a 21 de Março de 1994 com a principal missão de prevenir a ameaça da interferência humana ao sistema climático, e o objectivo de encontrar a estabilidade da concentração de gases com efeito estufa na atmosfera de modo a evitar consequências para o ambiente.

Em 1997 surge o Protocolo de Quioto, como o primeiro tratado jurídico internacional, visando estabelecer metas de redução de emissões de gases de efeito estufa a nível internacional. Este protocolo identifica a divisão entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento pois reconhece que os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelos elevados níveis de gases de efeito estufa, resultado de mais de 150 anos de industrialização, colocando sobre estes um fardo superior. Rectificado

em 2005, o Protocolo de Quioto define um calendário estabelecendo um período de compromisso entre 2008 e 2012, em que os países-membros têm a obrigação de reduzir a emissão de GEE num mínimo de 8%. Em 2012, e com o fim deste período de compromisso, surge a Correção de Doha ao Protocolo de Quioto em Doha, Qatar, que vem estabelecer um segundo período de compromisso para o qual é acordada a redução de emissão de GEE entre 2012 e 2020 (7).

Entre 2005 e 2012 foram também relevantes o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e os acordos de Copenhaga (2009) e Cancun (2010) representando também conjuntos de iniciativas e decisões em resposta às alterações climáticas. Ainda durante este período, esteve também presente o acordo de Durban (2011), o qual se revelou um ponto de viragem nas negociações, onde foi reconhecida a necessidade de elaborar um projecto visando lidar com a mudança climática para além de 2020 (8).

Actualmente, as alterações climáticas continuam a representar uma das principais ameaças ambientais, com consequências tanto a nível económico como social. Assim sendo, para fazer face a esta ameaça é possível seguir, resumidamente, duas estratégias de actuação, sendo elas a mitigação e a adaptação, que se traduzem respectivamente no processo de redução da emissão dos gases de efeito estufa para a atmosfera, e no processo de minimização dos efeitos negativos resultantes do impacto das alterações climáticas (6).

### **Estratégias de actuação**

Tal como mencionado previamente, mitigação consiste numa intervenção humana com o objectivo de reduzir um determinado impacto ambiental. Assumindo o problema como a alteração climática, uma potencial resposta a esta questão concentra-se na redução das emissões de gases com efeito estufa para a atmosfera. Este contexto depende das circunstâncias sócio-económicas e ambientais bem como da disponibilidade de informação e tecnologia (6).

Está disponível actualmente uma diversidade de instrumentos e políticas governamentais com o intuito de criar incentivos para acções de mitigação. Este conceito é essencial para atender ao objectivo da Convenção Quadro das Nações Unidas para Combate às Alterações Climáticas (UNFCCC) de estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera.

A nível europeu, a Pacote Energia-Clima da União Europeia estabeleceu como objectivo comunitário uma redução de pelo menos 20% das emissões de gases de efeito de estufa até 2020, comparativamente com 1990 (9).

A nível nacional, o cumprimento dos objectivos face às alterações climáticas ao longo dos anos no âmbito do Protocolo de Quioto foi baseado em instrumentos fundamentais, nomeadamente:

- Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC);
- Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão para o período 2008-2012 (PNALE II);
- Fundo Português de Carbono.

E ainda para o período pós-2012, o conselho de ministros decretou os seguintes instrumentos:

- Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC);
- Programa Nacional para as Alterações Climáticas para o período 2013-2020 (PNAC 2020);
- Planos Sectoriais de Baixo Carbono.

A segunda estratégia complementar a este contexto é a adaptação. Segundo a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Combate às Alterações Climáticas, adaptação refere-se a ajustes em sistemas ecológicos, sociais ou económicos, em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados e os seus efeitos ou impactos. Refere-se a mudanças nos processos, práticas e estruturas para moderar danos potenciais ou para se beneficiar de oportunidades associadas às mudanças climáticas (8).

Em Portugal foi adoptada a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (EN AAC), estruturada em objectivos no âmbito da informação e conhecimento, redução da vulnerabilidade e aumento da capacidade de resposta, participação, sensibilização e divulgação e ainda cooperação a nível internacional (6)

Mais recentemente, a Comissão Europeia definiu a Estratégia Europeia de Adaptação às Alterações Climáticas (2013).

Alertada para a questão das alterações climáticas, entre muitos outros problemas, a sociedade vê-se obrigada a mudar o seu modo de actuação face à produção e consumo de energia, sendo que nos dias de hoje, alcançar o desenvolvimento sustentável é o grande desafio global.

“O desafio é enorme e a solução de longo prazo está longe de ser conhecida mas, no curto e médio prazo, a acção tem de passar pela procura de fontes alternativas de energia, com ênfase especial para as renováveis, e pelo aumento da eficiência na utilização das energias disponíveis” (10).

### **A Eficiência Energética**

A energia, tal como conhecida em forma de calor, luz, entre outras, passa previamente por um processo de transformação para poder ser utilizada. Neste processo, subsiste inevitavelmente alguma perda, nomeadamente por questões físicas. Contudo, grande parte da perda de energia deve-se ao seu mau aproveitamento e à falta de optimização aquando do seu consumo.

O conceito de eficiência energética consiste essencialmente na optimização do consumo de energia. Este conceito é normalmente associado à relação entre a quantidade de energia consumida e a quantidade de energia disponibilizada para a realização de uma determinada actividade.

Assim sendo, é importante a adopção de medidas que visem melhorar a utilização da energia, desde o sector doméstico aos sectores de serviços e indústria, o que frequentemente se traduz no termo “Utilização Racional da Energia” (URE).

#### **2.1.3. Política Energética**

A adopção do compromisso no âmbito do Protocolo de Quioto levou desde logo os Estados Membros à procura da optimização do desempenho no sector através do aperfeiçoamento de modelos energéticos.

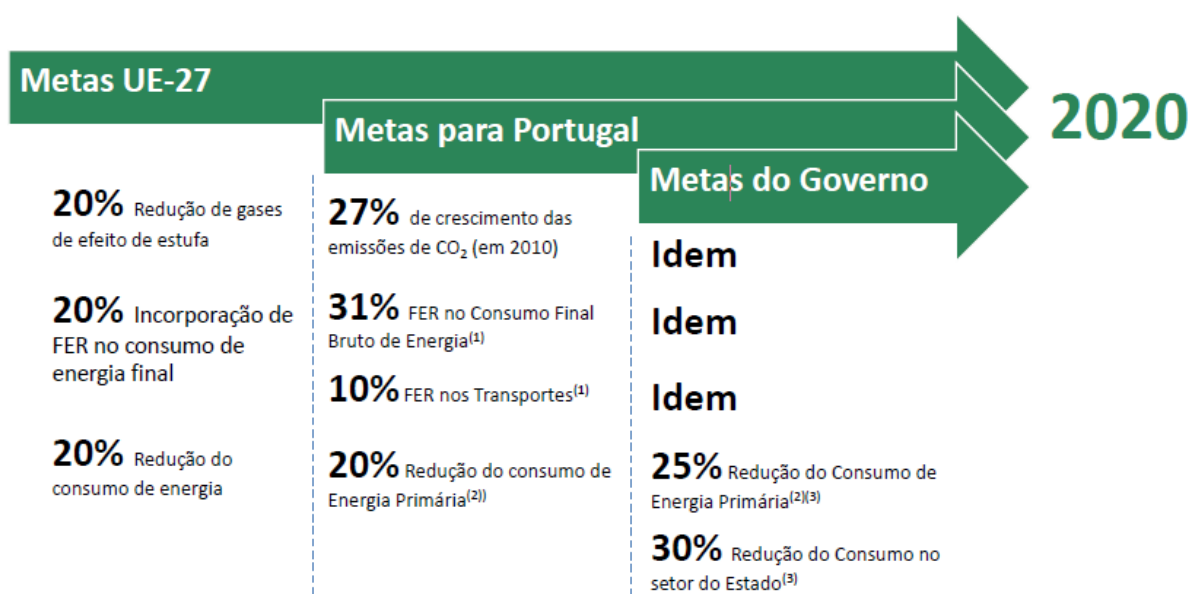
Portugal, sendo um dos Estados Membros, formulou uma política energética assente em dois conceitos fundamentais, sendo eles a racionalidade económica e a sustentabilidade, tendo por base medidas de eficiência energética, utilização de energias renováveis e a necessidade de reduzir custos (11)

A nova visão do sector energético para 2020 integra a promoção da eficiência energética e de fontes de energias renováveis (FER), procurando articular as estratégias para a procura e oferta de energia visando principalmente colocar a energia ao serviço da economia e das famílias, garantindo ao mesmo tempo a sustentabilidade de preços (12).

A necessidade de reduzir o consumo de energia à escala global, dita a necessidade de cada país desenvolver políticas energéticas capazes de cumprir metas.

As metas da União Europeia (UE) para 2020 traduzem-se em objectivos concretos para Portugal. Adicionalmente foram adoptadas metas pelo Governo que vão além dos objectivos da UE, demonstrando o compromisso de Portugal para fazer face às alterações climáticas (12).

Estas metas estão apresentadas na Figura 1.



(1) Meta vinculativa da UE; (2) redução sobre o consumo de energia primária em 2020 em relação ao Baseline 2007 do modelo PRIMES da comissão; (3) Meta do Governo de Portugal

Figura 1 - Metas a atingir em 2020 (Fonte: (12))

Com isto, foram desenvolvidos planos e programas com o intuito de permitir dinamizar medidas a todos os níveis.

A nível europeu, foi criada a Directiva nº 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, conhecida como Directiva Europeia para o Desempenho Energético de Edifícios (EPBD), mais tarde reformulada dando origem à actual Directiva

2010/31/EU, conhecida como “EPBD-recast”, a fim de promover um conjunto de medidas com o objectivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios (13).

A nível nacional destacam-se o Plano Nacional da Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER) e o Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública (ECO.AP) (14).

### **EPBD-recast**

A Directiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios actual (EPBD-recast) é motivada essencialmente para dois objectivos, sendo eles:

- Redução das Emissões de Carbono como forma de combater as alterações climáticas;
- Promover o desenvolvimento de soluções sustentáveis e de eficiência energética.

Esta Directiva defende que a partir de 2020 todos os edifícios novos na União Europeia (EU) devem ser edifícios de muito baixo consumo energético. Com isto surge um novo conceito – Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo (NZEB, acrónimo do inglês “*net zero energy building*”), que deverá ser aplicado obrigatoriamente para edifícios públicos a partir de 2018 e para todos os novos edifícios a partir de 2020.

Este conceito traduz-se em:

- Edifícios com baixas necessidades energéticas devidas à envolvente;
- Equipamentos eficientes; e
- As necessidades energéticas remanescentes devem ser asseguradas pela utilização de fontes de energia renovável sempre que possível.

Todavia o conceito de Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo ainda não está completamente clarificado, pelo que cada Estado Membro deve defini-lo tendo em conta as especificidades locais (15).

## **PNAEE 2016**

O Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 foi aprovado e publicado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de Abril. Partindo da análise do impacto potencial e exequibilidade económica do PNAEE 2008, o PNAEE 2016 veio incrementar novos objectivos e medidas face ao plano anterior.

O principal objectivo do PNAEE 2016 é o de projectar novas acções e metas para 2016, em articulação com o PNAER 2020, integrando as preocupações relativas à redução de energia primária para o horizonte de 2020 constantes da Nova Directiva Eficiência Energética (11).

São agora objectivos da Estratégia para a Eficiência Energética (PNAEE 2016) (12):

- Aumentar a eficiência energética da economia e em particular no sector Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e a competitividade das empresas;
- Cumprir todos os compromissos assumidos por Portugal de forma economicamente mais racional;
- Reforçar a monitorização e acompanhamento das diversas medidas;
- Reavaliar medidas com investimentos elevados e fusão de atuais medidas;
- Lançar novas medidas a partir das existentes abrangendo novos sectores de actividade (ex.: Agricultura); e
- Aumento da eficiência energética no sector do Estado, consubstanciado pelo programa Eco.AP, sendo que a portaria que define o Caderno de Encargos-Tipo foi publicada na Portaria n.º 60/2013.

No que respeita à Eficiência Energética, o PNAEE 2016 prevê uma poupança induzida de 8,2%, próxima da meta indicativa definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016. Esta poupança abrange seis áreas específicas, nomeadamente Comportamentos, Agricultura, Estado, Transportes, Indústria e Residencial e Serviços, num total de 10 programas, apresentados na Tabela 1.

## Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética

Tabela 1 - Áreas e respectivos programas onde incide a poupança prevista pelo PNAEE 2016.

Área	Programa
Comportamentos e Agricultura	Eficiência no Sector Agrícola
Estado	Eficiência Energética no Estado
Transportes	Renove Carro
	Mobilidade Urbana
	Sistema de Eficiência Energética nos Transportes
Indústria	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
Residencial e Serviços	Renove Casa & Escritório
	Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios
	Solar Térmico

A Figura 2 representa o gráfico do impacto previsto das medidas de eficiência do PNAEE e as áreas específicas onde incide a poupança de energia prevista.

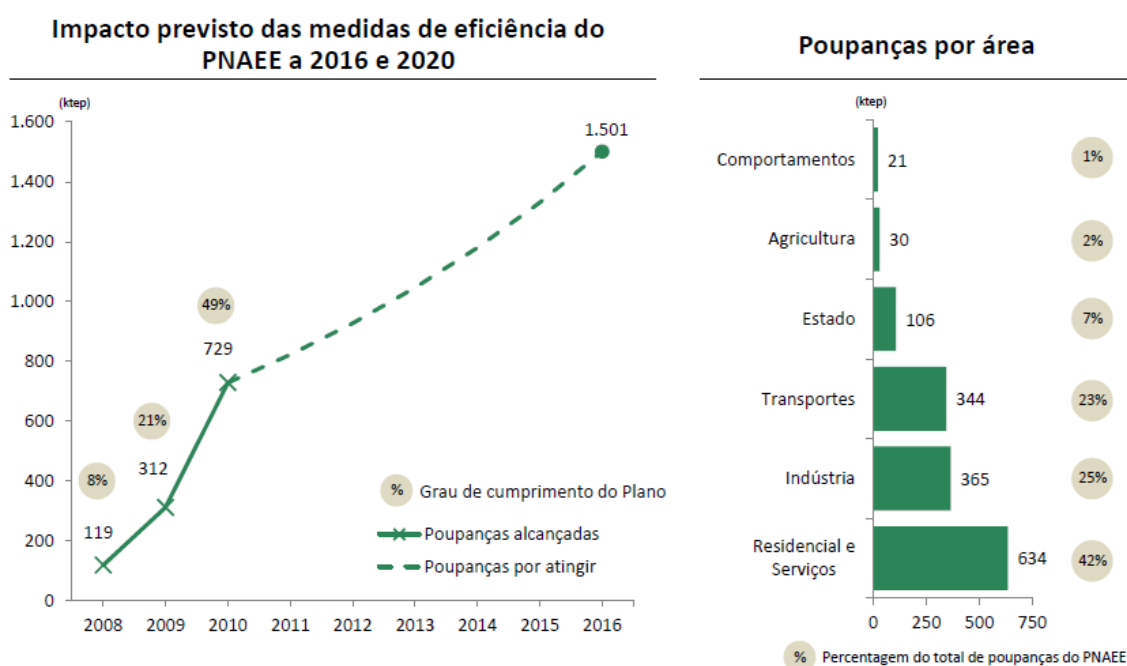


Figura 2 – Impacto previsto das medidas de eficiência do PNAEE a 2016 e 2020 (esquerda). Poupanças por área específica (direita) (Fonte: (12)).

## PNAER 2013-2020

O Plano Nacional da Acção para as Energias Renováveis (PNAER), tal como o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, é um instrumento de planeamento energético que estabelece o modo de alcançar as metas e



compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis (FER) (11).

O PNAER prevê, para 2020, uma redução de 18% na capacidade instalada em tecnologias baseadas em fontes de energia renováveis (FER) face ao anterior plano de 2010, com a quota de electricidade de base renovável superior, bem como a meta global a alcançar (35%).

Após a sua redefinição, são agora objectivos deste novo plano (12):

- Os incentivos à construção, quer em meios de produção baseados em FER, quer também em centrais de ciclo combinado a gás natural;
- A aposta nas FER não será descontinuada, sendo redireccionada para as fontes de energia/tecnologias com racionalidade económica;
- Os apoios às FER deverão ser suportados por todos os sectores beneficiários (e não apenas pelo consumidor de electricidade) e ter em conta a maturidade, os custos relativos de cada recurso/tecnologia e o valor acrescentado nacional de cada uma das opções;
- O apoio à I&D será assegurado através dos mecanismos próprios para o efeito, como é o caso do novo Quadro Estratégico Comum (QEC 2014-2020), o Fundo de Apoio à Inovação (FAI), o Programa-Quadro de Investigação e Inovação (Horizon2020), mitigando o risco tecnológico para os promotores e para os consumidores.

As metas para a contribuição das FER não devem ser entendidas como limites, mas, ao contrário, como o mínimo necessário, tendo em conta os princípios de racionalidade económica e adequação entre procura e oferta, para assegurar o cumprimento das metas com as quais Portugal está comprometido.

Em ordem a garantir a viabilidade e a sustentabilidade do PNAER, este plano assenta em princípios sólidos ajustados à realidade actual, estabelecendo as trajectórias de introdução de FER em três diferentes sectores, sendo eles a electricidade, o transporte e o aquecimento/arrefecimento.

A Figura 3 apresenta a evolução da meta global para a década de 2010 a 2020, bem como a previsão do consumo total das fontes de energia renováveis (FER) para 2020, representando os três diferentes sectores e o seu peso (%) na meta a atingir.

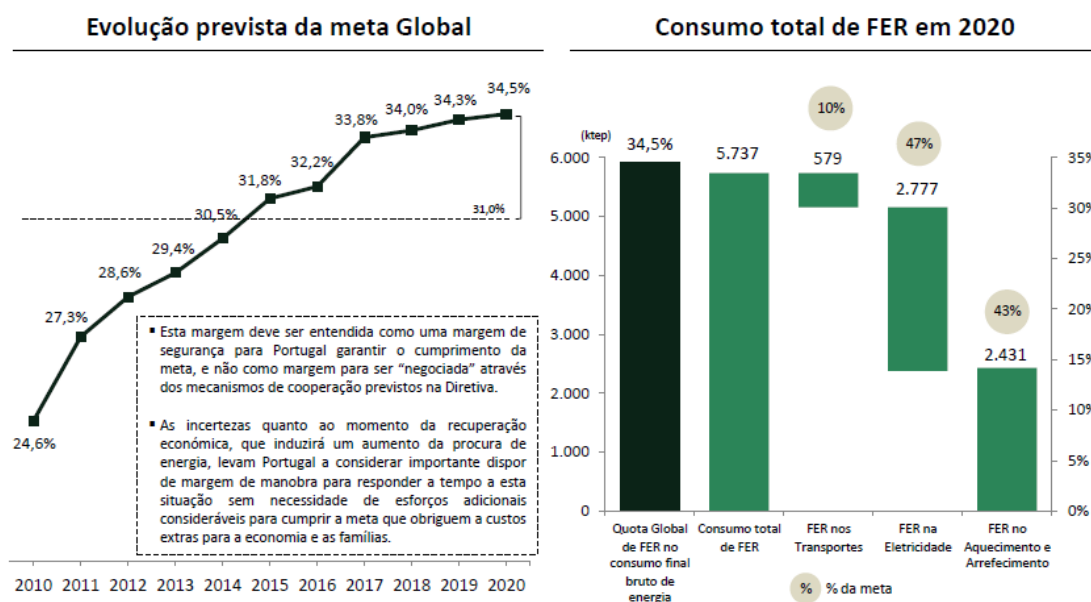


Figura 3 - Evolução prevista da meta global. Consumo total de FER em 2020 (Fonte: (12))

### Programa ECO.AP

O Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública (ECO.AP) foi lançado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, tendo como objectivo obter um nível de eficiência energética de cerca de 20% até ao ano 2020 nos serviços públicos e nos organismos da Administração Pública, sem aumentar a despesa pública e permitindo simultaneamente estimular a economia no sector das empresas de serviços energéticos, através da criação do quadro legal destas empresas e da contratação pública de gestão de serviços energéticos (16).

Visando alcançar os objectivos propostos pelo ECO.AP, está em funcionamento o Barómetro de Eficiência Energética que se destina a comparar e divulgar o desempenho energético da Administração Pública. Este Barómetro promove a competição entre as entidades públicas através de um mecanismo de avaliação e "ranking" de entidades, comparando e divulgando publicamente o "ranking" de desempenho energético dos serviços e organismos da administração directa e indirecta do estado, através de uma bateria de indicadores de eficiência energética (17).

#### 2.1.4. Utilização Racional de Energia (URE) – estratégias e barreiras

Como mencionado anteriormente, o termo URE consiste na ideia de melhorar a utilização de energia nos diferentes sectores promovendo a optimização do seu aproveitamento.

Este conceito proporciona uma grande variedade de vantajosos impactos (18), de entre os quais se destacam os seguintes:

- Reforço da competitividade das empresas;
- Redução da factura energética do País;
- Redução da intensidade energética da economia;
- Redução da dependência energética; e
- Redução das emissões de poluentes, incluindo os gases de efeito estufa.

Para além disto, existem ainda benefícios não-energéticos que a utilização de tecnologias de eficiência energética pode proporcionar. O aumento do conforto e segurança, o aumento da produtividade do trabalho, bem como a redução de ruído e resíduos são alguns exemplos de benefícios que, na maior parte das vezes, estão na origem da decisão da utilização de tecnologias eficientes na perspectiva dos consumidores.

Contudo, segundo o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (BCSD Portugal), vários estudos demonstram que a utilização racional de energia (URE) tem custos inferiores à expansão da oferta de energia, mesmo sem contabilizar a mitigação dos impactos ambientais e outras externalidades. Apesar dos múltiplos benefícios que a utilização racional de energia possa proporcionar para os utilizadores de energia e para a sociedade em geral, existe um conjunto de barreiras que dificultam a introdução das tecnologias mais eficientes (18).

Estas barreiras podem ser encontradas em diferentes aspectos, tanto a nível económico como a nível social. Em diversos casos, o obstáculo está na elevada despesa em termos de investimento inicial destas tecnologias, embora os custos de funcionamento dos equipamentos ao longo da vida sejam reduzidos. Por outro lado, o desconhecimento, por parte dos consumidores, das tecnologias mais eficientes e dos seus potenciais benefícios é um exemplo de barreira responsável pela difícil

interiorização da ideia de eficiência energética. Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia, os consumidores são a chave para a eficiência energética. Sem a participação activa dos consumidores não é possível que os equipamentos eléctricos mais eficientes sejam preferidos e utilizados.

Com isto, surge a Etiquetagem Energética, que consiste em inserir uma etiqueta em cada aparelho onde consta a informação sobre a eficiência energética do respectivo equipamento, permitindo assim ao consumidor ter a capacidade de escolher o mais eficiente. A etiqueta desenvolvida pela União Europeia fornece a informação da classe do equipamento numa escala de A a G (melhor e pior respectivamente) e o valor indicativo do respectivo consumo de energia (19).

## **2.2. O Sector Residencial e a Reabilitação**

### **2.2.1. Parque Habitacional Português**

O panorama do parque habitacional português sofreu uma grande mudança nos últimos anos. Como se pode verificar pela comparação dos resultados dos censos 2011 face aos resultados obtidos no ano de 2001, numa análise simplista, existe um maior número de edifícios, casas desabitadas e casas sobrelotadas, um maior número de casas para arrendar e ainda mais edifícios devolutos.

Um dos factos mais relevantes que se pode constatar é o número de alojamentos ser superior ao número de famílias em Portugal. Por norma, a relação entre o número de alojamentos familiares e o número de famílias clássicas é tendencialmente muito próxima, contudo, nas últimas três décadas o número de alojamentos quase duplicou, tendo registado um ritmo de crescimento sempre superior ao das famílias clássicas (Figura 4) (20).

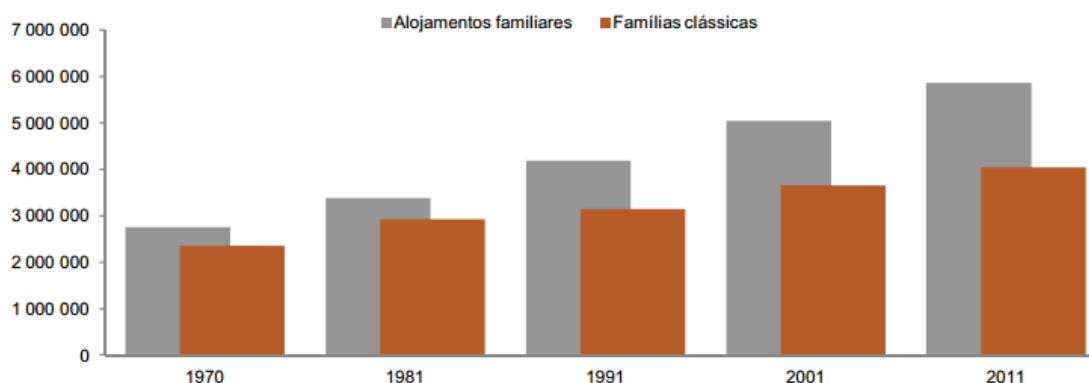


Figura 4 - Evolução do número de alojamentos familiares e famílias clássicas 1970-2011. (Fonte: (20))

Entre 2001 e 2011, o número de edifícios em Portugal aumentou 12% , para 3 544 389 e o número de alojamentos aumentou 16%, para 5 878 756. Os dados recolhidos pelo recenseamento geral da habitação permitem ainda concluir que a maior parte dos alojamentos (57,8%) são vivendas com uma ou duas famílias (21).

Devido a este crescimento e excesso de construção nos últimos anos, aliados à crise em que Portugal se encontra actualmente, o sector da construção está cada vez mais próximo de atingir assim um nível de estagnação. Posto isto, a reabilitação é o segmento do sector da construção que apresenta um maior potencial de evolução.

### **Necessidades de reabilitação**

O facto do crescimento do número de alojamentos familiares clássicos ter-se revelado superior ao crescimento de famílias clássicas nos últimos anos, atende para a redução das carências habitacionais em termos absolutos. No entanto, devido essencialmente às características particulares do mercado de habitação, a existência de carências habitacionais é ainda uma realidade.

### **Carências habitacionais quantitativas**

De um ponto de vista quantitativo, as carências habitacionais são mais do que a simples subtracção entre o número de alojamentos e o número de famílias. A identificação de alojamentos não clássicos, bem como as famílias clássicas residentes em hotéis e em convivências e ainda a quantificação dos alojamentos

necessários para as famílias que residem em regime de ocupação partilhada, são factores a considerar na quantificação das carências habitacionais.

Tabela 2 - Carências habitacionais quantitativas, 2001-2011 (Fonte: (20))

Indicadores quantitativos	2001	2011	Varição
<b>PORTUGAL</b>			
Alojamentos não clássicos	27 319	6 612	-76%
Famílias clássicas residentes em hotéis e similares e em convivências	1 646	3 373	105%
Alojamentos para famílias que residem em regime de ocupação partilhada (1-2) *	68 299	42 009	-38%
1 = Número de Famílias em regime de ocupação partilhada	121 119	75 658	-38%
2 = Número Alojamentos ocupados por famílias em regime ocupação partilhada	52 820	33 649	-36%
Reserva Mínima Mercado Habitação: 2% do número de famílias clássicas residentes	73 015	80 662	10%
<b>TOTAL DAS CARÊNCIAS HABITACIONAIS (n.º de alojamentos)</b>	<b>170 279</b>	<b>132 656</b>	<b>-22%</b>

Como podemos observar na Tabela 1, os dados apresentados demonstram que o volume total das carências habitacionais quantitativas em 2011 era de 132 656 alojamentos, representando uma redução de 22% face ao ano de 2001. Esta redução deve-se sobretudo ao decréscimo do número de alojamentos não clássicos (76%), mesmo apesar do aumento da reserva mínima do mercado da habitação consequente do aumento do número de famílias clássicas (20).

Para o cálculo da Taxa de Cobertura das Carências Habitacionais, considera-se o quociente entre o número de alojamentos vagos disponíveis no mercado e o volume total das carências habitacionais. Em 2011, registou-se um total de 274 966 alojamentos vagos disponíveis em Portugal, valor superior ao valor total das carências habitacionais (132 656 alojamentos), o que resulta numa taxa de cobertura de 207% (Tabela 3).

Tabela 3 - Alojamentos vagos. Taxas de Cobertura das Carências Habitacionais 2001-2011 (Fonte: (20))

Alojamentos Vagos	2001	2011	Varição
<b>PORTUGAL</b>			
Alojamentos vagos	543 777	735 128	35%
Alojamentos vagos disponíveis no mercado	185 509	274 966	48%
para venda	105 415	164 745	56%
para arrendar	80 094	110 221	38%
<b>TAXA DE COBERTURA DAS CARÊNCIAS HABITACIONAIS</b>	<b>109%</b>	<b>207%</b>	<b>↑</b>

Deste modo é possível concluir que, a nível quantitativo, as carências habitacionais em Portugal no ano de 2011 eram inexistentes (20).

### Carências habitacionais qualitativas

Apesar das carências habitacionais estarem potencialmente solucionadas a nível quantitativo, existem alguns factores que condicionam a qualidade habitacional. As carências habitacionais qualitativas podem ser identificadas através de indicadores como:

- Adequabilidade dos alojamentos face à dimensão e constituição das famílias;
- Estado de degradação dos edifícios e necessidades de reparação;
- Necessidade de infraestruturas básicas (instalações sanitárias, água canalizada e instalações de banho ou duche); e
- Condições de acessibilidade aos alojamentos.

Estes são factores que permitem identificar alguns desajustes entre o património construído e as exigências para um habitar com qualidade (INE, 2013).

Como se pode observar na Figura 5, o número de alojamentos sublotados sofreu um aumento em todas as classes consideradas (com excedente de uma, duas, três ou mais divisões), sendo que a maior variação diz respeito aos alojamentos com um excedente de três ou mais divisões.

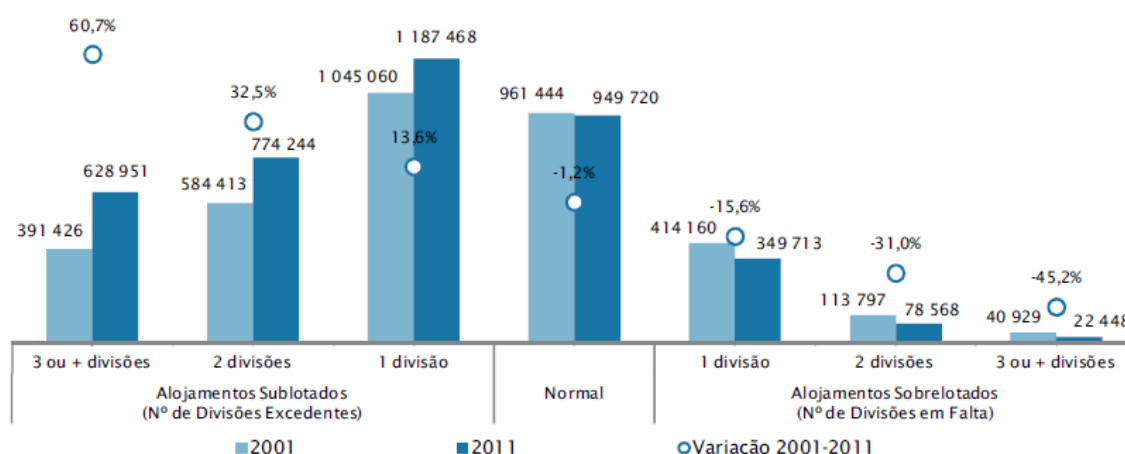


Figura 5 - Número e taxa de variação do número de alojamentos familiares clássicos sobrelotados e sublotados 2001-2011 (Fonte: (22)).

Por outro lado, todas as classes consideradas no que toca a alojamentos sobrelotados verificaram uma redução ao longo deste período de tempo.

Numa análise geral, e de acordo com os dados da Tabela 4, é possível constatar que o número de alojamentos sublotados aumentou 28% entre 2001 e 2011, correspondendo a 2 590 663 alojamentos em 2011 (65% face ao total do Parque Habitacional Português). Quanto ao número de alojamentos sobrelotados, estes passaram de 568 886 (em 2001) para 450 729 alojamentos (em 2011), representando uma redução de 21% (22)

Tabela 4 - Carências habitacionais qualitativas 2001-2011 (Fonte: (20)).

Indicadores Qualitativos	2001	2011	Varição
<b>PORTUGAL</b>			
<b>Alojamentos Sobrelotados</b>	<b>568 886</b>	<b>450 729</b>	<b>-21%</b>
com falta de 1 divisão	414 160	349 713	-16%
com falta de 2 divisões	113 797	78 568	-31%
com falta de 3 ou mais divisões	40 929	22 448	-45%
% face ao total do Parque Habitacional	16%	11%	↓
<b>Alojamentos Sublotados</b>	<b>2 020 899</b>	<b>2 590 663</b>	<b>28%</b>
com excesso de 1 divisão	1 045 060	1 187 468	14%
com excesso de 2 divisões	584 413	774 244	32%
com excesso de 3 ou mais divisões	391 426	628 951	61%
% face ao total do Parque Habitacional	57%	65%	↑
<b>Alojamentos integrados em edifícios muito degradados</b>	<b>114 183</b>	<b>70 383</b>	<b>-38%</b>
<b>Alojamentos sem pelo menos uma das três infraestruturas básicas</b> (instalações sanitárias, água canalizada e instalações de banho ou duche)*	<b>325 344</b>	<b>79 269</b>	<b>-76%</b>
% face ao total do Parque Habitacional	9%	2%	↓

É ainda de salientar que o número de alojamentos integrados em edifícios muito degradados, bem como os alojamentos com carência de infraestruturas básicas apresentaram uma redução significativa entre 2001 e 2011, respectivamente 38% e 76%, contribuindo para a diminuição das carências habitacionais qualitativas.

### 2.2.2. Edifícios

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia final na Europa e 30% no caso de Portugal. Sendo assim, melhorar o desempenho energético dos edifícios é um factor chave para a sustentabilidade energética e ambiental (23).

No âmbito do compromisso assumido no Protocolo de Quioto, no qual visa a redução das emissões de gases com efeito estufa para a atmosfera, estudos



revelam que é possível a redução de cerca de 50% do consumo energético no sector dos edifícios através de medidas de eficiência energética, resultando numa redução anual à volta de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

## Características dos edifícios

### Época de construção

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), é possível verificar que mais de metade dos edifícios existentes é relativamente recente, sendo que 63,1% dos edifícios foram construídos após 1970 (Figura 6).

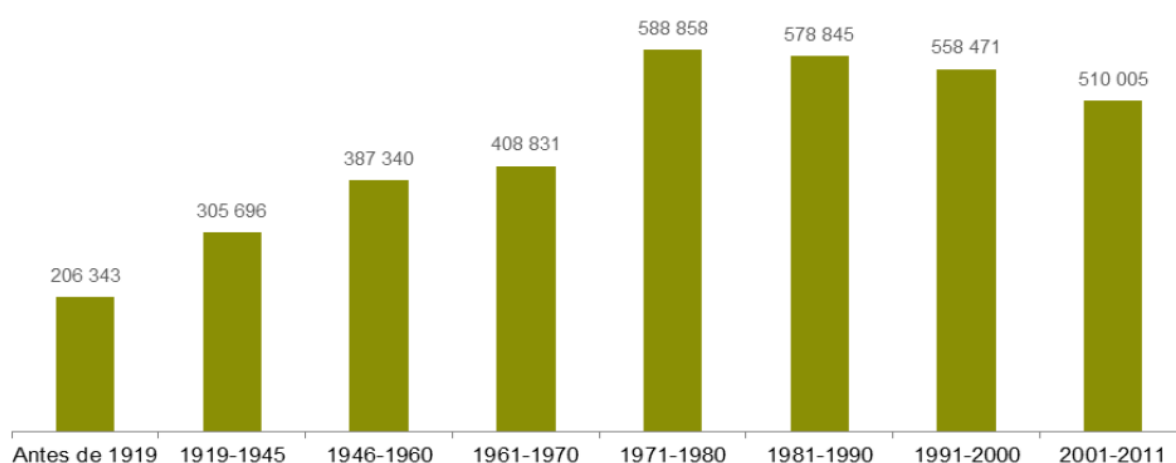


Figura 6 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção (Fonte: (24))

Os edifícios construídos entre 1946 e 1970 representam 22,5% do parque habitacional e os restantes 14,4% representam edifícios construídos antes de 1946 (22).

### Número de alojamentos

O último recenseamento geral da habitação (2011) revelou que a grande maioria dos edifícios é de apenas um alojamento, correspondente a cerca de 87% dos edifícios existentes em Portugal.

Na década de 1991 a 2001, o número de edifícios com dois ou mais alojamentos registou um aumento (25,5%) substancialmente superior ao de edifícios com apenas um alojamento (8,5%). Pelo contrário, na década seguinte (2001 a 2011), verificou-se um aumento relativo de cerca de 13% dos edifícios com um alojamento, e 10% para os edifícios com dois ou mais alojamentos.

Esta alteração revelou uma ligeira tendência de reforço da predominância de edifícios com apenas um alojamento no parque habitacional português em 2011 (22).

A Figura 7 apresenta o número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos.

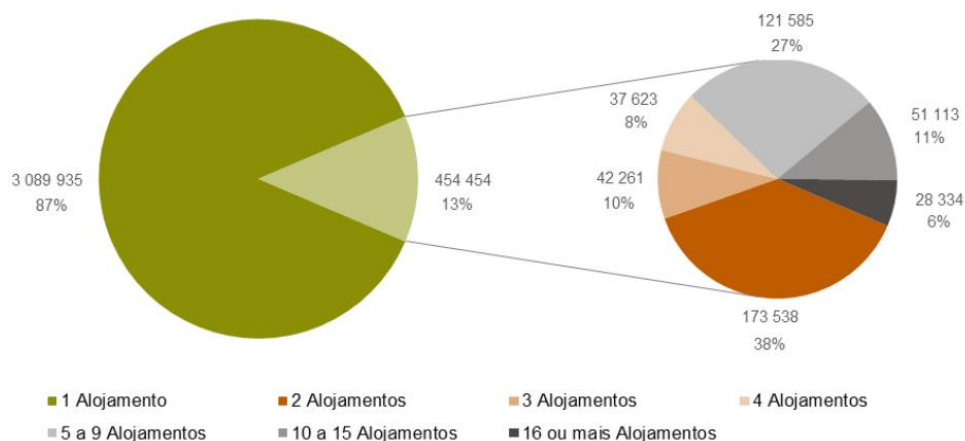


Figura 7 - Número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos, 2011 (Fonte: (24)).

### Número de pisos

No que diz respeito ao número de pisos, o parque habitacional português é constituído maioritariamente por edifícios de baixa altura (i.e. pequeno número de pisos). Segundo os Censos 2011, os edifícios compostos por um ou dois pisos representam 85% dos edifícios do parque habitacional, seguindo-se os edifícios com três pisos representando cerca de 9%. Os restantes 6% correspondem a edifícios de quatro ou mais pisos, sendo os edifícios constituídos por seis pisos os de menor número.

Na Figura 8 está representado o número de edifícios clássicos segundo o número de pisos do edifício.

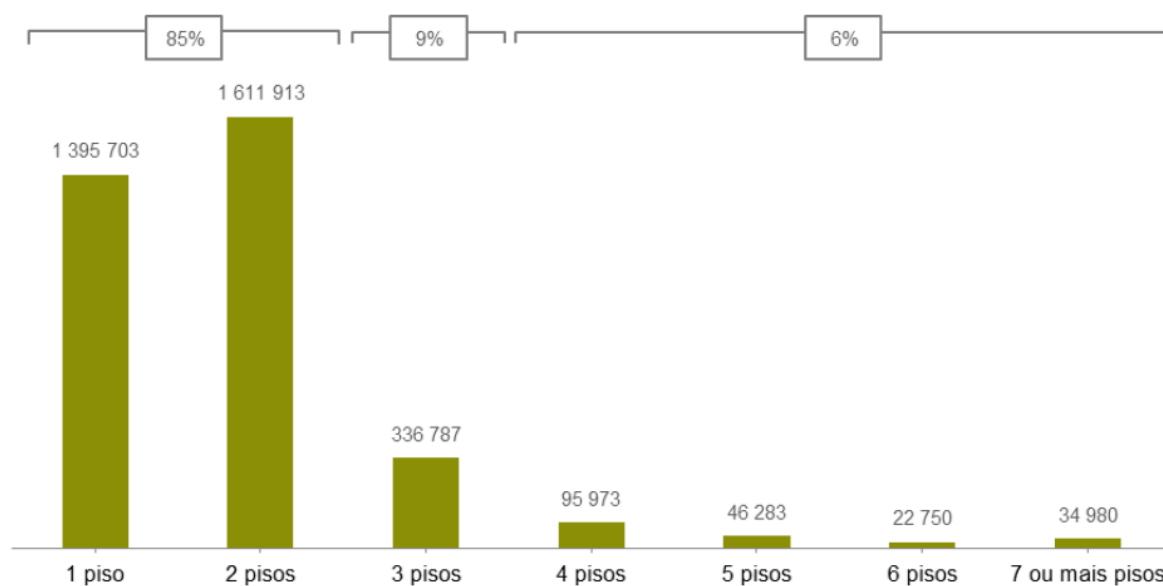


Figura 8 - Número de edifícios clássicos segundo o número de pisos do edifício, 2011 (Fonte: (24)).

Entre 2001 e 2011, destacou-se o aumento do número de edifícios com dois pisos, representando mais de metade do aumento total de edifícios. Embora os edifícios com mais de dois pisos não tenham registado um aumento significativo em termos absolutos, estes foram os que registaram um aumento relativo mais elevado dos últimos anos (cerca de 20%) (22).

### Características da construção

#### Estrutura

Em Portugal, a estrutura de edifícios predominante é a estrutura de betão armado (cerca de 49% dos edifícios) seguida pela estrutura em paredes de alvenaria com placa (31,7%) (Figura 9) (22).

A Figura 9 apresenta o número de edifícios clássicos segundo tipo de estrutura de construção.

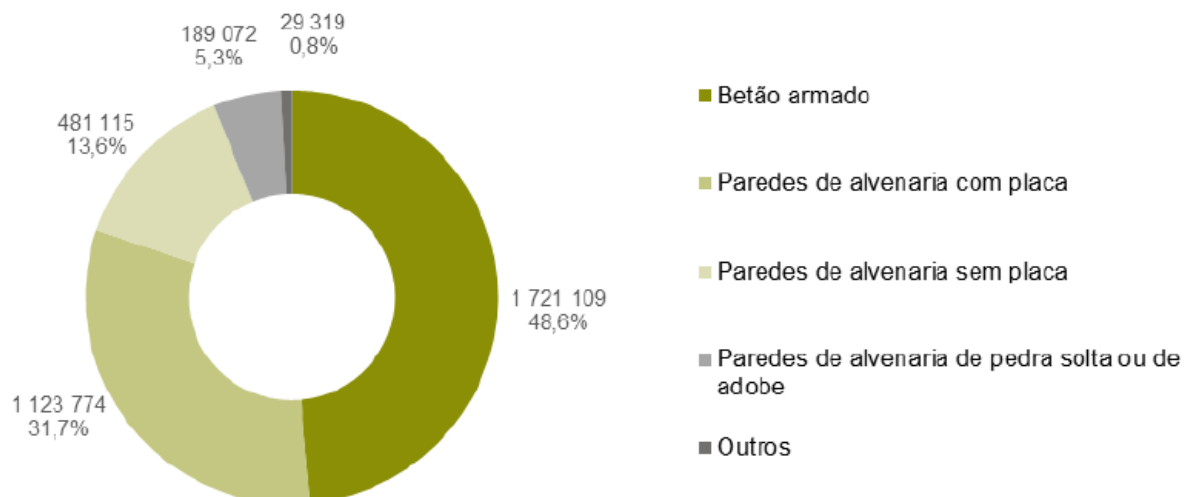


Figura 9 - Número de edifícios clássicos segundo tipo de estrutura de construção, 2011 (Fonte: (24)).

### Revestimento exterior de paredes

Após a realização dos Censos 2011, foi possível constatar que a grande maioria dos edifícios do parque habitacional português tem um revestimento exterior de paredes em reboco tradicional ou marmorite. Este tipo de revestimento representa 84% do parque habitacional, correspondendo a um total de 2 977 132 edifícios. Dos restantes edifícios, cerca de 11% correspondem a edifícios com paredes exteriores em pedra e 4% com paredes exteriores em ladrilho cerâmico ou mosaico. O número de edifícios construídos com outro tipo de revestimento é muito reduzido (1%) (21).

A Figura 10 apresenta o número de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento de paredes exteriores.

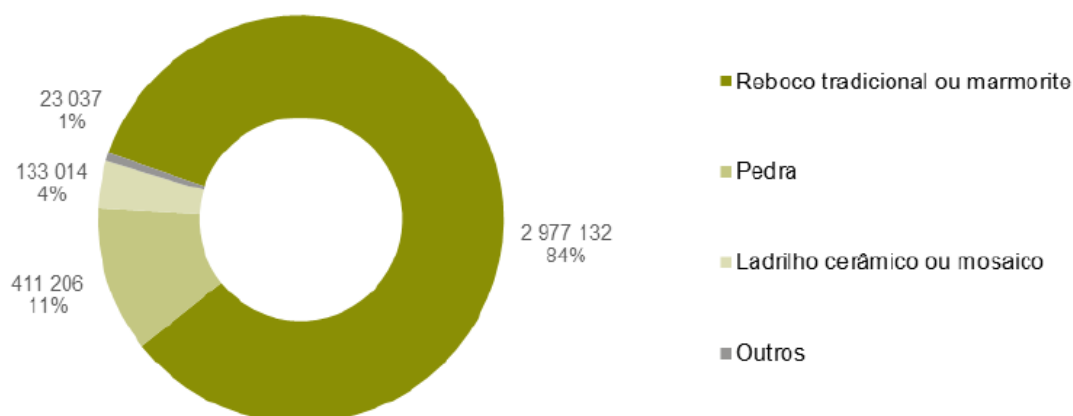


Figura 10 - Número de edifícios clássicos segundo tipo de revestimento exterior de paredes, 2011 (Fonte: (24)).

## Cobertura

No que toca a características da cobertura, quase toda a totalidade dos edifícios possui cobertura inclinada revestida a telha. Segundo o Instituto Nacional de Estatística, são cerca de 3 299 939 edifícios com esta característica, correspondendo a cerca de 93% do parque habitacional.

A Figura 11 mostra o número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura.

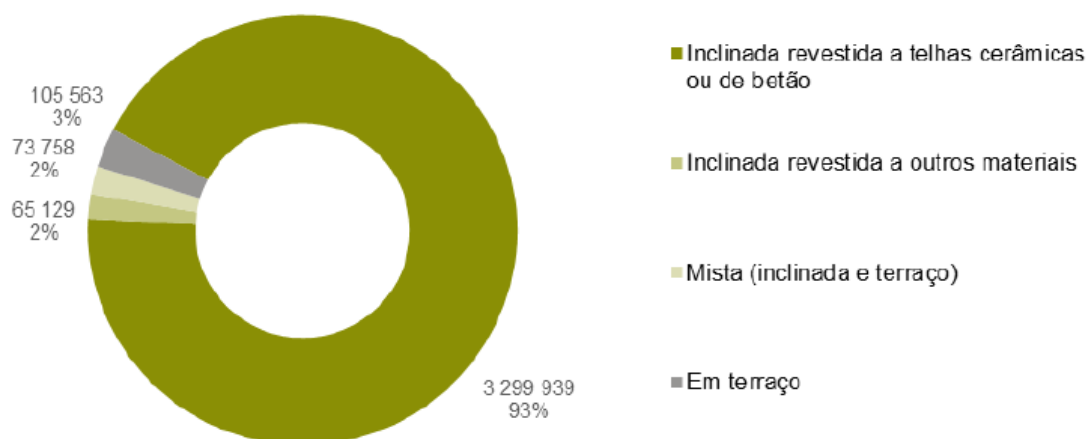


Figura 11 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura, 2011 (Fonte: (24)).

## Estado de conservação dos edifícios

Através dos dados obtidos no recenseamento geral da habitação de 2011, verificou-se que a maioria dos edifícios existentes não necessita de reparações. Contudo, existe ainda uma considerável percentagem de edifícios que necessita de intervenção, desde um nível sujeito apenas a pequenas reparações até um nível em que o respectivo edifício se encontra muito degradado, necessitando de uma maior intervenção.

A Figura 12 representa o número de edifícios clássicos segundo o seu estado de conservação.

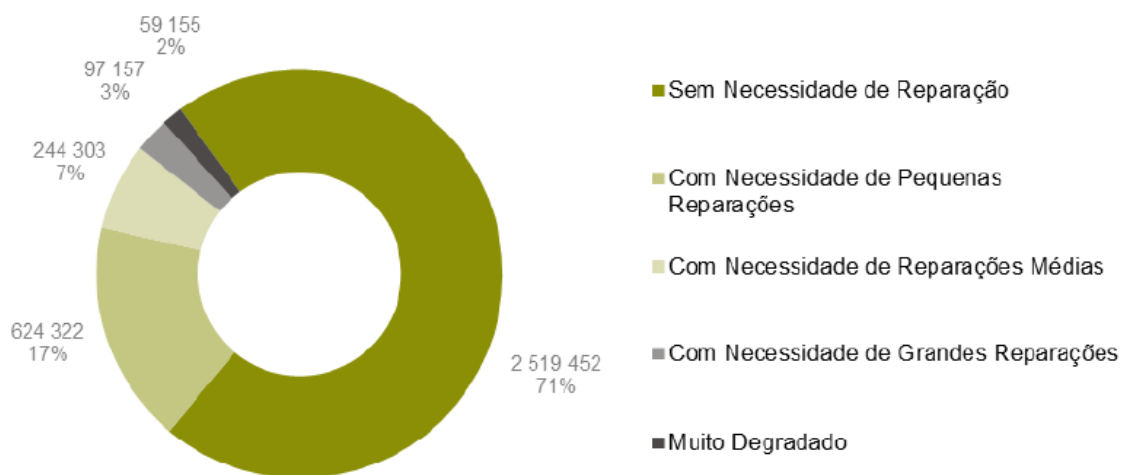


Figura 12 - Número de edifícios clássicos segundo estado de conservação, 2011 (Fonte: (24)).

## Causas de degradação dos edifícios

A degradação do edificado pode ser consequente de diversos factores. Para além do inevitável envelhecimento do edifício, a sua degradação pode estar relacionada com escavações confinantes com edifícios antigos, com alterações no edifício ou com a origem do próprio edificado. Aliado a isto, a acção sísmica pode também ser um factor que resulte na degradação do edificado.

A Figura 13 representa causas e factores que podem dar origem à degradação dos edifícios.



Figura 13 - Causas de degradação do edificado (Fonte: (25)).

### 2.2.3. Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE)

No quadro político actual, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) sofreu alterações, atendendo à revogação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) (de 2006) bem como do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (de 2006) pelo Decreto-Lei nº. 118/2013 de 20 de Agosto. Este documento visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) que integra agora o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

No contexto de certificação, surge a dúvida pertinente da razão de certificar um edifício. A resposta a esta questão baseia-se no facto de que é possível um edifício ser valorizado através da sua certificação, dando a conhecer medidas a implementar para reduzir a factura energética, melhorar a classificação energética, reduzir o impacto ambiental e permitindo ainda a sua comparação com outros edifícios.

## O Certificado Energético

O certificado energético é uma ferramenta essencial para a caracterização energética de imóveis, referindo o estado do edifício e o respectivo potencial de reabilitação. Todavia, o certificado que esteve em vigor de 2007 a 2013, apesar de conter informação detalhada sobre os edifícios, operação de incentivos, bem como outras medidas de melhoria, não apresentava a informação devidamente orientada para o consumidor, possuindo uma linguagem demasiado técnica e extensa e ainda falta de referências e avaliação qualitativa.

Com isto surge o novo certificado energético, proporcionando agora vantagens tanto para o consumidor final como para o profissional (Tabela 5).

Tabela 5 - Vantagens do novo certificado energético

Vantagens	
Consumidor Final	Profissional
Informação simplificada	Informação detalhada
Incorporação de referências	Indicadores energéticos e de carbono
Indicadores qualitativos	Verificação de requisitos
Medidas de melhoria	Melhor agregação de informação
Recomendações	Previsão de consumos de energia

O certificado energético refere o nível de desempenho energético através de classes energéticas, estando estas divididas de A+ a G correspondendo respectivamente de mais eficiente a menos eficiente, introduzindo ainda referenciais para edifícios novos e grandes intervenções.

### 2.2.4. Problemas energéticos na envolvente dos edifícios

#### Aspectos que afectam o desempenho energético

O envelhecimento inevitável dos edifícios e/ou a sua falta de manutenção levam a que seja frequente encontrar uma certa degradação no edifício. Devido a isto, aquando do estudo de possíveis medidas de eficiência energética, é extremamente relevante considerar o seu grau de deterioração, bem como as suas características actuais que podem levar a consumos energéticos inadequados.



Existem diversas particularidades do edifício a ter em consideração, tais como:

- Insuficiente isolamento térmico nos elementos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas;
- Presença de humidade;
- Vãos envidraçados e portas com baixo desempenho térmico; e
- Falta de protecção solar adequada.

Para além destas características, existem também factores associados à acção dos ocupantes, nomeadamente comportamentos inadequados na conservação de energia, o que leva a elevados níveis de consumo. Exemplo dessas características é a climatização desnecessária, uso de sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento enquanto estão janelas abertas, entre outros.

### **Pontes Térmicas**

Existem pontos localizados na envolvente dos edifícios onde se verifica uma maior perda de energia em relação às restantes zonas da envolvente. A estes pontos dá-se o nome de “Pontes Térmicas” e estes, para além de conduzirem a um aumento do consumo de energia para o aquecimento, podem também causar danos no edifício e afectar a sua durabilidade (26).

É possível encontrar pontes térmicas em diferentes zonas da envolvente do edifício, e por diversas razões. Pontes térmicas planas (vigas e pilares) têm, em geral, coeficientes de transmissão térmica superiores ao das paredes, o que torna estes elementos numa zona propícia à ocorrência de uma ponte térmica. O mesmo pode acontecer na intersecção de paredes interiores com paredes exteriores, bem como em torno de janelas e portas (pontes térmicas lineares).

Outra causa frequente é uma inadequada instalação do isolamento térmico, o que pode levar à ocorrência de fendas e descontinuidade nos materiais isolantes, originando assim uma ponte térmica (26).

Assim, é importante evitar descontinuidades de isolamento, onde ocorre a maior transferência de calor entre o interior e o exterior. O isolamento térmico é eficiente se cobrir toda a superfície a ser isolada, sendo a solução mais eficaz a colocação do isolamento pelo exterior.

## Condensações

As condensações ocorrem quando o vapor de água atinge um ponto com uma temperatura inferior à de ponto de orvalho do ar. Normalmente, numa habitação acontecem diversas situações em que é produzida uma grande quantidade de vapor de água, especialmente em cozinhas e casas de banho, pelo que, se não existir uma ventilação suficiente e se a espessura de isolamento for insuficiente, o vapor de água em excesso não poderá ser removido dando origem a condensações.

As pontes térmicas, e mesmo as áreas maiores da envolvente que não possuem um isolamento térmico adequado, são zonas propícias ao aparecimento de condensações superficiais. A frequente ocorrência destas condensações pode levar ao desenvolvimento de diversos problemas resultando, sobretudo, na degradação do edifício. Existe também a probabilidade da ocorrência de condensação interna, nomeadamente quando se encontra uma camada relativamente fria e impermeável. Este tipo de condensação pode afectar a durabilidade do edifício devido a danos causados na sua envolvente. Para além disso, a humidade pode influenciar negativamente a eficiência do isolamento devido ao facto de esta aumentar significativamente a condutibilidade térmica dos seus constituintes, e pode ainda representar uma ameaça à saúde dos seus ocupantes (26).

Assim, é necessária uma especial atenção à possibilidade de condensação, podendo esta ser evitada ou minimizada através de algumas medidas preventivas (26), tais como:

- Redução da produção de vapor de água nas actividades domésticas;
- Melhorar a ventilação, reduzindo assim a quantidade de vapor de água existente no ambiente interior; e
- Reforçar o isolamento térmico da envolvente do edifício.

## 2.3. Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios

A reabilitação de edifícios pode ser encarada em diferentes perspectivas, pelo que as medidas a adoptar devem ser assunto de estudo consoante o nível do objectivo de intervenção.

De um ponto de vista geral, as estratégias de reabilitação devem ter em consideração três linhas de intervenção, sendo elas:

- Envolvente
- Equipamentos
- Energias renováveis

É ao nível da envolvente dos edifícios que se encontram as acções de reabilitação mais acessíveis. Incidindo essencialmente no reforço da protecção térmica da envolvente opaca (paredes exteriores, coberturas e pavimentos), bem como no controlo de infiltrações de ar e no recurso a tecnologias solares passivas (sombreamentos, sistemas de iluminação natural, entre outras), esta linha de intervenção é, no contexto nacional actual, a que apresenta o maior potencial de aplicação.

A reabilitação a nível da envolvente é uma estratégia eficaz e fundamental para a redução das necessidades energéticas, bem como para garantir um nível de conforto mínimo aos ocupantes e reduzir a incidência de patologias e ainda a potência de eventuais equipamentos, nomeadamente sistemas de iluminação, electrodomésticos, entre outros (15).

No que diz respeito aos equipamentos, esta estratégia traduz-se na reabilitação energética dos sistemas e instalações através da implantação de equipamentos mais eficientes, ou seja, com melhores rendimentos e menores consumos. No entanto, a adopção deste tipo de medida tem algumas desvantagens, nomeadamente o facto de não assegurar as condições de conforto mínimas dos ocupantes e ainda, apesar de custos de manutenção possivelmente menores, os seus custos de investimento são mais elevados (15).

A integração de energias renováveis é também uma estratégia eficiente, principalmente a solar térmica para produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS),

contudo são medidas que também apresentam custos de investimento e manutenção elevados.

Para edifícios existentes, geralmente a melhor solução de reabilitação traduz-se numa combinação de medidas que abrange simultaneamente a eficiência energética, a conservação de energia e a redução de emissões de carbono. Deste modo, é importante determinar as melhores combinações de medidas que conduzam à solução de custo óptimo, tornando a solução na mais eficaz e rentável possível. Para além disto é necessário ainda ter em consideração aspectos como os possíveis constrangimentos existentes e cobenefícios alcançáveis (15).

Cobenefícios tais como o aumento da qualidade e valor do edifício, aumento do conforto, redução de patologias e redução dos custos de manutenção e uso do edifício, estão muitas vezes na base da decisão de realizar intervenções de reabilitação, demonstrando ser, no contexto nacional, tão ou mais relevantes que as reduções das necessidades energéticas e potenciais consumos de energia.

Todavia, cada caso é um caso, e assim sendo, é necessário analisar cada um deles a fim de clarificar a viabilidade de intervenção em termos económicos, técnico-económicos e funcionais.

De seguida são mencionadas as principais medidas de reabilitação energética de edifícios.

### **2.3.1. Reforço do isolamento térmico – Paredes Exteriores**

A optimização do isolamento térmico nas paredes da envolvente do edifício representa uma das principais estratégias de intervenção visando a redução dos consumos energéticos e a melhoria do conforto térmico.

A aplicação de isolamento na envolvente dos edifícios permite reduzir as trocas de calor entre interior e exterior, pelo que desta forma, é possível minimizar as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento e os riscos de ocorrência de condensações.

O que determina o nível de desempenho de um isolamento térmico é o respectivo coeficiente de transmissão térmica, sendo que, o isolamento será tanto melhor quanto menor for o valor deste coeficiente. Este valor diminui consoante o aumento

da espessura do isolamento, ou seja, quanto maior for a espessura do isolamento mais eficiente será o seu desempenho térmico. Apesar desta solução se traduzir num maior custo de investimento inicial, esta conduz a menores consumos energéticos durante a vida do edifício.

Existem três possíveis opções de aplicação do reforço de isolamento térmico, caracterizadas pela posição relativa do isolamento a aplicar, sendo elas:

- Isolamento térmico pelo exterior;
- Isolamento térmico pelo interior;
- Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas.

Para cada uma destas opções existem ainda vários tipos de solução.

#### **2.3.1.1. Isolamento térmico pelo exterior**

O reforço do isolamento térmico pelo exterior representa, geralmente, a solução mais favorável comparativamente com o realizado pelo interior, sendo as suas vantagens em maior número que os seus inconvenientes. Além disto, tendo em conta a necessidade de refazer o reboco aquando de intervenções de reabilitação, é conveniente considerar esta pressuposta opção de colocação do isolamento (26).

As soluções desta opção de isolamento podem ser divididas em três tipos:

- Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico na caixa-de-ar;
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, conhecidos como “ETICS”;
- Revestimentos isolantes (por exemplo: pré-fabricados isolantes descontínuos e rebocos isolantes).

#### **Revestimentos independentes com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar**

Este tipo de solução de reforço de isolamento é efectuado através da aplicação do isolamento térmico entre a parede do edifício e um revestimento independente exterior, fixado à parede através de uma estrutura secundária, espaçando os

materiais com uma caixa-de-ar, o que torna a fachada ventilada e protege ainda o isolamento térmico contra a acção da chuva e radiação solar. Este revestimento pode ser contínuo (rebocos armados) ou descontínuo (composto por placas metálicas, fibrocimento ou material plástico) (26).

Na Figura 14 está representado um esquema construtivo deste tipo de revestimento.

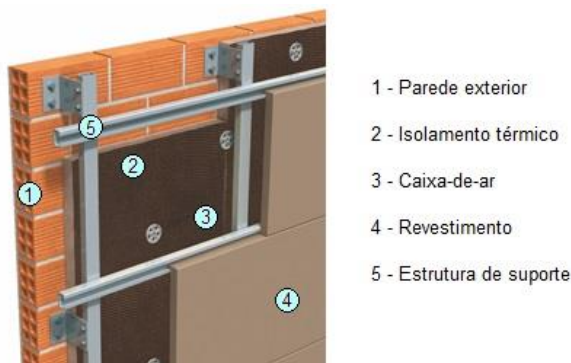


Figura 14 - Esquema de revestimento independente com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar

### **Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior – “ETICS”**

Em primeiro lugar, a sigla ETICS deriva do termo inglês “external thermal insulating composite systems with rendering”, designando-se por “sistemas de isolamento térmico por revestimento sobre isolante”.

Este tipo de isolamento consiste na aplicação de uma camada de isolante térmico sobre o pano exterior da parede exterior de um edifício, geralmente através de colagem, coberta por um revestimento exterior armado composto por uma ou mais camadas de modo a garantir a sua protecção contra agentes atmosféricos (26).

O sistema de isolamento do tipo “ETICS” pode ainda ser dividido em dois subtipos atendendo à espessura do revestimento aplicado:

- Sistema com revestimento espesso – é utilizado normalmente poliestireno expandido (EPS) ou lã mineral (MW) para as placas da camada de isolamento e um revestimento de ligante mineral armado com uma rede metálica. As placas da camada isolante devem possuir ranhuras de modo a permitir uma melhor aderência do revestimento;
- Sistema com revestimento delgado – neste tipo de sistema são também utilizadas placas de poliestireno expandido (EPS) fixadas à parede exterior

através de colagem revestidas com um ligante sintético ou misto e uma armadura geralmente de fibra de vidro (flexível). A armadura é colocada entre as camadas de revestimento de modo a reduzir a fissuração e melhorar a resistência mecânica do isolamento.

A Figura 15 representa o esquema de dois sistemas compósitos de isolamento térmico aplicado pelo exterior do tipo “ETICS”, um de revestimento espesso (esquerda) e outro de revestimento delgado (direita).

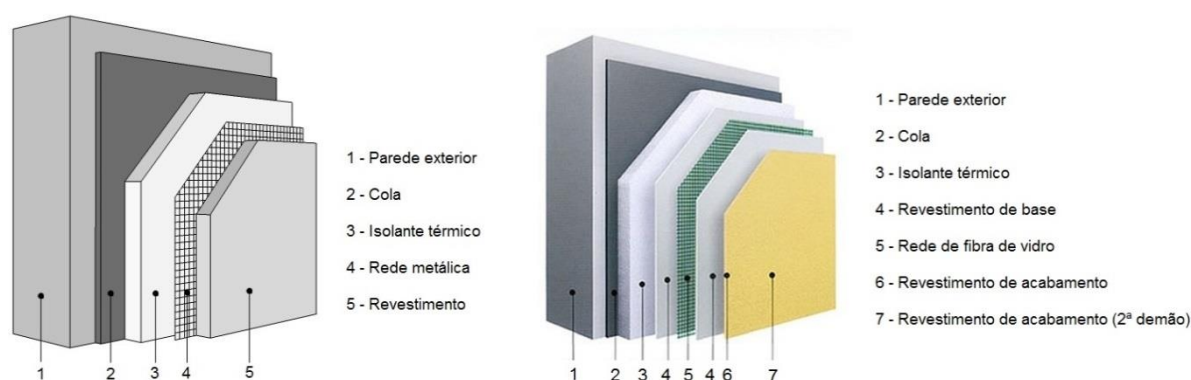


Figura 15 - Sistema de isolamento térmico com revestimento espesso (esquerda). Sistema de isolamento térmico com revestimento delgado (direita).

Para estes tipos de sistemas de isolamento térmico pelo exterior, é ainda importante ter em conta certas particularidades, tais como o encontro entre o isolamento e a cobertura, varandas, janelas ou qualquer outro detalhe presente na fachada.

### Revestimentos isolantes – pré-fabricados descontínuos e/ou rebocos isolantes

Estes sistemas de isolamento térmico, também conhecidos pela sua designação na língua francesa de “vêtures”, são provenientes de elementos previamente produzidos em fábrica constituídos por um material isolante em placa (normalmente poliestireno expandido – EPS) e por um revestimento (metálico, mineral ou orgânico). Devido a este tipo de sistema ser previamente fabricado, a sua aplicação em obra torna-se mais fácil, necessitando apenas de uma operação e a sua fixação é efectuada directamente nos suportes por meios mecânicos (26).

Ao contrário do sistema de isolamento do tipo fachada ventilada, este dispensa da existência da estrutura de fixação intermédia bem como da caixa-de-ar entre o

revestimento e o isolante. Comparativamente com o tipo “ETICS”, o sistema de isolamento através de pré-fabricados não necessita da execução de várias camadas sucessivas de revestimento.

Todavia este tipo de sistema revela algumas dificuldades, nomeadamente a sua adaptação a pontos singulares da fachada.

A Figura 16 apresenta o esquema de um revestimento pré-fabricado fixado directamente no suporte (esquerda) e o esquema da solução em reboco isolante (direita).

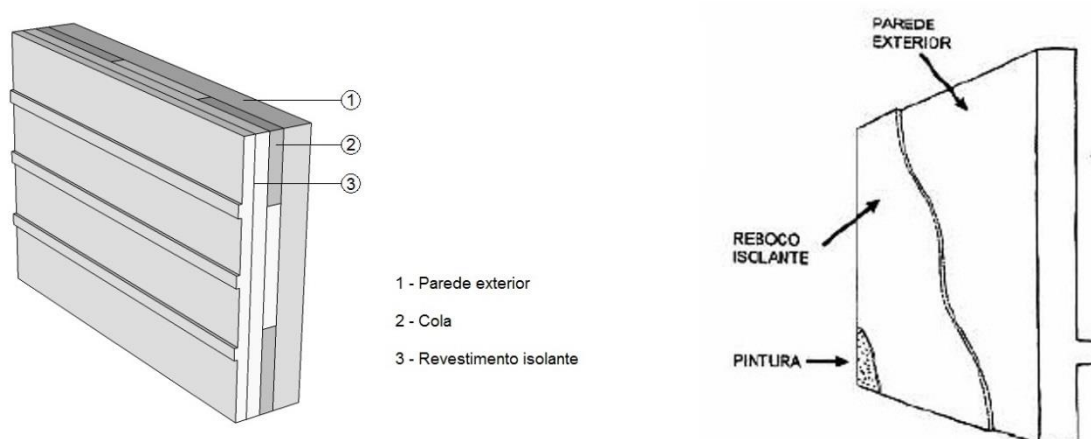


Figura 16 - Esquema pré-fabricado fixado directamente no suporte (esquerda). Solução de reboco isolante (direita).

A solução de reboco isolante consiste essencialmente em revestimentos de argamassas que reduzem a condutibilidade térmica devido a serem agregadas com grânulos de isolante térmico de diâmetro muito pequeno. Esta solução é de fácil aplicação embora seja menos eficiente do que os outros tipos de sistemas. Deste modo, este sistema não é por si só suficiente para proporcionar um adequado isolamento térmico sendo assim considerado como uma solução complementar.

### 2.3.1.2. Isolamento térmico pelo interior

Apesar do isolamento térmico exterior apresentar, geralmente, melhores soluções, por vezes é necessário optar em aplicar o isolamento pelo interior.

Este tipo de isolamento é normalmente efectuado através de painéis isolantes prefabricados ou da aplicação de uma contra-fachada (pano de alvenaria ou forro contínuo) no lado interior da parede a reabilitar (Figura 17).



No que diz respeito aos painéis prefabricados, a sua aplicação é usualmente feita através de painéis com a mesma altura do andar em questão, constituídos por um paramento (normalmente gesso cartonado) e uma camada de isolamento térmico em placas com EPS ou XPS. Estes painéis podem ser colocados de duas maneiras, ou directamente contra o paramento interior da parede ou fixados através de uma estrutura de apoio, definindo uma caixa-de-ar intermédia (26).

Quanto à solução que consiste numa contra-fachada, existem duas diferentes formas usuais para a sua aplicação:

- Através de um pano de alvenaria leve;
- Através de um forro de placas de gesso cartonado com uma estrutura de apoio fixada à parede, em que o isolante térmico é aplicado desligado da placa de gesso cartonado.

A Figura 17 representa os esquemas de aplicação do isolamento térmico pelo interior em alvenaria e em gesso cartonado (esquerda e direita, respectivamente).

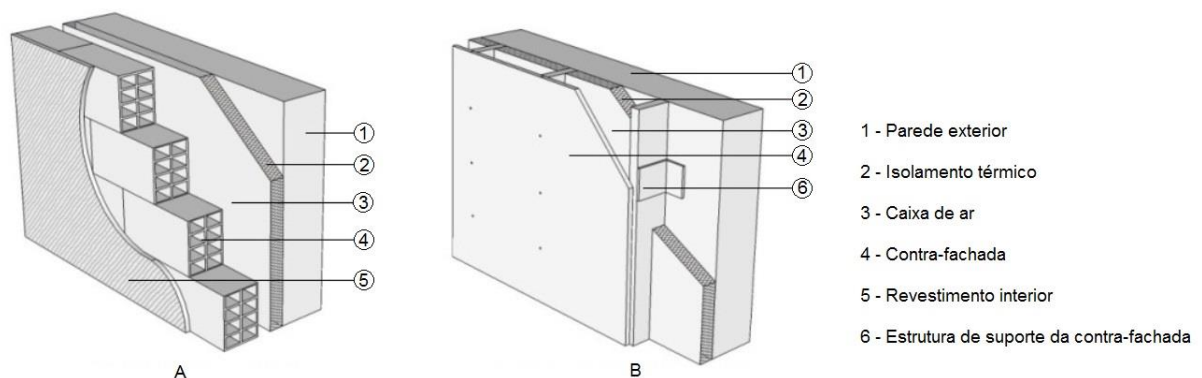


Figura 17 - Solução de contra-fachada interior em alvenaria (esquerda). Solução de contra-fachada interior em gesso cartonado (direita).

### 2.3.1.3. Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas

Este tipo de reforço de isolamento é normalmente realizado através da incorporação de materiais isolantes soltos ou espumas injectadas na caixa-de-ar. Desta forma, é possível manter o aspecto, tanto interior como exterior, das paredes e reduzir as operações de reposição dos respectivos paramentos.

Contudo, esta solução pode apresentar alguns inconvenientes relevantes, nomeadamente a possível presença de argamassa e/ou detritos na caixa-de-ar, ou a

reduzida espessura desta, que resulta na dificuldade de uma aplicação homogénea do isolante térmico ao longo da parede. Outro exemplo de limitação é o facto da possível deformação da parede devido à pressão de injeção, pelo que esta deverá ser adequadamente controlada de modo a evitar essa situação. Ainda a acrescentar é o caso dos isolantes soltos necessitarem de uma aplicação mais cautelosa de modo a evitar assentamentos que possam originar espaços vazios que podem dar origem a pontes térmicas e/ou zonas com falta de isolante (26).

### **2.3.2. Coberturas**

As coberturas têm especial importância pois consistem no elemento que se encontra mais exposto às situações adversas do ambiente e clima, nomeadamente radiação solar e grandes amplitudes térmicas. Assim sendo, a aplicação de isolamento térmico neste elemento é considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária pois influencia significativamente a necessidade de consumo energético na habitação e é uma medida relativamente simples e menos dispendiosa.

Além disto, uma intervenção ao nível da cobertura, com o objectivo de resolver um qualquer problema, como por exemplo impermeabilização, pode facilmente ser alargada ao ponto de se tornar também numa intervenção de reabilitação energética com a aplicação de isolamento térmico.

#### **2.3.2.1. Coberturas inclinadas**

No que toca a coberturas inclinadas, o reforço do isolamento térmico pode ser aplicado atendendo a dois procedimentos diferenciados pelo elemento da cobertura no qual se aplica o isolante:

- Isolamento da esteira horizontal – caso em que o desvão não seja habitável;
- Isolamento das vertentes – caso em que o desvão seja habitável

#### **Isolamento da esteira horizontal – desvão não habitável**

Quando o espaço debaixo da cobertura, isto é, o desvão, não é utilizado para habitação ou lazer, torna-se conveniente aplicar o isolamento térmico sobre a esteira horizontal, devidamente protegido na parte superior para o caso do desvão ser acessível. Este procedimento revela ser mais vantajoso do que o isolamento das

vertentes, pois para além da sua fácil aplicação, a quantidade de isolante utilizada neste é menor, o que o torna mais económico. Ainda a salientar é o seu bom desempenho térmico em ambas as estações (fria e quente). Como não se trata de um desvão habitável, na estação fria não é necessária energia para o seu aquecimento, e na estação quente o desvão permite a dissipação do calor devido à sua ventilação (26).

A Figura 18 representa o esquema da aplicação de isolamento térmico na esteira horizontal de um desvão não habitável de três modos possíveis.

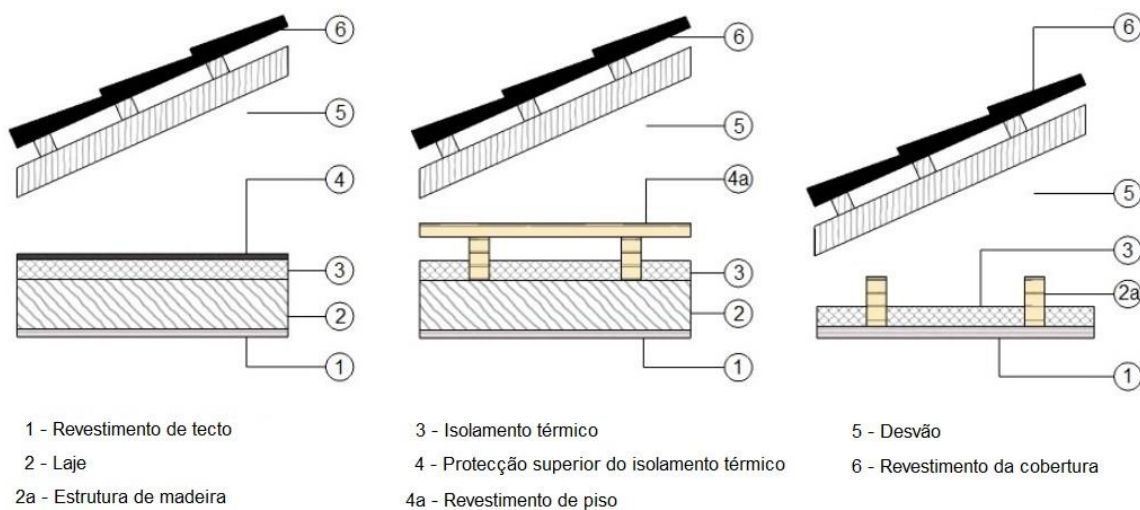


Figura 18 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico da esteira horizontal de um desvão não habitável

### Isolamento das vertentes – desvão habitável

Este tipo de solução deve ser apenas utilizado nos casos em que o desvão seja habitável, onde o isolamento térmico é aplicado segundo as vertentes da cobertura. De um ponto de vista energético, a solução preferível para estes casos é a aplicação do isolamento térmico sobre a estrutura da cobertura, assegurando a existência de uma lâmina de ar entre o isolamento e o revestimento exterior de modo a evitar a degradação dos materiais. Tendo também em conta a possibilidade de infiltração da água da chuva, é essencial a protecção superior do isolante através de uma camada que impeça a passagem da água e que, simultaneamente, não origine condensações internas (Figura 19).

Para o caso em que não seja possível remover o revestimento exterior para a aplicação do isolamento, este pode ser instalado na face interior da estrutura da cobertura. No entanto esta solução não é tão eficaz como a referida anteriormente.

A Figura 19 apresenta o esquema de aplicação do isolamento térmico nas vertentes de um desvão habitável.

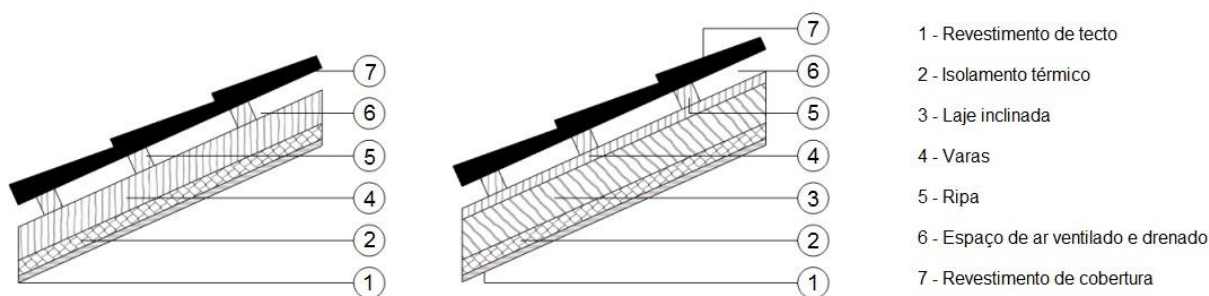


Figura 19 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico das vertentes de um desvão habitável

### 2.3.2.2. Coberturas horizontais

No caso das coberturas horizontais, o reforço do isolamento térmico pode ser realizado através essencialmente de três diferentes opções, considerando a posição relativa do isolante a aplicar:

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico inferior.

A solução mais aconselhável é a aplicação do reforço do isolamento térmico em posição superior, acima da camada de forma, pois para além de ser fácil de aplicar, pode funcionar quer como suporte, quer como protecção térmica da impermeabilização (quando colocada sob ou sobre a impermeabilização, respectivamente) (Figura 20). Esta solução pode ser diferenciada em dois tipos - cobertura invertida ou isolante térmico suporte de impermeabilização – de entre os quais a melhor opção é a “cobertura invertida” pois para além de proteger a impermeabilização de amplitudes térmicas significativas, pode ainda aproveitar a impermeabilização já existente (caso se encontre em bom estado) aquando o processo de reabilitação.

Em relação ao isolamento térmico em posição intermédia, esta solução não é muito recomendável pois para a sua execução é necessária a reconstrução total das camadas sobrejacentes à laje de esteira, o que requer cuidados especiais de modo a evitar problemas, nomeadamente fenómenos de choque térmico nas camadas acima do isolante e possível degradação.

Quanto à solução em que o isolamento térmico é aplicado em posição inferior à laje de esteira, é apenas aceitável no caso de este ser integrado num tecto-falso desligado da esteira. A aplicação do isolamento directamente na face interior da cobertura deve ser evitada pois para além de não ser termicamente tão eficiente, pode ainda agravar o risco de deformações e consequente degradação (26).

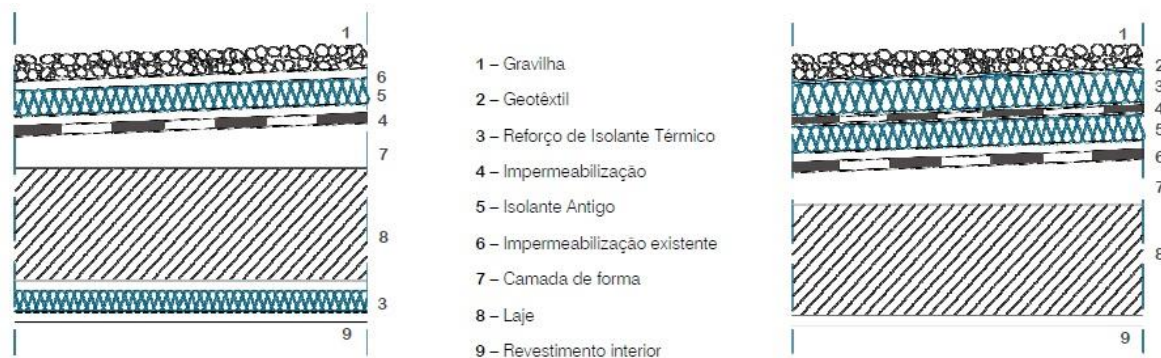


Figura 20 - Reforço isolamento térmico inferior (esquerda). Reforço isolamento térmico superior (direita) (Fonte: (27)).

### 2.3.3. Pavimentos

O pavimento é também um elemento importante a ter em consideração no que diz respeito à eficiência energética da habitação. Podendo estes estar em contacto com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos (como por exemplo garagens ou caves), leva a que a sua intervenção seja fundamental a fim de reduzir perdas de energia.

Consoante a localização do pavimento, existem três diferentes tipos de reforço do isolamento térmico:

- Isolamento térmico inferior (Figura 21 - Esquerda);
- Isolamento térmico intermédio (Figura 21 - Direita);
- Isolamento térmico superior (Figura 22).

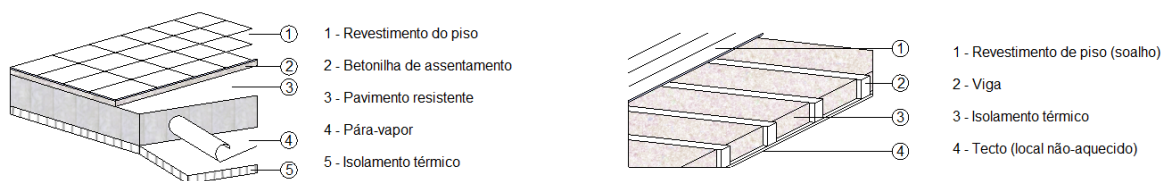


Figura 21 - Reforço isolamento térmico de pavimentos sobre espaço exterior ou não-aquecido. Isolamento térmico inferior (Esquerda). Isolamento térmico intermédio (Direita).

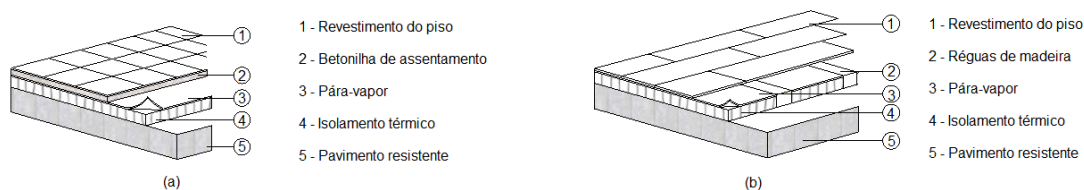


Figura 22 - Reforço isolamento térmico de pavimentos sobre espaço exterior ou não-aquecido - Isolamento térmico superior.

A aplicação do reforço de isolamento térmico do tipo inferior é a solução mais preferível, principalmente no caso do espaço subjacente ao pavimento ser acessível. Este tipo de solução, para além de revelar ser mais eficiente do ponto de vista térmico, proporciona outras vantagens, nomeadamente a sua fácil e rápida aplicação e também um menor custo. Pelo contrário, a aplicação do reforço de isolamento térmico do tipo superior não é tão eficiente e conduz a certos inconvenientes, principalmente a redução do pé direito do espaço habitável (26).

### 2.3.4. Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados constituem um elemento de elevada importância para o balanço térmico global dos edifícios, visto que na estação de arrefecimento podem ser responsáveis por cerca de 35 a 40% das perdas térmicas totais do edifício, e podem ainda causar problemas de sobreaquecimento interior e necessidades de arrefecimento na estação quente.

A reabilitação térmica de vãos envidraçados abrange um conjunto de objectivos que vai para além da sua contribuição para o reforço do isolamento térmico do edifício. Este tipo de reabilitação, para além de visar reduzir as infiltrações de ar não-controladas e melhorar a ventilação natural, tem também como objectivo o controlo de ganhos solares, nomeadamente o aumento do aproveitamento solar no Inverno e

o reforço da protecção face à radiação solar no Verão, e a melhoria da eficiência da iluminação natural.

Assim, a intervenção ao nível da reabilitação de vãos envidraçados pode representar uma contribuição significativa para a eficiência energética dos edifícios.

De seguida serão mencionados diferentes tipos de intervenção e medidas de reabilitação térmica de vãos envidraçados que visam contribuir não só para a redução das necessidades de consumo energético como também para a melhoria das condições de conforto e de qualidade do ar no interior dos edifícios (28).

As medidas de reabilitação térmica de vãos envidraçados podem ser divididas em três tipos de intervenção:

○ **Tipo I** – Conservação da janela existente, intervindo de forma a melhorar o desempenho face às exigências actuais

Soluções:

- Fixação de folhas móveis adicionais;
- Substituição de vidro existente por outro com diferentes propriedades;
- Instalação de segunda janela em cada vão;
- Afiinação dos caixilhos, interposição de perfis vedantes e substituição dos materiais;
- Reforço dos perfis de caixilharia.

○ **Tipo II** – Substituição da janela existente por outra adaptada às exigências actuais

Soluções:

- Nova janela com reposição dos elementos fieis à traça original
- Nova janela sem reposição dos elementos fieis à traça original

○ **Tipo III** – Medidas complementares para melhoria da eficiência energética

Soluções:

- Correção de pontes térmicas
- Colocação de pinázios na face exterior ou no interior do vidro duplo, quando se procede à substituição do vidro
- Dispositivo de oclusão nocturna/ de sobreamento/ de protecção solar
- Alteração da área do vão envidraçado
- Criação de sistemas solares passivos

A Figura 23 representa as medidas e objectivos da reabilitação térmica de vãos envidraçados.

Medidas		Objectivos	Reforço do Isolamento Térmico	Controlo ganhos solares	Redução das infiltrações de ar não controladas	Melhoria da eficiência da iluminação natural
<b>Tipo I</b> Conservação da janela existente	Fixação de folhas móveis adicionais					
	Substituição do vidro existente por outro com diferentes propriedades					
	Instalação de segunda janela em cada vão					
	Afinação dos caixilhos, interposição de perfis vedantes e substituição dos materiais de vedação					
	Reforço dos perfis de caixilharia					
<b>Tipo II</b> Substituição da janela existente por outra apta às exigências actuais	Nova janela com reposição dos elementos fieis à traça original					
	Nova janela sem reposição dos elementos fieis à traça original					
<b>Tipo III</b> Medidas complementares para melhoria da eficiência energética	Correcção de pontes térmicas					
	Colocação de pinázios na face exterior ou no interior do vidro duplo, quando se procede à substituição do vidro					
	Uso dispositivo de oclusão nocturna/ de sombreamento/ de protecção solar					
	Alteração da área do vão envidraçado					
	Criação de sistemas solares passivos					

Figura 23 - Quadro: Reabilitação térmica dos vãos envidraçados - medidas e objectivos

Atendendo a estes diferentes tipos de intervenção, é necessário ainda salientar que as propostas de reabilitação devem ir de encontro à melhor relação entre as funções que as janelas desempenham em sintonia e as necessidades do edifício onde estão inseridas.

Geralmente, quanto maior for a área envidraçada, maiores serão os ganhos solares. Este factor tende a constituir um benefício essencialmente a nível do aproveitamento da radiação solar, quer para iluminação quer para aquecimento. No entanto pode conduzir a problemas, nomeadamente perdas térmicas, sobreaquecimento e encadeamento;

A utilização de envidraçados coloridos ou reflectivos, apesar de contribuir para o controlo de ganhos solares, compromete a iluminação natural e o aquecimento



devido à sua baixa transmitância luminosa, o que conduz a consequências negativas no desempenho energético do edifício, nomeadamente o aumento do consumo de energia para compensar as insuficiências.

A escolha dos envidraçados ou alguns dos seus componentes deverá, acima de tudo, compatibilizar as necessidades de aquecimento, arrefecimento e de iluminação natural:

- Aquecimento: o ganho solar directo através de uma orientação correcta dos envidraçados é a maneira mais simples e, frequentemente, mais eficaz da concepção solar passiva. O dimensionamento dos envidraçados e a sua orientação devem otimizar os ganhos solares úteis e minimizar as perdas de calor durante a estação de aquecimento;
- Arrefecimento: o sobreaquecimento na estação de arrefecimento é um dos problemas mais sérios que se colocam no dimensionamento de envidraçados. As principais técnicas passivas de arrefecimento incluem a protecção solar e a ventilação;
- Iluminação Natural: sempre que possível devem aplicar-se medidas que proporcionem a iluminação natural visto que a iluminação artificial é responsável por grande parte da energia utilizada nos edifícios.



## Capítulo 3 | METODOLOGIA

### 3.1. Metodologia Geral

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do objectivo principal deste trabalho, sendo este o estudo de medidas de reabilitação energética, ao nível da envolvente exterior, adequadas a um edifício.

Inicialmente é seleccionado o caso de estudo e realizada a descrição do mesmo, fazendo referência à caracterização geométrica e construtiva do respectivo edifício, bem como aos parâmetros relativos à sua envolvente exterior (localização, orientação,...).

De seguida, é utilizado o *software Design Builder* (descrito no subcapítulo 3.2.) onde, mediante as características do edifício, é concebido um modelo de simulação dinâmica com o propósito de analisar o seu respectivo desempenho energético. Após a análise do edifício no seu estado actual, é analisada a sua possível reabilitação através da alteração do modelo de simulação dinâmica consoante os requisitos das respectivas medidas de reabilitação.

Para este trabalho foram considerados três diferentes tipos de medidas de reabilitação, nomeadamente a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores, aplicação de isolamento térmico na cobertura e a alteração dos vãos envidraçados. Dentro de cada uma destas medidas foram ainda consideradas diferentes soluções atendendo à espessura de isolamento e/ou diferentes tipos de envidraçado.

Com o modelo de simulação concebido de acordo com as alterações pretendidas, são realizadas simulações dinâmicas das quais é obtido o diagnóstico energético do edifício para cada intervenção. Com isto, é possível avaliar o impacto de cada medida de reabilitação face à situação actual do edifício em estudo, tendo em conta as necessidades energéticas, os ganhos térmicos internos e a produção de CO<sub>2</sub>, antes e após intervenção, visando uma proposta de reabilitação adequada.

Por último é realizada a análise económica de cada solução no intuito de perceber se a possível proposta de reabilitação é economicamente justificável.

A Figura 24 representa o esquema da metodologia geral.

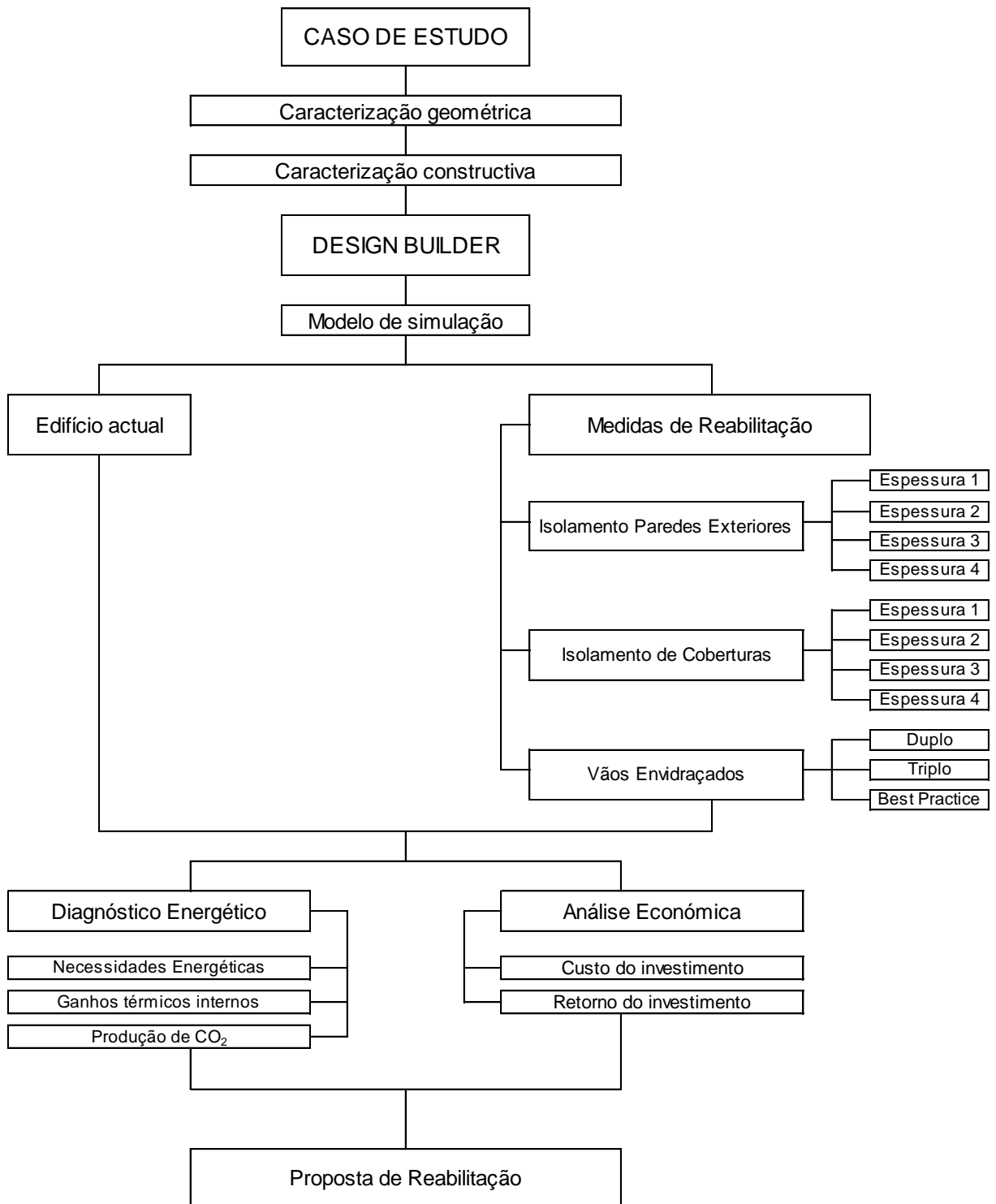


Figura 24 - Esquema da Metodologia Geral

### 3.2. Software de simulação dinâmica - Energy Plus e Design Builder

O *Energy Plus* é o programa de simulação dinâmica desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S. DOE) para avaliação do desempenho energético de edifícios. Este programa permite analisar sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, entre outros, e proporciona também várias capacidades inovadoras de simulação, tais como simulações dos consumos energéticos numa base horária e sub-horária, simulação de zona ou multi-zona baseada no equilíbrio térmico, conforto térmico, entre outros.

Contudo, o *Energy Plus* não apresenta uma *interface* “amigável”, o que dificulta a introdução de dados no programa. No entanto este programa permite o desenvolvimento independente de outras ferramentas, o que resulta na adopção do *Design Builder* como uma *interface* de maior facilidade de utilização.

O *Design Builder* é um *software* especificamente desenvolvido em torno do programa *Energy Plus*, que permite definir modelos de construção de uma forma mais simples, utilizando no final o *Energy Plus* como motor de simulação.

Com este *software*, é possível obter dados sobre os consumos energéticos, as emissões de carbono, o conforto dos ocupantes, bem como o estado do edifício em análise, de acordo com os respectivos regulamentos de construção nacionais e padrões de certificação.

De seguida é apresentado o procedimento de utilização do programa.

#### Procedimento

Em primeiro lugar, é necessário criar um novo projecto introduzindo desde logo os dados relativos à localização do edifício a analisar. O *Design Builder* dispõe de uma variada lista de *templates* correspondentes a diversas localizações de vários países, de onde podemos seleccionar o *template* referente a Portugal. Desta forma o *software* assume automaticamente as características típicas da localização escolhida, nomeadamente temperaturas, condições climatéricas, período de duração das estações de aquecimento e arrefecimento, entre outras.

A Figura 25 apresenta a janela de abertura de um novo projecto no *Design Builder*.

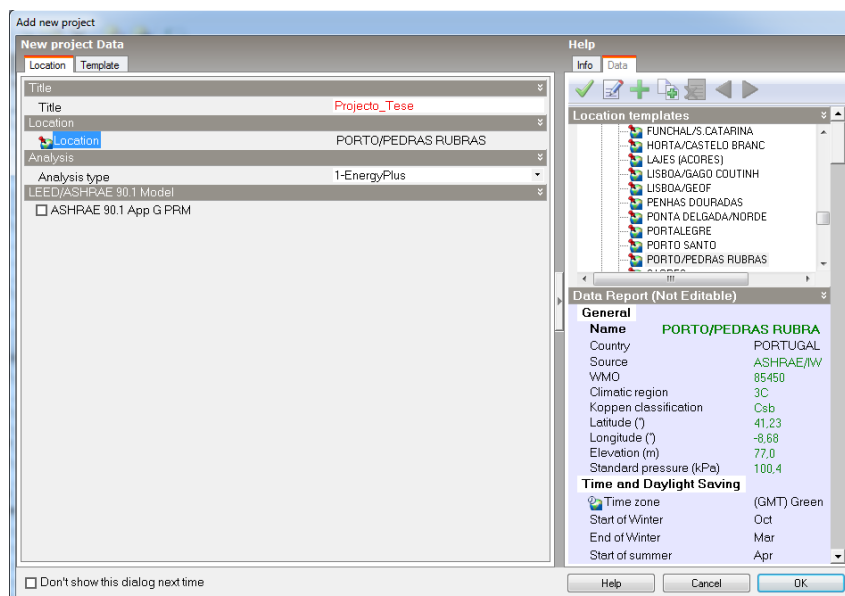


Figura 25 - Design Builder - janela de novo projecto.

Após o passo inicial da introdução do novo projecto e da respectiva localização, segue-se a concepção do modelo geométrico do edifício. Nesta fase é introduzida toda a geometria do edifício a analisar recorrendo a ferramentas de desenho assistido por computador, criando assim o modelo que será a base de todo o projecto.

A Figura 26 apresenta um modelo geométrico concluído, o qual representa toda a geometria do edifício, incluindo todas as divisões interiores e orientação.

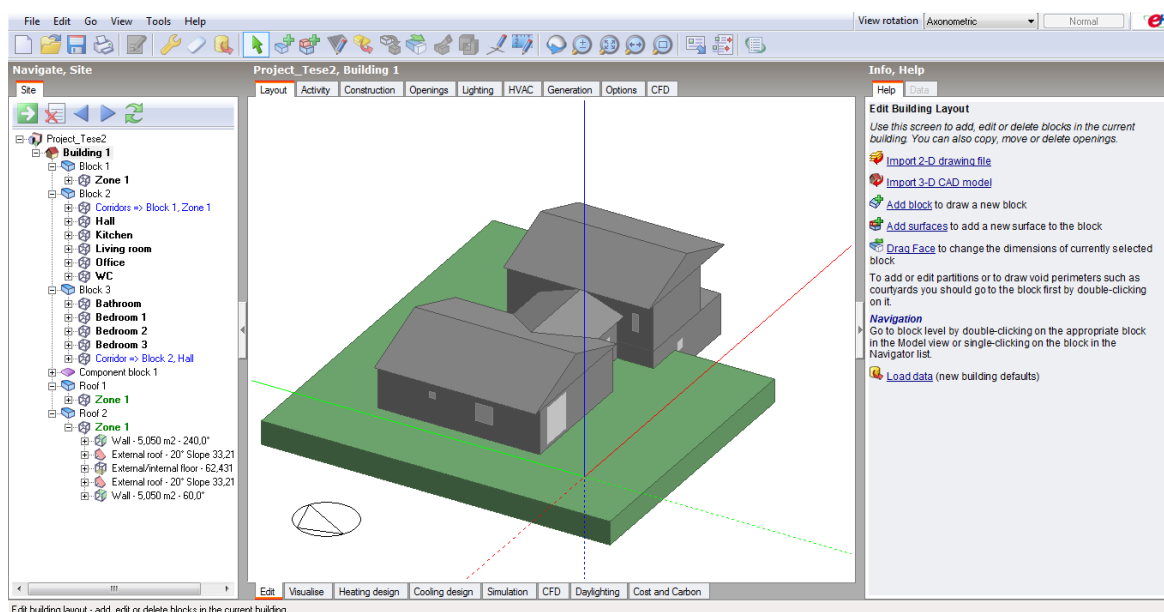


Figura 26 - Design Builder – representação da geometria do modelo.

Com o modelo geométrico concluído, é necessário identificar cada zona e as actividades associadas. A identificação da actividade associada a cada zona é relevante pois tem grande influência na maior parte dos ganhos térmicos internos, influenciando deste modo os requisitos de aquecimento, arrefecimento e/ou ventilação.

O *Design Builder* apresenta um separador destinado à selecção da actividade, onde é possível escolher e/ou definir os requisitos pretendidos para cada zona do edifício. Para este parâmetro o *Design Builder* dispõe também de uma variada lista de templates pré-definidos que referem as características gerais de uma dada actividade para uma determinada zona. Ao seleccionar uma dada actividade, o *Design Builder* associa automaticamente factores como a ocupação, requisitos de temperatura, renovação de ar, iluminação e equipamentos. Estes valores podem ainda ser editados e alterados quando necessário, de modo a adequá-los ao edifício em análise.

A Figura 27 apresenta a janela de selecção da actividade para o exemplo de uma zona destinada a cozinha.

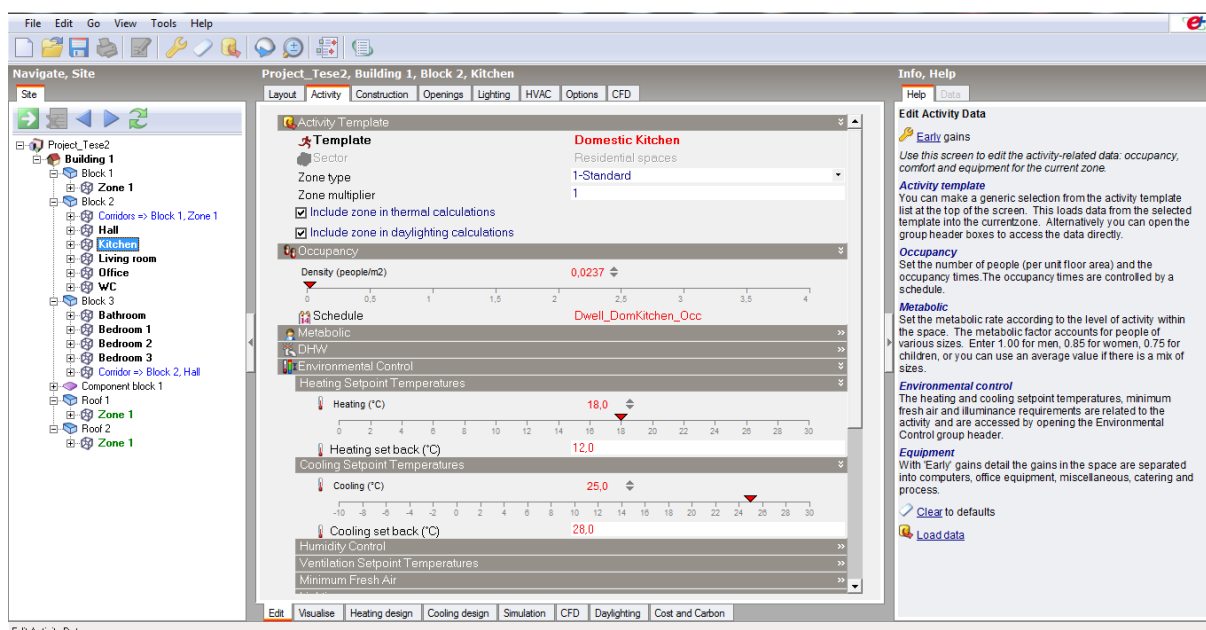


Figura 27 - Design Builder - janela de selecção do tipo de actividade para determinada zona.

A fase seguinte consiste em definir o modelo de simulação consoante a caracterização construtiva do edifício. Tal como no caso da escolha da actividade mediante determinada zona, o *Design Builder* tem também um separador destinado

à caracterização construtiva, onde podem ser definidas as principais propriedades de toda a envolvente opaca (exterior e interior) do edifício. A especificação das características construtivas dita o desempenho energético da envolvente opaca, tendo grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como nas condições de conforto dos ocupantes.

Para definir as características construtivas de um determinado elemento é possível utilizar modelos pré-definidos disponíveis na base de dados do *software*, ou criar uma nova caracterização específica.

Os diferentes tipos de materiais de construção são também disponibilizados pelo *Design Builder*, sendo possível introduzir novos materiais e soluções construtivas.

A Figura 28 representa o separador destinado à caracterização construtiva do modelo do edifício no *software Design Builder*.

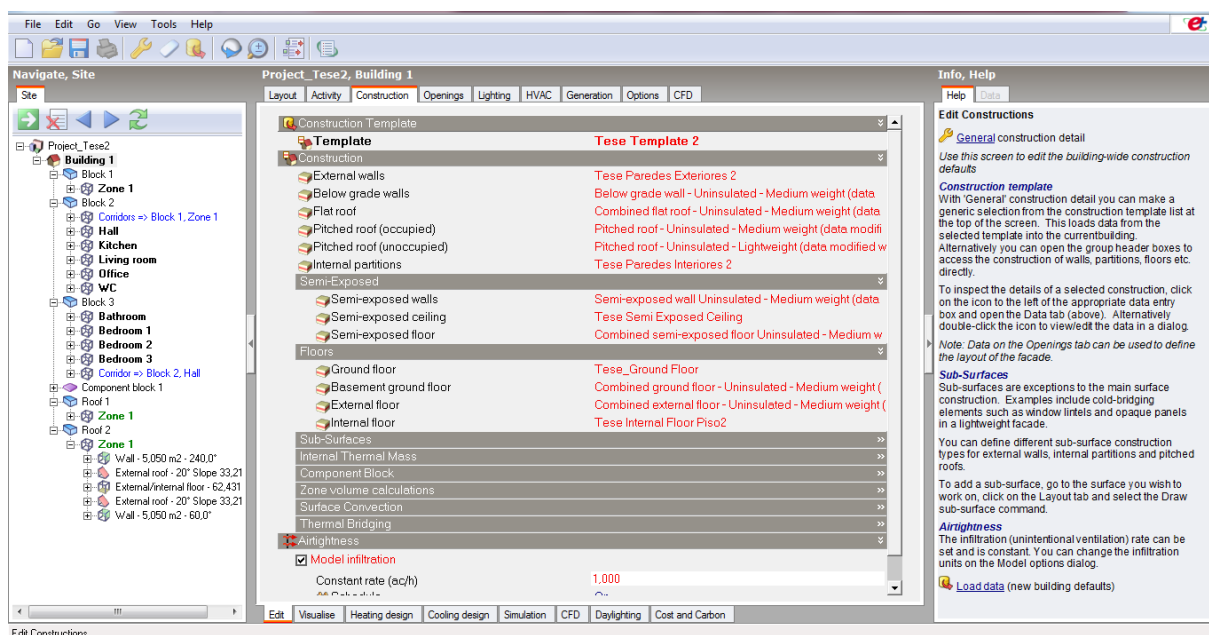


Figura 28 - Design Builder - janela de caracterização construtiva para os elementos da envolvente opaca.

A Figura 29 mostra a janela de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior. Nesta figura é possível observar a definição das diferentes camadas do elemento e os respectivos materiais constituintes.



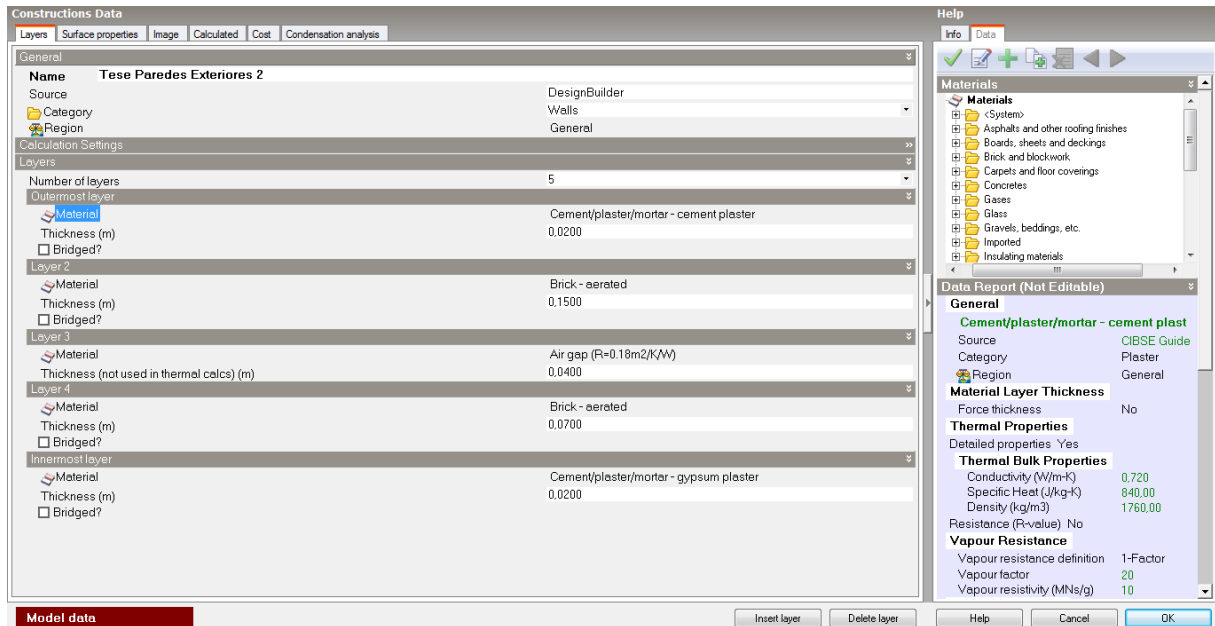


Figura 29 - Design Builder - janela de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior.

O *Design Builder* apresenta também as propriedades de cada material bem como as propriedades globais da parede, por exemplo, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica, densidade, resistência térmica, entre outros (Figura 30).

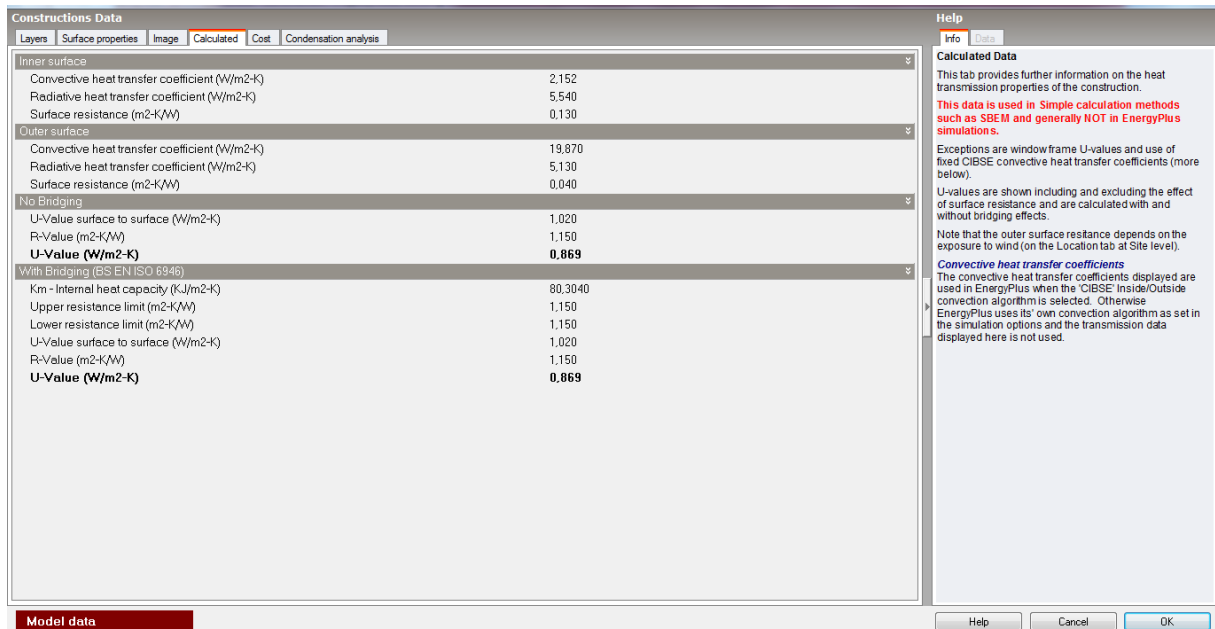


Figura 30 - Design Builder - janela referente às propriedades de um determinado elemento construtivo.

A caracterização de outros elementos construtivos, como pavimentos e coberturas, é realizada de forma idêntica à apresentada na Figura 29.

De seguida é realizada a selecção do tipo de vãos envidraçados. Tal como nos parâmetros de actividade e caracterização construtiva, o *Design Builder* apresenta um separador destinado à caracterização dos vãos envidraçados. Neste separador é possível escolher o tipo de envidraçado a partir de uma lista disponibilizada pelo *software* que inclui diversos modelos pré-definidos, ou ainda criar um novo modelo de envidraçado consoante os requisitos pretendidos.

Ainda dentro deste parâmetro é possível seleccionar o tipo de sistema de sombreamento e um plano de utilização (caso este não seja um sistema fixo).

A Figura 31 apresenta o separador destinado à selecção do tipo de vão envidraçado.

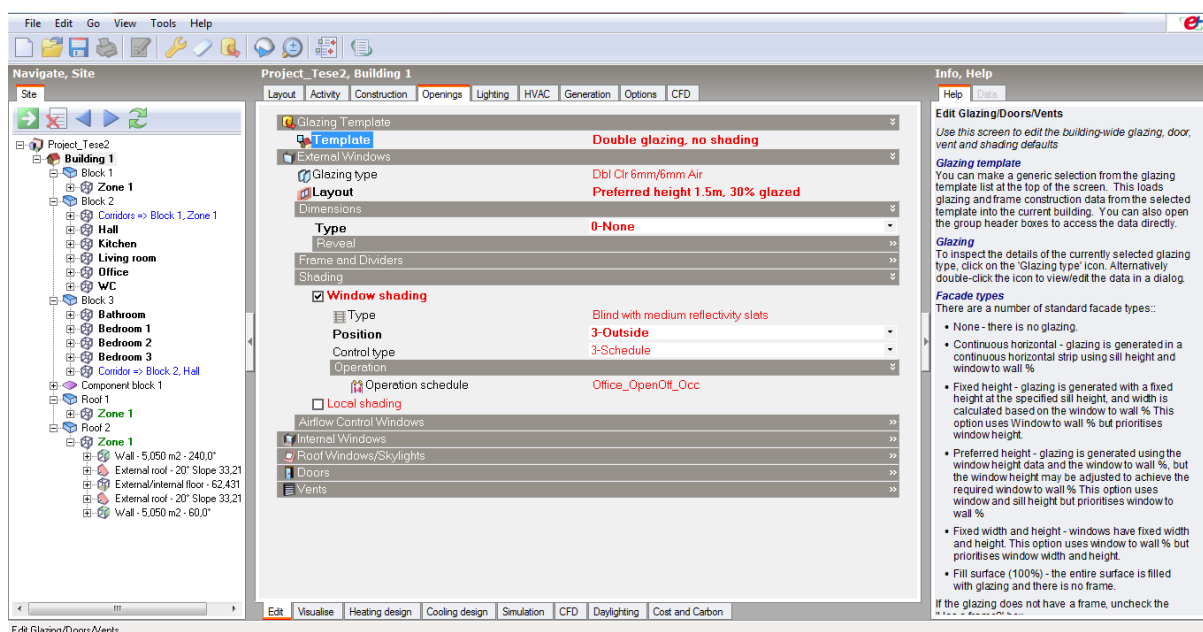


Figura 31 - Design Builder - janela de selecção do tipo de vão envidraçado.

Para completar a concepção do modelo do edifício no *Design Builder* é necessário fazer também referência à iluminação e sistemas AVAC.

Quanto à iluminação, o *Design Builder* dispõe de *templates* pré-definidos que, tal como o parâmetro da actividade, podem ser seleccionados consoante a zona a que se destinam. Desta forma o programa associa automaticamente o desempenho da iluminação e os respectivos consumos de energia dependendo da zona seleccionada.

A Figura 32 mostra a janela do programa onde é efectuada a selecção do *template* de iluminação para uma determinada zona.

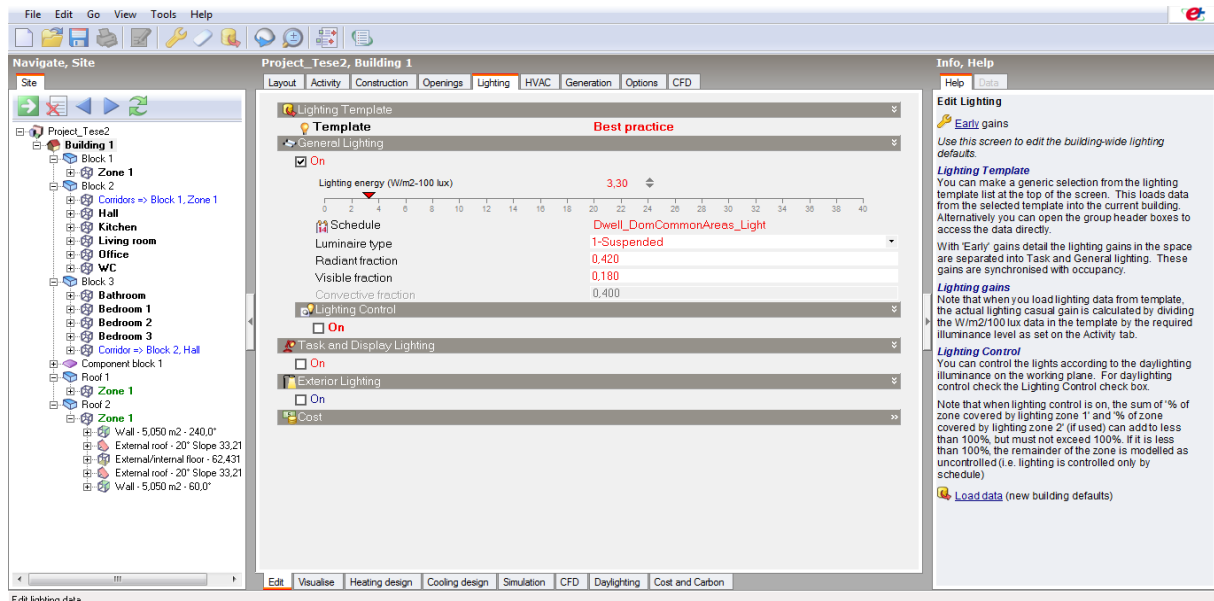


Figura 32 - Design Builder - janela de selecção do modo de iluminação de uma determinada zona.

De seguida é definido o tipo de sistema AVAC instalado no edifício. Para isso, o *Design Builder* apresenta um separador reservado aos sistemas AVAC onde podem ser definidos os principais parâmetros de ventilação, aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS).

Mais uma vez o *software* dispõe de uma lista de *templates* de onde pode ser seleccionado o modelo para Portugal, definindo este um sistema AVAC típico de um edifício comum para este país. Caso seja necessário, é possível seleccionar e/ou alterar parâmetros como a utilização de ventilação mecânica e/ou natural, o tipo de fonte de energia para aquecimento e/ou arrefecimento (electricidade, gás natural, etc), entre outros.

A Figura 33 representa o separador que diz respeito aos sistemas AVAC.

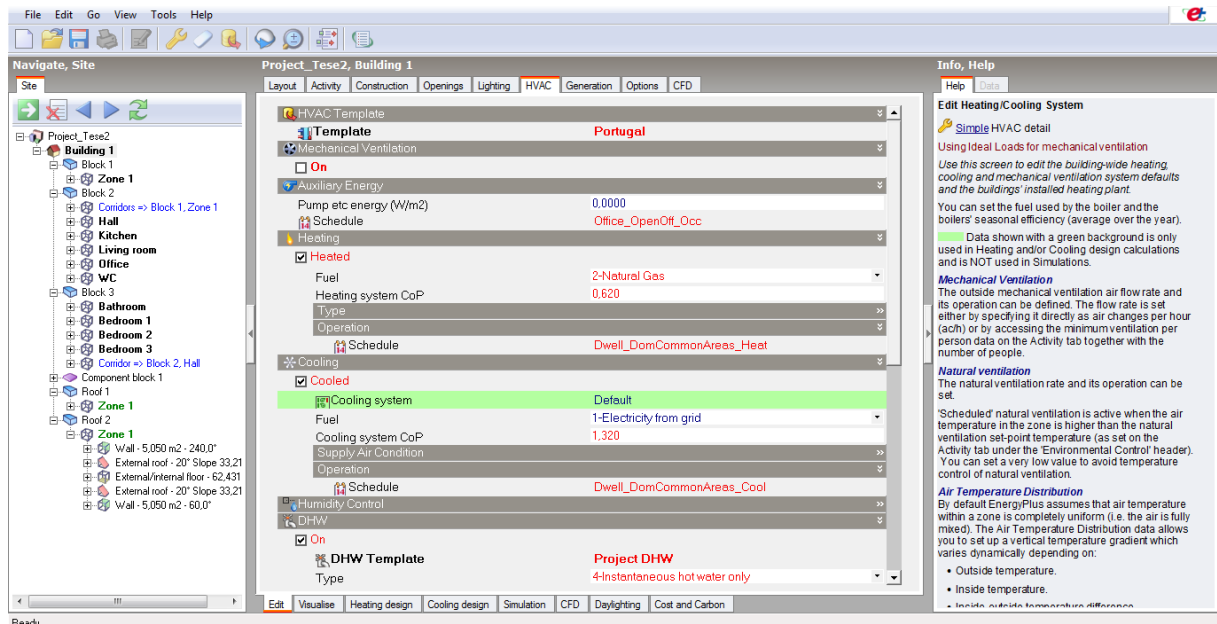


Figura 33 - Design Builder - janela de selecção de sistemas AVAC.

Por fim, após a concepção do modelo estar completa, o desempenho energético do edifício pode ser determinado através de simulações dinâmicas para o período de tempo pretendido.

A Figura 34 apresenta a janela de selecção para uma simulação dinâmica.

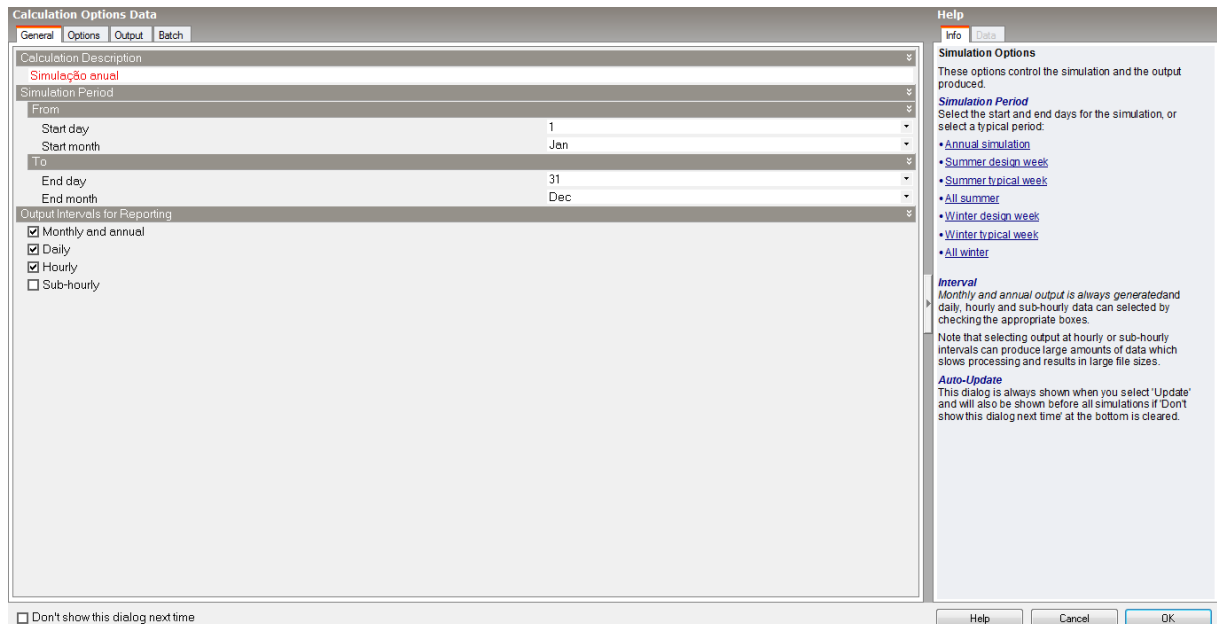


Figura 34 - Design Builder - janela de escolha da simulação.

No final de cada simulação o *Design Builder* proporciona uma análise detalhada do desempenho do edifício em relação a diversos parâmetros, apresentando todos os resultados em forma de gráficos, tabelas e/ou grelhas.

É disponibilizado também um relatório final que apresenta os principais aspectos do desempenho energético do edifício permitindo uma análise mais generalizada.

### 3.3. Descrição do caso de estudo

O caso de estudo seleccionado é um edifício de habitação unifamiliar situado na Rua 24 de Junho em Aldão, Guimarães, construído no ano de 1963.

O terreno onde se insere a construção está contemplado no PDM como Zona de construção dominante Tipo II, Zona de construção de transição Tipo III, Zona não urbanizável e Reserva Agrícola Nacional e Ecológica. O edifício está implantado conjuntamente em zona de Tipo II e Tipo III.

A habitação existente é composta por dois volumes contíguos, com cêrceas distintas. O volume a Norte situa-se à cota do acesso exterior e é composto por um único piso (Piso 1) que contempla cozinha, sala de jantar, sala de estar, arrecadação e instalação sanitária de serviço. O volume a Sul divide-se em dois pisos. O piso inferior (Piso 0) encontra-se a 1,35m abaixo da cota de soleira e é composto por garrafeira, zona de arrumos e um pequeno quarto, e o piso superior (Piso 2) é composto por três quartos e uma instalação sanitária comum.

Estes dois volumes comunicam entre si através de um hall de distribuição onde estão inseridas as escadas para acesso aos diversos pisos (Figura 36 e Figura 37).

Todos os compartimentos da habitação são iluminados e ventilados naturalmente por meio de janelas e portas de abrir ou correr.

#### 3.3.1. Caracterização geométrica

O edifício em questão possui uma área de implantação de 159,251m<sup>2</sup>.

O volume a Norte é composto por um único piso (incluindo o hall) que possui uma área bruta de 78,435m<sup>2</sup>. O volume a Sul é composto por dois pisos, ambos com uma área bruta de 55,727m<sup>2</sup>.

O Piso 0 do edifício encontra-se abaixo da cota de soleira, pelo que apenas duas das quatro fachadas deste piso estão sujeitas a exposição solar (SE e SO), estando as duas restantes em contacto directo com o solo.

A área útil do edifício possui 155,14m<sup>2</sup>.



Figura 35 - Planta de cobertura

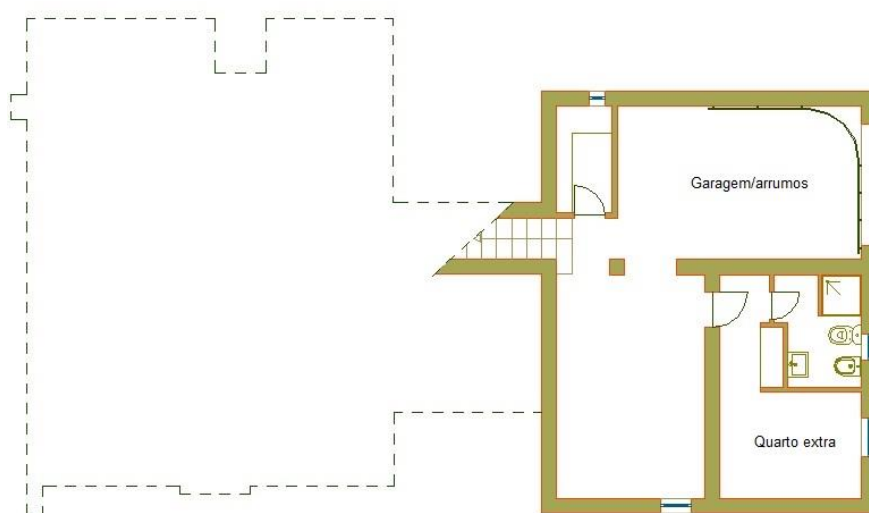


Figura 36 - Planta do Piso 0

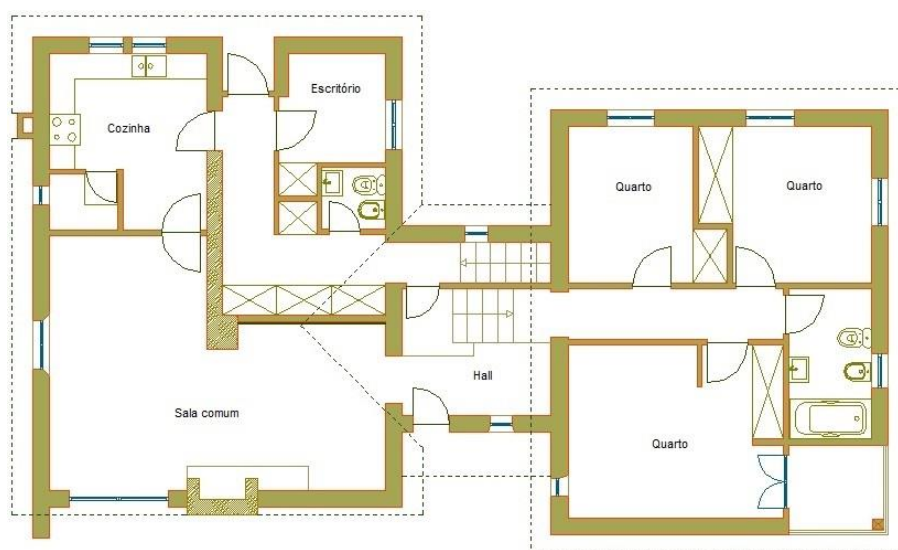


Figura 37 - Planta do Piso 1 e Piso 2

### 3.3.2. Caracterização construtiva

Dentro deste item pretende-se descrever as características construtivas do edifício na sua situação actual, referindo essencialmente as propriedades dos seus elementos constituintes, nomeadamente paredes exteriores, paredes interiores, pavimentos, coberturas e vãos envidraçados.

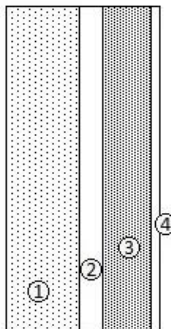
Numa primeira análise ao edifício, atendendo ao ano de construção deste, bem como às suas características geométricas, considerou-se que a sua tipologia construtiva não possui isolamento térmico.

De seguida serão referidos os elementos construtivos do edifício referenciando a sua tipologia e características de acordo com os dados introduzidos no programa de simulação dinâmica – *Design Builder*.

#### Paredes exteriores

##### Piso 0

A parede exterior do Piso 0 é constituída por um pano exterior em granito e um pano interior de tijolo cerâmico separados por um espaço de ar com 4cm de espessura. A face interior da parede possui ainda um reboco tradicional (Figura 38).



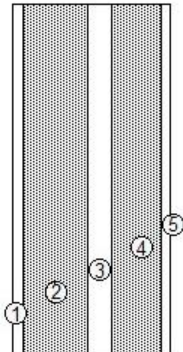
Parede Exterior (Piso 0)	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m°C)	Resistência térmica R (m <sup>2</sup> °C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
			0,04	
1 Alvenaria em granito	0,17	2,80	0,061	2600
2 Caixa-de-ar	0,04	-	0,18	-
3 Tijolo cerâmico	0,07	0,30	0,23	1000
4 Reboco tradicional (gesso)	0,02	0,51	0,039	1120
			0,13	
Espessura total (m)	0,30			
Resistência térmica total - R(m <sup>2</sup> °C/W)			0,683	
Coefficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> °C/W)			1,464	

Figura 38 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 0

##### Piso 1 e Piso 2

As paredes exteriores dos Pisos 1 e 2 apresentam uma tipologia diferente das paredes exteriores do Piso 0.

No caso dos Pisos 1 e 2, as paredes exteriores são compostas por dois panos de alvenaria em tijolo cerâmico, separados por um espaço de ar com 4cm de espessura. O pano exterior possui uma espessura de 15cm e o pano interior 7cm, ambas as faces da parede são revestidas com reboco tradicional, um em argamassa de ligante hidráulico e outro em gesso (Figura 39).



Parede Exterior (Piso 1 e 2)	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m°C)	Resistência térmica R (m <sup>2</sup> C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
			0,04	
1 Reboco tradicional	0,02	0,72	0,027	1760
2 Tijolo cerâmico	0,15	0,30	0,50	1000
3 Caixa-de-ar	0,04	-	0,18	-
4 Tijolo cerâmico	0,07	0,30	0,23	1000
5 Reboco tradicional (gesso)	0,02	0,51	0,039	1120
			0,13	
Espessura total (m)	0,30			
Resistência térmica total - R(m <sup>2</sup> C/W)			1,15	
Coefficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> C/W)			0,869	

Figura 39 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 1 e piso 2.

### Paredes divisórias

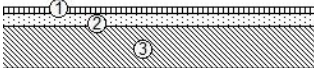
As paredes divisórias da habitação em estudo são compostas por um pano simples de alvenaria de tijolo cerâmico com 11cm de espessura, revestido em ambas as faces por reboco tradicional em gesso.

### Pavimentos

#### Pavimento térreo

Para o caso dos pavimentos que se encontram directamente em contacto com o solo, sendo eles o do piso 0 e piso 1, foi considerado que estes são constituídos por uma laje de betão, seguida de uma camada de regularização (betonilha de assentamento) e revestimento do piso, sendo considerado em madeira (Figura 40).



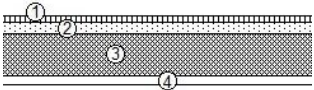


Pavimento térreo (Piso 0 e 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m°C)	Resistência térmica R (m <sup>2</sup> °C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1 Revestimento do piso (madeira)	0,03	0,14	0,214	650
2 Camada de regularização	0,07	0,41	0,171	1200
3 Laje de betão	0,20	1,35	0,148	1800
Espessura total		0,30		
Resistência térmica total - R(m <sup>2</sup> °C/W)			0,743	
Coeficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> °C/W)			1,346	

Figura 40 - Pormenor e características do pavimento térreo

### Pavimento interior

Para o pavimento entre zonas úteis, como é o caso do pavimento do piso 2, a sua estrutura é composta por uma laje aligeirada, revestida inferiormente por reboco tradicional em estuque e superiormente por uma camada de regularização e revestimento em madeira tal como nos restantes pisos (Figura 41).



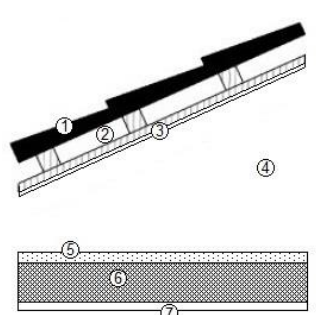
Pavimento interior (Piso 2)	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m°C)	Resistência térmica R (m <sup>2</sup> °C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1 Revestimento do piso (madeira)	0,02	0,14	0,143	650
2 Camada de regularização	0,05	1,00	0,050	1800
3 Laje aligeirada	0,18	0,38	0,474	1200
4 Reboco tradicional	0,02	0,35	0,057	950
Espessura total		0,27		
Resistência térmica total - R(m <sup>2</sup> °C/W)			0,994	
Coeficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> °C/W)			1,006	

Figura 41 - Pormenor e características do pavimento interior

### Cobertura

A cobertura do edifício é composta por uma laje de esteira e uma estrutura de cobertura inclinada, definindo um telhado de duas águas e criando, entre estas, um desvão não habitável.

A laje de esteira é aligeirada, revestida por reboco tradicional e uma camada de regularização. A estrutura inclinada tem suporte construído em madeira e é revestida por telha cerâmica (Figura 42)

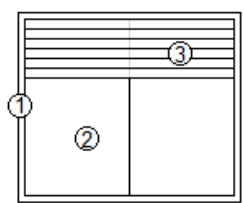


Cobertura	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m°C)	Resistência térmica R (m <sup>2</sup> C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1 Telha cerâmica	0,025	1,00	0,025	2000
I 2 Espaço de ar	0,02		0,180	
3 Revestimento	0,01	0,19	0,053	960
4 Desvão - não habitável				
5 Camada de regularização	0,05	1,00	0,050	1800
II 6 Laje aligeirada	0,18	0,38	0,474	1200
7 Reboco tradicional	0,02	0,35	0,057	950
<hr/>				
I Espessura total	0,055			
II Espessura total	0,25			
<hr/>				
I Resistência térmica total - R(m <sup>2</sup> C/W)			0,368	
II Coeficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> C/W)			2,720	
<hr/>				
I Resistência térmica total - R(m <sup>2</sup> C/W)			0,851	
II Coeficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> C/W)			1,175	

Figura 42 - Pormenor e características da cobertura

### Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados do edifício são constituídos por caixilharia em alumínio, vidro simples e um dispositivo de oclusão nocturna do tipo estore de lâminas plásticas aplicado pelo exterior (Figura 43).



Vão Envidraçado	
1	Caixilharia metálica
2	Vidro simples
3	Dispositivo de oclusão nocturna
<hr/>	
Factor de transmissão solar	0,819
Coeficiente de transmissão térmica - U (m <sup>2</sup> C/W)	5,778

Figura 43 - Pormenor e características dos vãos envidraçados

### 3.4. Modelo de simulação - Design Builder

Atendendo às características geométricas e construtivas do edifício do presente caso de estudo, o respectivo modelo de simulação criado no *software Design Builder* para analisar o seu desempenho energético resulta no modelo de simulação apresentado da Figura 44 e Figura 45.

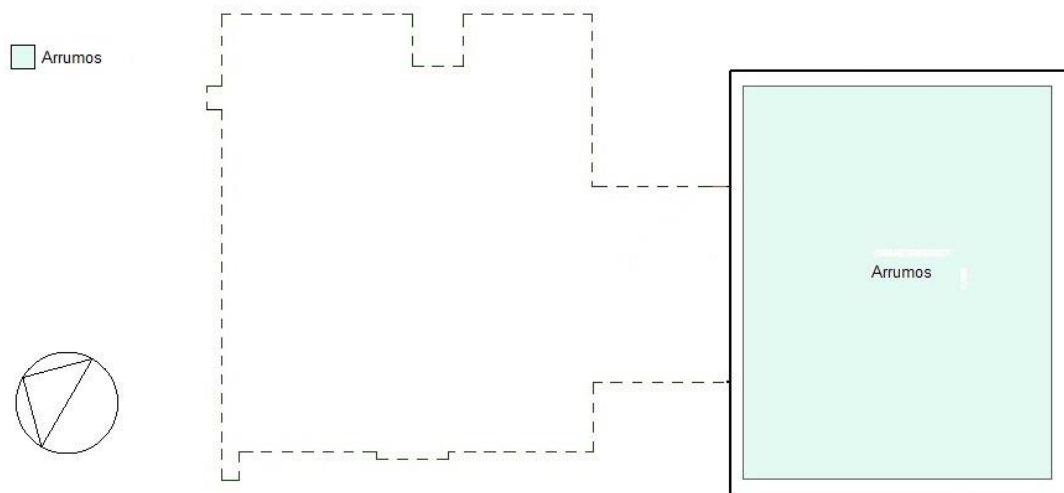


Figura 44 - Design Builder - Planta do Piso 0 no modelo de simulação.

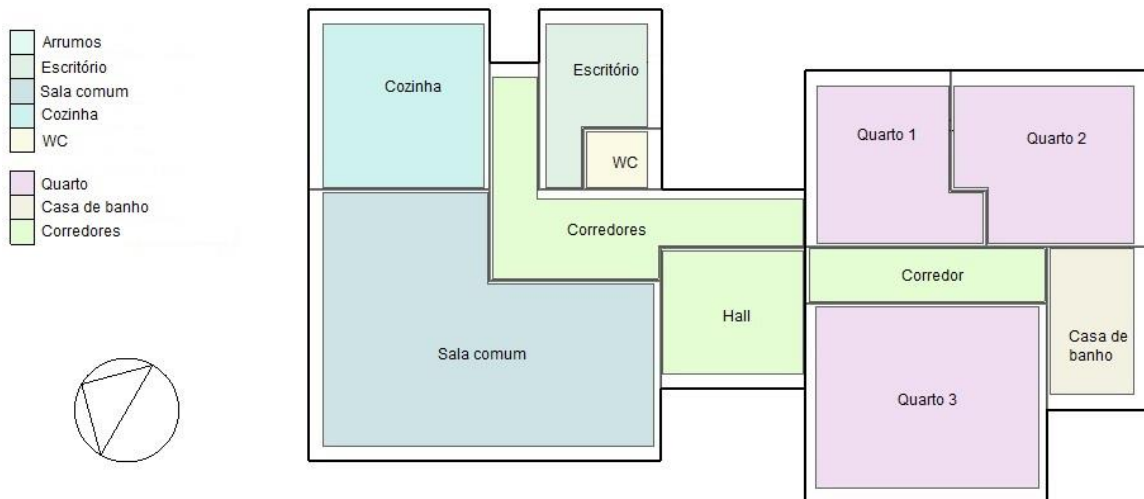


Figura 45 - Design Builder - Planta do Piso 1 e Piso 2 no modelo de simulação.



## Capítulo 4 | RESULTADOS

### 4.1. Diagnóstico Energético

Nesta secção é apresentado o diagnóstico energético do edifício em estudo através de simulação dinâmica utilizando o *Design Builder*.

Com o modelo do edifício devidamente definido no *software*, o *Design Builder* recorre a simulações dinâmicas permitindo obter o respectivo desempenho energético do edifício de acordo com as suas características e envolvente exterior, e identificar as diferentes finalidades dos consumos energéticos. Para este caso de estudo foram realizadas simulações energéticas anuais, centrando as atenções do diagnóstico para as necessidades globais, de aquecimento e arrefecimento.

#### Necessidades Energéticas

A Tabela 6 apresenta os valores das necessidades energéticas globais do edifício no seu estado actual. Esta tabela mostra as necessidades energéticas anuais por área condicionada, referentes a uma simulação dinâmica para um período de 1 ano.

Tabela 6 - Necessidades energéticas globais

Simulação	Energia Total [kWh/ano]	Energia por Área Condicionada [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
Diagnóstico Energético	11474,83	73,97

A Tabela 7 apresenta as necessidades energéticas em relação às diferentes finalidades de utilização de energia, nomeadamente necessidades de aquecimento, necessidades de arrefecimento e outros usos (iluminação, equipamentos, AQS, etc).

Tabela 7 - Necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros usos de energia

	Energia Total [kWh/ano]	Energia por Área Condicionada [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Necessidades globais
Necessidades de aquecimento	6788,32	43,76	59,16%
Necessidades de arrefecimento	368,16	2,37	3,21%
outros usos	4318,35	27,84	37,63%
Global	11474,83	73,97	100%

De acordo com os valores apresentados na Tabela 7, quase 60% das necessidades globais do edifício dizem respeito a necessidades de aquecimento, e cerca de 3% a necessidades de arrefecimento, sendo os restantes 37% relativos a outras finalidades da utilização de energia, nomeadamente iluminação, equipamentos (electrodomésticos) e sistemas de águas quentes sanitárias (AQS).

### Ganhos térmicos internos

A Figura 46 representa a energia total correspondente aos ganhos térmicos internos do edifício (ganhos brutos), nomeadamente devido a iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solares através dos vãos envidraçados. Estes valores foram obtidos através de simulação dinâmica para um período de 1 ano, relativamente ao edifício no seu estado actual.

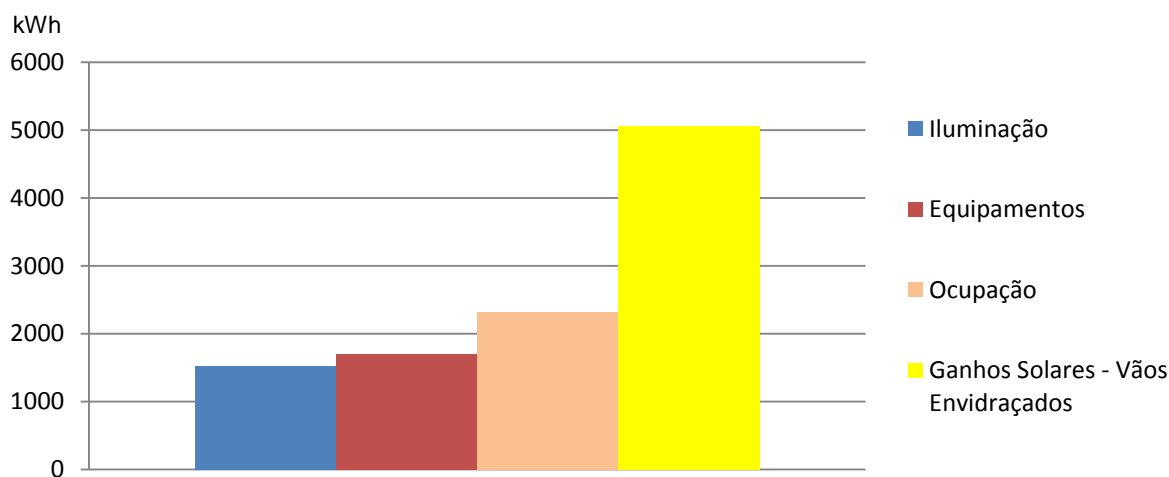


Figura 46 - Gráfico representativos dos ganhos térmicos internos

Pela Figura 46 verifica-se que os ganhos solares são os responsáveis pela maior parte dos ganhos térmicos internos do edifício.

### Produção de CO<sub>2</sub>

A produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um parâmetro importante a considerar pois diz respeito ao desempenho ambiental do edifício em estudo, tendo em conta que o objectivo da reabilitação visa não só a redução do consumo energético como também a diminuição do impacto ambiental.

A quantidade de CO<sub>2</sub> produzida anualmente pelo caso de estudo, determinada através do *Design Builder*, é de 5417,04 kg/ano.

## 4.2. Medidas de Reabilitação Energética – aplicação ao caso de estudo

O conteúdo desta secção compreende as medidas de reabilitação energética descritas no capítulo 2, e a sua aplicação no presente caso de estudo.

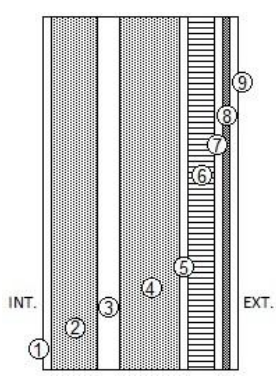
Aqui estão apresentadas as medidas que são consideradas indicadas a aplicar e a sua caracterização, tendo em conta o contexto construtivo do edifício.

### 4.2.1. Isolamento térmico nas paredes exteriores

Este tipo de estratégia de intervenção pode ser concebido atendendo a três diferentes tipos de aplicação, nomeadamente o reforço do isolamento térmico pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar de paredes duplas.

Para a reabilitação deste caso de estudo, foi seleccionado o reforço do isolamento térmico pelo exterior por este apresentar uma maior facilidade de aplicação e ser considerado mais eficaz. Dentro deste tipo de reforço foi considerada a solução que consiste em sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, conhecidos como “ETICS”. A escolha desta solução deve-se ao facto de esta ser considerada mais eficiente em comparação com outros tipos de solução de reforço de isolamento pelo exterior (ver item 2.3.).

Assim, para a análise desta medida de reabilitação, foram alteradas as características construtivas das paredes exteriores conforme os requisitos desta solução. A tipologia construtiva das paredes após alteração está apresentada na Figura 47.



Parede Exterior (Piso 1 e 2)		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m°C)	Resistência térmica R (m <sup>2</sup> C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
				0,04	
1	Reboco tradicional (gesso)	0,02	0,51	0,039	1120
2	Tijolo cerâmico	0,07	0,30	0,23	1000
3	Caixa-de-ar	0,04	-	0,18	-
4	Tijolo cerâmico	0,15	0,30	0,50	1000
5	Reboco tradicional	0,02	0,72	0,027	1760
6	EPS - Poliestireno Expandido	x	0,04	r	15
7	Revestimento base	0,008	0,35	0,023	950
8	Rede de fibra de vidro	0,002	0,04	0,050	12
9	Revestimento final	0,01	0,35	0,029	950
				0,13	

Figura 47 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 1 e piso 2 com reforço de isolamento térmico (sistema ETICS).

No intuito de avaliar o impacto desta medida atendendo a diferentes espessuras de isolamento térmico, a análise desta foi realizada em quatro situações, correspondendo cada uma delas a uma espessura de isolamento térmico diferente.

A Tabela 8 apresenta as diferentes espessuras de poliestireno expandido utilizadas na respectiva simulação, e os valores da resistência térmica  $R$  ( $m^2\text{°C/W}$ ) e coeficiente de transmissão térmica  $U$  ( $W/m^2\text{°C}$ ) da nova parede.

Tabela 8 - Designação e características das diferentes simulações para reforço do isolamento térmico das paredes exteriores.

Designação da simulação	PE04	PE06	PE08	PE10
Espessura EPS (m)	0,04	0,06	0,08	0,10
Espessura total (m)	0,36	0,38	0,40	0,42
Resistência térmica total - $R$ ( $m^2\text{°C/W}$ )	2,252	2,752	3,252	3,752
Coefficiente de transmissão térmica - $U$ ( $W/m^2\text{°C}$ )	0,444	0,363	0,308	0,267

De notar que, a designação de cada simulação é alusiva ao tipo de medida de reabilitação e à espessura de isolamento térmico que esta contém. Isto é, por exemplo, no caso da simulação PE04, as letras “PE” indicam “Paredes Exteriores” e os algarismos “04” indicam uma espessura de isolamento térmico de 4 cm.

Os resultados obtidos após as quatro simulações dinâmicas são apresentados na Tabela 9, a qual faz referência nomeadamente às necessidades energéticas após a intervenção de reabilitação no edifício.

Tabela 9 – Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.

Simulação	Necessidades Energéticas			
	Nec. Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Outros usos [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
PE04	39,43	2,26	27,84	69,53
PE06	38,60	2,27	27,84	68,70
PE08	38,00	2,27	27,84	68,11
PE10	37,56	2,27	27,84	67,67



De acordo com os valores da Tabela 9, o reforço do isolamento térmico na reabilitação das paredes exteriores conduz a tendências contrárias relativamente às necessidades de aquecimento e arrefecimento. No entanto, a tendência para a diminuição das necessidades de aquecimento é mais acentuada do que a tendência para o aumento da energia necessária para arrefecimento, o que resulta numa redução das necessidades energéticas globais.

Na Tabela 10 é apresentada a comparação entre as necessidades energéticas do edifício antes e após a intervenção, referindo a variação da energia total e da energia utilizada para aquecimento e arrefecimento entre as duas situações.

Tabela 10 – Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.

Simulação	Necessidades Energéticas			
	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação
PE04	41,69	-9,6%	69,53	-6,0%
PE06	40,86	-11,4%	68,70	-7,1%
PE08	40,27	-12,7%	68,11	-7,9%
PE10	39,84	-13,6%	67,67	-8,5%

Como se pode verificar pelos valores da Tabela 10, a aplicação do isolamento térmico nas paredes exteriores resultou numa redução até cerca de 13% das necessidades de aquecimento e arrefecimento, o que corresponde a uma redução de cerca de 8% nas necessidades energéticas globais. De notar também que quanto maior for a espessura do isolamento aplicado, maior é a redução das necessidades energéticas, no entanto esta analogia não é proporcional, o que significa que a partir de um certo ponto o aumento da espessura do isolamento já não resulta em maiores reduções energéticas.

Quanto ao desempenho ambiental do edifício, a Tabela 11 mostra os valores da quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que seria produzido após a intervenção de reabilitação e a sua respectiva variação relativamente à actual produção de CO<sub>2</sub> de 5417,04 kg/ano.

Tabela 11 – Quantificação e variação da produção de CO<sub>2</sub> após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.

Simulação	Produção de CO <sub>2</sub> [kg/ano]	Varição
PE04	5197,13	-4,1%
PE06	5156,64	-4,8%
PE08	5127,98	-5,3%
PE10	5106,78	-5,7%

Dos valores apresentados na Tabela 11, verifica-se que este tipo de intervenção de reabilitação pode resultar numa redução até 5,7% da produção de CO<sub>2</sub> do edifício. Esta redução é tanto maior quanto maior for a espessura do isolamento aplicado.

#### 4.2.2. Isolamento térmico na cobertura

A cobertura presente no edifício em estudo é uma cobertura do tipo inclinada, pelo que, a aplicação do isolamento térmico pode ser realizada através de dois procedimentos: isolamento da esteira horizontal e isolamento das vertentes. Considerando que o desvão existente não é destinado a habitação ou lazer (desvão não-habitável), revela-se mais apropriado aplicar o isolamento térmico na esteira horizontal.

Assim, a análise desta medida de reabilitação passa pela alteração da tipologia construtiva da cobertura, inserindo o isolamento térmico de acordo com os requisitos da solução. A nova tipologia construtiva da cobertura é apresentada na Figura 48.

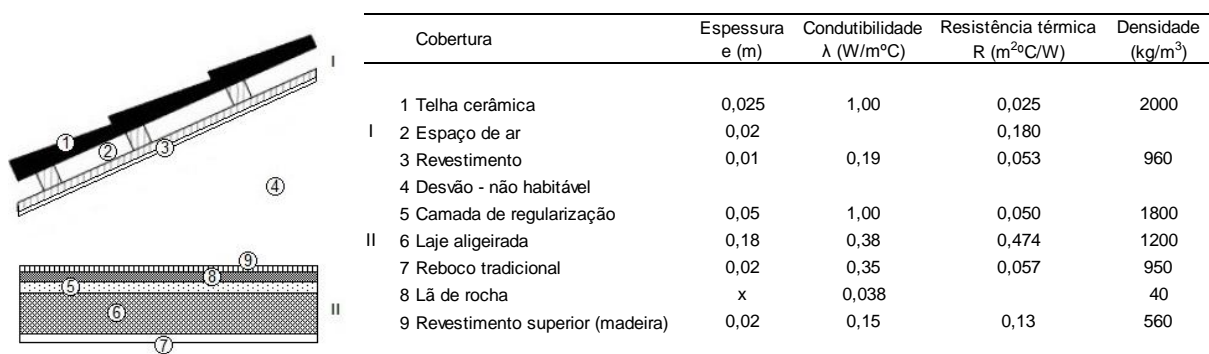


Figura 48 - Pormenor e características da tipologia construtiva da cobertura após intervenção de reabilitação.

Tal como realizado para a solução de isolamento térmico nas paredes exteriores, são realizadas também quatro simulações para esta, correspondendo cada uma delas a uma espessura de isolamento térmico diferente.

A Tabela 12 apresenta a designação de cada simulação e os diferentes valores dos respectivos parâmetros, nomeadamente espessura (m), resistência térmica ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) e coeficiente de transmissão térmica ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Tabela 12 – Designação e características das diferentes simulações para intervenção de reabilitação da cobertura.

Designação da simulação	CH04	CH08	CH10	CH14
Espessura Lã de Rocha (m)	0,04	0,08	0,10	0,14
I Espessura total (m)	0,055	0,055	0,055	0,055
II Espessura total (m)	0,31	0,35	0,37	0,41
Resistência térmica R ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	0,368	0,368	0,368	0,368
I Coeficiente de transmissão térmica U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	2,720	2,720	2,720	2,720
Resistência térmica R ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	2,037	3,089	3,616	4,668
II Coeficiente de transmissão térmica U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	0,491	0,324	0,277	0,214

De notar que, a designação das simulações realizadas nesta secção consiste na mesma ideologia da designação das simulações realizadas para o isolamento térmico das paredes exteriores.

CH04 – Isolamento térmico na cobertura (esteira horizontal) com 4cm de espessura de isolamento;

CH08 – Isolamento térmico na cobertura (esteira horizontal) com 8cm de espessura de isolamento;

CH10 – Isolamento térmico na cobertura (esteira horizontal) com 10cm de espessura de isolamento;

CH14 – Isolamento térmico na cobertura (esteira horizontal) com 14cm de espessura de isolamento.

Os resultados obtidos após as simulações dinâmicas são apresentados na Tabela 13 a qual faz referência nomeadamente às necessidades energéticas após a intervenção de reabilitação no edifício.

Tabela 13 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura.

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Outros usos [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
CH04	42,93	0,99	27,84	71,75
CH08	41,67	0,87	27,84	70,38
CH10	41,29	0,83	27,84	69,96
CH14	40,75	0,79	27,84	69,38

Através dos dados apresentados na Tabela 13 verifica-se que a aplicação de isolamento térmico na cobertura tem um impacto considerável no desempenho energético do edifício, principalmente a nível das necessidades de arrefecimento.

A Tabela 14 apresenta a comparação entre as necessidades energéticas do edifício antes e após a intervenção, referindo a variação da energia total e da energia utilizada para aquecimento e arrefecimento entre as duas situações.

Tabela 14 – Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura..

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação
CH04	43,91	-4,8%	71,75	-3,0%
CH08	42,54	-7,8%	70,38	-4,9%
CH10	42,12	-8,7%	69,96	-5,4%
CH14	41,54	-9,9%	69,38	-6,2%

Pela análise da Tabela 13 e Tabela 14, constata-se que a reabilitação do edifício através da aplicação de isolamento térmico na cobertura apresenta reduções até cerca de 10% nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, traduzindo-se em cerca de 6% das necessidades energéticas globais. Esta medida de reabilitação apresenta reduções muito próximas das reduções resultantes da aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores, o que leva a considerar esta medida mais eficaz tendo em conta a sua área de intervenção ser menor.

A Tabela 15 é alusiva ao impacto ambiental do edifício, apresentando os valores da produção de CO<sub>2</sub> após a intervenção de reabilitação, bem como a variação deste parâmetro comparativamente com a situação actual do edifício.

Tabela 15 – Quantificação e variação da produção de CO<sub>2</sub> após intervenção de reabilitação da cobertura.

Simulação	Produção de CO <sub>2</sub> [kg/ano]	Variação
CH04	5265,01	-2,8%
CH08	5193,92	-4,1%
CH10	5172,87	-4,5%
CH14	5143,03	-5,1%

Mediante os valores da Tabela 15, verifica-se que o desempenho ambiental do edifício após este tipo de intervenção apresenta uma redução da quantidade de CO<sub>2</sub> produzida até cerca de 5%.

#### 4.2.3. Vãos Envidraçados

Atendendo a que o presente edifício foi construído no ano de 1963, as janelas nele existentes são antigas e apresentam já alguma degradação. Deste modo, para o caso de intervenção a nível dos vãos envidraçados, foi considerada a substituição da janela existente por outra de maior eficiência, no intuito de melhorar o seu desempenho energético face às exigências actuais.

Para o estudo desta medida de reabilitação foram escolhidos diferentes tipos de envidraçados, de modo a comparar o impacto da aplicação de cada um deles.

A Tabela 16 mostra as características de dois tipos de envidraçado seleccionados para análise.

Tabela 16 – Tipo e características dos vãos envidraçados seleccionados para análise.

Tipo	Camadas	Transmissão solar	Coefficiente de transmissão térmica U [W/m <sup>2</sup> °C]
Duplo	Vidro - incolor - 6 mm Ar - 6 mm Vidro - incolor - 6 mm	0,7	3,094
Triplo	Vidro - incolor - 3 mm Ar - 6 mm Vidro - incolor - 3 mm Ar - 6 mm Vidro - incolor - 3 mm	0,682	2,178

Foi também analisado um outro tipo de envidraçado sugerido pelo *software* de simulação dinâmica *Design Builder*. Para o caso dos vãos envidraçados, o *Design Builder* dispõe um tipo designado por “Best Practice” que sugere uma solução adequada ao modelo em estudo. Esta solução consiste num envidraçado duplo com dois vidros de características diferentes e uma maior camada de ar (Tabela 17).

Tabela 17 – Tipo e características do vão envidraçado sugerido pelo software Design Builder.

Tipo	Camadas	Transmissão solar	Coefficiente de transmissão térmica U [W/m <sup>2</sup> °C]
Best Practice	Vidro - PYR B incolor - 3 mm Ar - 13 mm Vidro - incolor - 3 mm	0,691	1,96

Para os três diferentes tipos de vãos envidraçados foi considerada a respectiva caixilharia em alumínio com corte térmico e um sistema de oclusão (estores) instalado pelo exterior.

Com isto foram realizadas três simulações dinâmicas, correspondendo cada uma delas a um tipo de envidraçado diferente. Ao contrário das medidas de reabilitação em paredes exteriores e coberturas, a intervenção ao nível dos vãos envidraçados tem impacto nos ganhos solares, pelo que, para além das necessidades de aquecimento e arrefecimento e produção de CO<sub>2</sub>, os ganhos térmicos internos foram também alvo de análise.

A Tabela 18 apresenta as necessidades energéticas do edifício após a aplicação dos diferentes tipos de envidraçado.

Tabela 18 – Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.

Necessidades Energéticas				
Simulação (Envidraçado)	Nec. Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Outros usos [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
Duplo	42,28	2,55	27,84	72,67
Triplo	41,59	2,50	27,84	71,93
Best Practice	40,19	2,37	27,84	70,40

O impacto desta medida de reabilitação no edifício pode ser analisado através dos valores apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.

Necessidades Energéticas				
Simulação (Envidraçado)	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação
Duplo	44,83	-2,8%	72,67	-1,8%
Triplo	44,09	-4,4%	71,93	-2,8%
Best Practice	42,56	-7,7%	70,40	-4,8%

Como se pode verificar na Tabela 19, o tipo de envidraçado sugerido pelo *Design Builder* é o que apresenta a contribuição mais eficaz para o desempenho energético do edifício. A aplicação deste tipo de vão envidraçado resulta numa redução das necessidades energéticas até cerca de 5%.

A Tabela 20 apresenta o impacto da alteração dos vãos envidraçados a nível da produção de CO<sub>2</sub>.

Tabela 20 - Quantificação e variação da produção de CO<sub>2</sub> após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.

Simulação	Produção de CO <sub>2</sub> [kg/ano]	Variação
Duplo	5359,12	-1,1%
Triplo	5321,60	-1,8%
Best Practice	5243,04	-3,2%

Quanto aos ganhos térmicos internos do edifício, a utilização de vidro simples proporciona ganhos solares mais elevados, mas por outro lado, devido ao seu elevado coeficiente de transmissão térmica (U), resulta também no aumento das perdas energéticas, que no balanço global revelam ser superiores aos próprios ganhos. Deste modo, é preferível a aplicação de outro tipo de vidro, por exemplo, duplo ou triplo.

A Figura 49 apresenta o valor dos ganhos térmicos internos do edifício após a intervenção de substituição dos vãos envidraçados.

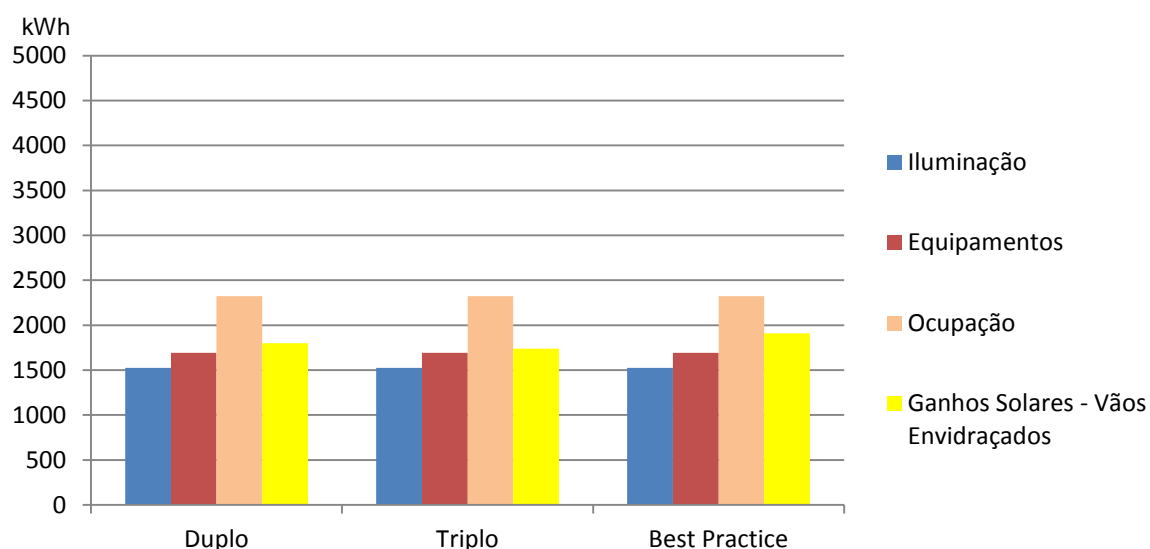


Figura 49 - Gráfico representativo dos ganhos térmicos internos após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados

Comparativamente aos ganhos térmicos internos do edifício no seu estado actual (Figura 46), a aplicação de um novo tipo de vão envidraçado apresenta ganhos térmicos mais controlados, verificando-se uma redução significativa dos ganhos solares.

#### 4.2.4. Combinação de medidas de reabilitação

Após analisadas individualmente cada uma das medidas de reabilitação indicadas neste trabalho, foi realizada a análise de diferentes combinações de medidas, no intuito de avaliar o impacto da sua aplicação simultânea.

Para esta análise foram consideradas as soluções de reabilitação da envolvente opaca que apresentam maior e menor impacto no desempenho energético do



edifício juntamente com a alteração, ou não, dos vãos envidraçados, considerando para estes a solução mais eficiente (“best practice” - ver item 4.2.3.).

Deste modo, esta análise divide-se em oito simulações: quatro simulações correspondentes apenas à combinação da maior e menor espessura de cada medida de reabilitação da envolvente opaca, e quatro simulações correspondentes à combinação de cada uma das anteriores com a alteração dos vãos envidraçados.

A Tabela 21 apresenta a quantificação das diferentes necessidades energéticas do edifício, nomeadamente necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros usos, após intervenção de cada combinação.

Tabela 21 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação (combinações).

Combinação	Necessidades Energéticas			Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
	Nec. Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Outros usos [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	
Envolvente Opaca				
PE04 + CH04	38,52	0,84	27,84	67,21
PE04 + CH14	36,07	0,65	27,84	64,56
PE10 + CH04	36,42	0,81	27,84	65,07
PE10 + CH14	33,83	0,62	27,84	62,29
Envolvente Opaca + Envidraçados				
PE04 + CH04 + ENV	35,57	0,79	27,84	64,20
PE04 + CH14 + ENV	32,99	0,60	27,84	61,43
PE10 + CH04 + ENV	33,40	0,76	27,84	61,99
PE10 + CH14 + ENV	30,67	0,56	27,84	59,08

Na Tabela 22 é apresentada a comparação entre as necessidades energéticas do edifício antes e após a intervenção, referindo a variação da energia total e da energia apenas utilizada para aquecimento e arrefecimento entre as duas situações.

## Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética

Tabela 22 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação (combinações).

Necessidades Energéticas				
Combinação	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação	Total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Variação
Envolvente Opaca				
PE04 + CH04	39,37	-15%	67,21	-9,1%
PE04 + CH14	36,72	-20%	64,56	-12,7%
PE10 + CH04	37,23	-19%	65,07	-12,0%
PE10 + CH14	34,45	-25%	62,29	-15,8%
Envolvente Opaca + Envidraçados				
PE04 + CH04 + ENV	36,36	-21%	64,20	-13,2%
PE04 + CH14 + ENV	33,59	-27%	61,43	-17,0%
PE10 + CH04 + ENV	34,15	-26%	61,99	-16,2%
PE10 + CH14 + ENV	31,24	-32%	59,08	-20,1%

De acordo com os valores da Tabela 22, constata-se que a aplicação de combinações de medidas de reabilitação revela um impacto no desempenho energético do edifício superior ao impacto resultante da aplicação de apenas uma medida de reabilitação, verificando-se no caso das combinações, reduções até cerca de 32% nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, o que se traduz em reduções até cerca de 20% nas necessidades globais do edifício.

A Tabela 23 apresenta o impacto na produção de CO<sub>2</sub> após a intervenção de combinações de medidas de reabilitação no edifício.

Tabela 23 - Quantificação e variação da produção de CO<sub>2</sub> após intervenção de reabilitação (combinações).

Simulação	Produção de CO <sub>2</sub> [kg/ano]	Variação
Envolvente Opaca		
PE04 + CH04	5038,51	-7,0%
PE04 + CH14	4903,31	-9,5%
PE10 + CH04	4933,32	-8,9%
PE10 + CH14	4791,24	-11,6%
Envolvente Opaca + Envidraçados		
PE04 + CH04 + ENV	4889,96	-9,7%
PE04 + CH14 + ENV	4748,89	-12,3%
PE10 + CH04 + ENV	4781,56	-11,7%
PE10 + CH14 + ENV	4633,00	-14,5%

Contudo, apesar da combinação de medidas de reabilitação apresentar resultados benéficos para o desempenho energético do edifício, estas podem não se revelar economicamente justificáveis, pelo que, a fim de otimizar este estudo é necessário realizar uma análise económica das soluções estudadas.

### 4.3. Análise económica

Neste item é apresentada a análise económica das intervenções de reabilitação estudadas para o caso de estudo deste trabalho.

Para esta análise importa, em primeiro lugar, conhecer os custos da aplicação das diferentes medidas de reabilitação e os custos associados ao consumo energético a fim de determinar o custo de investimento e a poupança de energia relativa a cada intervenção.

#### 4.3.1. Custo do investimento

Através de uma prospeção do mercado, foram previstos os custos da implementação das medidas de reabilitação estudadas, nomeadamente a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores (sistema ETICS), aplicação de isolamento térmico na cobertura (lã de rocha) e a substituição de vãos envidraçados, tal como apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Custo de aplicação das medidas de reabilitação

Designação	Custo (€/m <sup>2</sup> )
<b>Fachada - Sistema ETICS</b>	
40 mm	31,04
60 mm	33,42
80 mm	36,50
100 mm	40,35
<b>Cobertura</b>	
40 mm	4,35
80 mm	6,95
100 mm	7,86
140 mm	9,58
<b>Envidraçados</b>	
Duplo: Vidro incolor 6 mm + Ar 6mm + Vidro incolor 6mm	191,43
Triplo: Vidro incolor 3 mm + Ar 6mm + Vidro incolor 3mm + Ar 6mm + Vidro incolor 3mm	216,95
Best Practice: Vidro - PYR B incolor 3 mm + Ar 13mm + Vidro incolor 3mm	204,20

Com base nos valores da Tabela 24, o custo de investimento de cada medida de reabilitação estudada pode ser determinado considerando a área de paredes exteriores, a área da cobertura e a área de vãos envidraçados do edifício, respectivamente 167,94 m<sup>2</sup>, 135,28 m<sup>2</sup> e 13,90 m<sup>2</sup>.

A Tabela 25 apresenta o custo do investimento de cada medida de reabilitação, as necessidades energéticas antes e após a reabilitação e a variação das necessidades energéticas após cada intervenção.

Tabela 25 - Custo do investimento das medidas de reabilitação.

Designação	Nec. Energéticas (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nec. Energéticas (kWh/ano)	Variação	Custo do investimento (€)
Edifício actual	73,97	11475,71	-	-
PE04	69,53	10786,88	-6,0%	5212,86
PE06	68,70	10658,12	-7,1%	5612,55
PE08	68,11	10566,59	-7,9%	6129,81
PE10	67,67	10498,32	-8,5%	6776,38
CH04	71,75	11132,05	-3,0%	588,47
CH08	70,38	10918,18	-4,9%	940,20
CH10	69,96	10854,34	-5,4%	1063,30
CH14	69,38	10763,79	-6,2%	1295,98
Duplo	72,67	11274,02	-1,8%	2660,93
Triplo	71,93	11159,22	-2,8%	3015,62
Best Practice	70,40	10921,86	-4,8%	2838,40

Através da análise da Tabela 25 verifica-se que das três medidas de reabilitação estudadas, a aplicação de isolamento térmico na cobertura é a medida que se revela mais eficiente tendo em conta a relação entre a redução das necessidades energéticas e o custo de investimento. Esta medida, quando aplicada exclusivamente, é capaz de originar reduções das necessidades energéticas muito próximas das reduções resultantes de outras medidas, mas com um custo de investimento muito inferior.

A Tabela 26 apresenta os parâmetros avaliados na Tabela 25 para o caso das combinações de medidas de reabilitação.

Tabela 26 - Custo do investimento das combinações de medidas de reabilitação.

Designação	Energia (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Energia (kWh/ano)	Variação	Custo do investimento (€)
Edifício actual	73,97	11475,71	-	-
<b>Envolvente Opaca</b>				
PE04 + CH04	67,21	10426,26	-9,1%	5801,33
PE04 + CH14	64,56	10015,73	-12,7%	6508,84
PE10 + CH04	65,07	10095,18	-12,0%	7364,85
PE10 + CH14	62,29	9663,13	-15,8%	8072,36
<b>Envolvente Opaca + Envidraçados</b>				
PE04 + CH04 + ENV	64,20	9959,50	-13,2%	8639,73
PE04 + CH14 + ENV	61,43	9530,19	-17,0%	9347,24
PE10 + CH04 + ENV	61,99	9617,86	-16,2%	10203,25
PE10 + CH14 + ENV	59,08	9165,10	-20,1%	10910,76

No caso da combinação de medidas de reabilitação, as soluções que consistem na reabilitação da envolvente opaca em conjunto com a alteração dos vãos envidraçados apresentam maiores reduções das necessidades energéticas do edifício, no entanto revelam um custo de investimento mais elevado. Para compreender a relação entre o custo do investimento e a melhoria do desempenho energético que este proporciona, é necessário analisar a variação das necessidades energéticas em termos económicos, quantificando o custo da energia consumida ao longo do tempo a fim de determinar a poupança energética obtida por cada solução.

#### 4.3.2. Custo da energia ao longo do tempo

Para determinar os custos associados ao consumo energético é necessário conhecer o preço da energia e a previsão da sua evolução. Através da consulta dos preços de referência indexados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), verifica-se que o preço médio de aquisição de energia eléctrica para consumidores domésticos no ano de 2014 é de 0,1512 €/kWh. A evolução do preço da energia eléctrica é estimada admitindo um crescimento médio anual de 2,5%.

A Figura 50 representa uma previsão da evolução do preço de energia eléctrica (€/kWh).

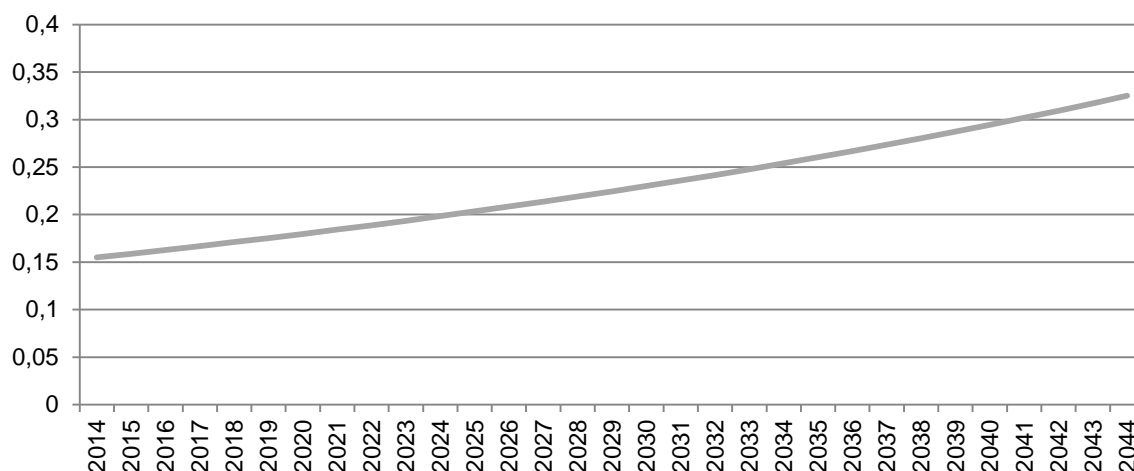


Figura 50 - Previsão da evolução do custo de energia.

Atendendo à previsão da evolução do preço da energia foi determinado o custo associado aos consumos energéticos do edifício ao longo do tempo e a poupança energética de cada medida de reabilitação, admitindo um horizonte temporal de 30 anos para a duração do edifício reabilitado (Tabela 27 e Tabela 28).

As Tabelas 27 e 28 apresentam a poupança expectável em termos económicos da implementação de cada medida e combinação de medidas de reabilitação.

Tabela 27 - Custo do consumo energético ao longo do tempo.

Medidas	Energia (kWh/ano)	Consumo Energético (€/ano)			Poupança Energética (€)
		ano 0	ano 30	Total	
Diagnóstico	11475,71	1735,13	3672,23	81110,32	-
PE04	10786,88	1630,98	3451,80	76241,67	4868,65
PE06	10658,12	1611,51	3410,60	75331,59	5778,73
PE08	10566,59	1597,67	3381,31	74684,66	6425,66
PE10	10498,32	1587,35	3359,46	74202,13	6908,19
CH04	11132,05	1683,17	3562,26	78681,31	2429,01
CH08	10918,18	1650,83	3493,82	77169,68	3940,64
CH10	10854,34	1641,18	3473,39	76718,46	4391,86
CH14	10763,79	1627,48	3444,41	76078,45	5031,87
Duplo	11274,02	1704,63	3607,69	79684,77	1425,55
Triplo	11159,22	1687,27	3570,95	78873,37	2236,95
Best Practice	10921,86	1651,39	3495,00	77195,71	3914,61

Tabela 28 - Custo do consumo energético ao longo do tempo (combinações).

Medidas	Energia (kWh/ano)	Consumo Energético (€/ano)			Poupança Energética (€)
		ano 0	ano 30	Total	
Diagnóstico	11475,71	1735,13	3672,23	81110,32	-
Envolvente Opaca					
PE04 + CH04	10426,26	1576,45	3336,40	73692,79	7417,53
PE04 + CH14	10015,73	1514,38	3205,03	70791,16	10319,16
PE10 + CH04	10095,18	1526,39	3230,46	71352,72	9757,60
PE10 + CH14	9663,13	1461,06	3092,20	68298,99	12811,33
Envolvente Opaca + Envidraçado					
PE04 + CH04 + ENV	9959,50	1505,88	3187,04	70393,73	10716,59
PE04 + CH14 + ENV	9530,19	1440,96	3049,66	67359,37	13750,95
PE10 + CH04 + ENV	9617,86	1454,22	3077,71	67979,02	13131,30
PE10 + CH14 + ENV	9165,10	1385,76	2932,83	64778,91	16331,41

Através dos resultados obtidos da análise do desempenho energético de cada solução (ver item 4.2.), previa-se que a combinação de medidas de reabilitação seria o tipo de solução que apresentaria poupanças energéticas mais elevadas, tendo em conta as reduções das necessidades energéticas verificadas. A partir da análise das Tabelas 28 e 29 é possível confirmar tal previsão, verificando-se poupanças energéticas acima dos 10.000 € para as combinações de medidas de reabilitação. No entanto, tal como apresentado no item 4.3.1., a combinação de medidas de reabilitação é o tipo de solução que apresenta maiores custos de investimento, o que significa que apesar de apresentar poupanças energéticas mais elevadas, este tipo de solução pode não ser necessariamente o mais vantajoso.

A partir dos resultados das poupanças energéticas em valores monetários e o respectivo custo de investimento, é possível obter uma análise de custo/benefício tendo em conta a avaliação do período de retorno do investimento.

#### 4.3.3. Período de retorno do investimento

A análise do período de retorno do investimento consiste em determinar o ponto em que o valor da poupança energética obtida atinge o valor do custo de investimento das medidas de reabilitação.

Assim, a partir dos valores do custo do investimento e da poupança energética determinados nos itens anteriores (ver 4.3.1. e 4.3.2.), foi calculado o período de retorno do investimento de cada medida e combinação de medidas de reabilitação (Tabela 29 e Tabela 30).

Tabela 29 - Retorno do investimento das medidas de reabilitação.

Medidas	Custo do investimento (€)	Poupança Energética (€/30anos)	Retorno do investimento (anos)
PE04	5212,86	4868,65	32
PE06	5612,55	5778,73	29
PE08	6129,81	6425,66	29
PE10	6776,38	6908,19	29
CH04	588,47	2429,01	7
CH08	940,20	3940,64	7
CH10	1063,30	4391,86	7
CH14	1295,98	5031,87	8
Duplo	2660,93	1425,55	56
Triplo	3015,62	2236,95	40
Best Practice	2838,40	3914,61	22

Atendendo à vida útil do edifício após reabilitação, as soluções que apresentem um período de retorno do investimento inferior a 30 anos são consideradas soluções positivas, sendo os seus benefícios superiores aos custos da intervenção.

De acordo com a Tabela 29, a reabilitação do edifício através da aplicação de isolamento térmico na cobertura é a solução que se revela mais vantajosa quando considerada a intervenção através de apenas uma medida de reabilitação. No caso da aplicação do isolamento térmico apenas nas paredes exteriores, o período de retorno do investimento é sensivelmente o mesmo que o horizonte temporal do edifício, pelo que a reabilitação usando apenas esta medida não é vantajosa do ponto de vista económico. Quanto à substituição dos vãos envidraçados, apenas a solução sugerida como a mais adequada pelo *Design Builder* (ver item 4.2.3.) apresenta um período de retorno do investimento aceitável.

A Tabela 30 apresenta o período de retorno do investimento para o caso da combinação de medidas de reabilitação.



Tabela 30 - Retorno do investimento da combinação de medidas de reabilitação.

Medidas	Custo do investimento (€)	Poupança Energética (€/30anos)	Retorno do investimento (anos)
<b>Envolvente Opaca</b>			
PE04 + CH04	5801,33	7417,53	23
PE04 + CH14	6508,84	10319,16	19
PE10 + CH04	7364,85	9757,60	23
PE10 + CH14	8072,36	12811,33	19
<b>Envolvente Opaca + Envidraçado</b>			
PE04 + CH04 + ENV	8639,73	10716,59	24
PE04 + CH14 + ENV	9347,24	13750,95	20
PE10 + CH04 + ENV	10203,25	13131,30	23
PE10 + CH14 + ENV	10910,76	16331,41	20

Tal como se pode constatar pela análise da Tabela 30, todas as combinações de medidas de reabilitação estudadas apresentam um período de retorno do investimento inferior ao horizonte temporal de 30 anos, o que significa que qualquer uma das combinações representa uma proposta de reabilitação favorável no ponto de vista económico, não sendo no entanto muito atractivas. Entre as combinações analisadas, as soluções que apresentam melhores resultados são as que focam a aplicação do isolamento térmico na cobertura.

Contudo, apesar da combinação de reabilitação da envolvente opaca com a alteração dos envidraçados não conduzir à melhor relação custo/benefício, é a solução que apresenta maiores poupanças energéticas.

É importante referir que a escolha do tipo de intervenção a realizar só depende do consumidor, pelo que compete a este decidir, mediante os seus critérios, se opta por uma reabilitação economicamente mais vantajosa ou energeticamente mais eficiente.



## Capítulo 5 | CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

### 5.1. Conclusões

A presente dissertação teve como foco o estudo da reabilitação de edifícios visando a melhoria do seu desempenho energético pela aplicação de várias medidas de reabilitação. Estas medidas foram essencialmente centradas no reforço térmico da envolvente exterior de edifícios.

Como ponto de partida foi realizada uma revisão bibliográfica que permitiu aprofundar o conhecimento acerca da reabilitação energética de edifícios, acerca do estado actual do parque habitacional português e sobre questões que contribuem para melhorar o comportamento energético do mesmo.

A análise do parque habitacional e a caracterização dos edifícios existentes permitiu conhecer as respectivas necessidades habitacionais e energéticas, e entender que o consumo de energia pode, em muitos casos, ser demasiado elevado. Esta análise ajudou a promover a ideia de que a intervenção no campo da reabilitação do edificado pode resultar em melhorias no comportamento térmico e energético dos edifícios de forma a contribuir para a redução dos consumos de energia deste sector.

Para atingir o objectivo de avaliar o impacto de diferentes medidas de reabilitação na eficiência energética de um edifício foi usado como caso de estudo um edifício de habitação unifamiliar construído na década de 60, seleccionado por apresentar um possível potencial para reabilitação. A metodologia utilizada baseou-se em simulação dinâmica através do programa *Design Builder*, onde foi concebido o modelo do edifício, realizadas as alterações convenientes mediante os requisitos das medidas de reabilitação e executadas as respectivas simulações obtendo o diagnóstico energético do edifício antes e após intervenção. Para esta análise foram considerados três tipos de medidas de reabilitação, nomeadamente a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores, a aplicação de isolamento térmico na cobertura e a alteração de vãos envidraçados, estabelecendo para cada medida diferentes espessuras e/ou tipos de material.

De notar que o diagnóstico energético actual do edifício mostra que as suas necessidades energéticas são relativamente elevadas, com um valor de cerca de 74 kWh/m<sup>2</sup>.ano, correspondendo cerca de 63% a necessidades de aquecimento e arrefecimento e os restantes 37% a outros usos, como o caso da iluminação. Verifica-se ainda que a sua produção de CO<sub>2</sub> é de 5417,04 kg/ano.

A partir dos resultados obtidos de cada simulação concluiu-se o seguinte:

- A reabilitação da envolvente opaca exterior através da aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores conduz a uma maior redução das necessidades energéticas do que a aplicação de isolamento térmico na cobertura. Daqui pode concluir-se que a relação entre superfície reabilitada e superfície total da envolvente influencia o consumo energético;
- Em relação à produção de CO<sub>2</sub>, ambas as medidas de intervenção na envolvente opaca exterior apresentam reduções semelhantes;
- A reabilitação baseada apenas na alteração dos vãos envidraçados não produz reduções significativas no consumo energético. No entanto, optar por envidraçados duplos ou triplos pode revelar-se mais eficaz quando considerada uma maior espessura do espaço de ar entre os vidros;
- A combinação de medidas de reabilitação é energeticamente mais eficaz quando aplicadas simultaneamente as medidas de intervenção na envolvente opaca exterior e a alteração dos vãos envidraçados. Contudo, no caso de se optar pela intervenção apenas a nível da envolvente opaca exterior, a redução do consumo energético é tanto maior quanto maior for a espessura de isolamento aplicado, no entanto o aumento da espessura do isolamento na cobertura tem maior influência do que o aumento da espessura do isolamento nas paredes exteriores. O mesmo se verifica para a redução da produção de CO<sub>2</sub>.

Foi ainda realizada uma análise económica atendendo ao custo do investimento e à poupança energética que cada medida de reabilitação proporciona, a qual permitiu obter a relação custo/benefício de cada intervenção. Desta análise foram obtidas as seguintes conclusões:

- O custo do investimento da aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores é muito superior ao custo do investimento das restantes medidas de reabilitação;
- A reabilitação baseada na aplicação de isolamento térmico na cobertura é a medida de intervenção que apresenta menores custos de investimento e melhor relação custo/benefício. Qualquer uma das restantes medidas, quando aplicadas exclusivamente, não apresentam resultados vantajosos em termos económicos;
- Tendo em conta o custo da aplicação do isolamento nas paredes exteriores e na cobertura, a combinação de medidas de reabilitação da envolvente opaca exterior é economicamente mais vantajosa se se optar por aumentar a espessura do isolamento na cobertura, do que aumentar a espessura do isolamento nas paredes exteriores;
- A combinação de todas as medidas de reabilitação é a intervenção que apresenta a relação custo/benefício menos vantajosa, no entanto, apesar de ter custos de investimento mais elevados, é a solução que mais contribui para a redução dos consumos energéticos.

De notar que o caso prático deste trabalho foi realizado com utilizando o programa de simulação dinâmica *Design Builder*, e que todos os resultados apresentados correspondem a um determinado edifício. Desta forma, estes dados não devem ser considerados como uma generalidade, sendo que cada caso é um caso e a reabilitação de edifícios deve ser estudada rigorosamente para cada um deles. Contudo conclui-se que o parque habitacional poderá ter um grande potencial de poupança energética, podendo contribuir significativamente para o alcance dos objectivos definidos pela União Europeia a fim de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

## 5.2. Proposta de trabalhos futuros

Pretende-se com este item apresentar propostas de trabalhos futuros que visam o aperfeiçoamento e a continuidade deste trabalho. No âmbito do estudo da reabilitação energética de edifícios, seria apropriado considerar:

- O estudo de um maior número de casos práticos, de modo a permitir compreender onde incidem as melhores soluções de reabilitação tendo em conta diferentes características e tipologias dos edifícios;
- Fazer a comparação entre diferentes casos de estudo;
- A implementação de outras medidas de reabilitação, nomeadamente a aplicação de colectores solares;
- Apresentar mais propostas considerando diferentes perspectivas.

## Referências Bibliográficas

1. **Brundtland.** *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development.* 1987.
2. **AEA.** Agência Europeia do Ambiente. *Quem somos, o que fazemos e como.* 24 de 11 de 2009.
3. **Comissão Europeia.** Compreender as políticas da União Europeia: Ambiente. Janeiro de 2013.
4. **Barroso, José Manuel Durão.** Conselho Europeu informal. *Europa 2020: Estratégia para um crescimento e emprego sustentáveis.* 11 de fevereiro de 2010.
5. **Comissão Europeia.** Europa 2020. *Objectivos de estratégia Europa 2020.*
6. **APA, Agência Portuguesa do Ambiente.** Alterações Climáticas. [Online] 2014. <http://www.apambiente.pt/>.
7. **United Nations.** Doha Amendment to the Kyoto Protocol. *Adoption of Amendment to the Protocol.* 21 de dezembro de 2012.
8. **UNFCCC.** United Nations Framework Convention on Climate Change. [Online] 2014. [http://unfccc.int/essential\\_background/items/6031.php](http://unfccc.int/essential_background/items/6031.php).
9. **APA, Agência Portuguesa do Ambiente.** Relatório do Estado do Ambiente 2013. outubro de 2013.
10. **Sánchez, Franciso de La Fuente.** Manual de boas práticas de eficiência energética. *Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas.* novembro de 2005.
11. **Presidência do Conselho de Ministros.** *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013.* Lisboa : Diário da República, 1ª série - N.º 70, 10 de abril de 2013.
12. **Cabral, Pedro.** Associação Portuguesa do Ambiente "Debates ao fim da tarde". *O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020: Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis.* Lisboa : DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2 de maio de 2013.

13. **ADENE**. EPBD (recast) e as implicações para Portugal. Lisboa : ADENE - Agência para a Energia, 26 de junho de 2012.
14. —. Política Energética. *ADENE - Agência para a Energia*. [Online] 2014. <http://www.adene.pt/politica-energetica>.
15. **Almeida, Manuela**. Reabilitação Energética de Edifícios: Perspectiva da Engenharia Civil. Lisboa : s.n., 25 de outubro de 2012.
16. **Presidência do Conselho de Ministros**. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 67/2012*. Lisboa : Diário da República, 1ª série - N.º 154, agosto de 2012.
17. **ADENE**. Planos e Programas. *ADENE - Agência para a Energia*. [Online] 2014. <http://www.adene.pt/planos-e-programas>.
18. **BCSD Portugal**. Manual de Boas Práticas para a Eficiência Energética. *Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas*. novembro de 2005.
19. **DGEG**. Etiquetagem Energética. *Direção Geral de Energia e Geologia*. [Online] 2014. <http://www.dgeg.pt/>.
20. **INE, I.P.** Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001-2011. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.
21. —. Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.
22. —. O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.
23. **DGEG**. *Direção Geral de Energia e Geologia*. [Online] 2014. <http://www.dgeg.pt/>.
24. **Pedro, João Branco**. Habitação em Portugal: evolução e tendências. Lisboa : LNEC, 12 de novembro de 2013.
25. **Madeira, Cátia Alexandra Costa Luis**. A Reabilitação Habitacional em Portugal - Avaliação dos Programas RECRIA, REHABITA, RECRIPH e SOLARH. Lisboa : Universidade Técnica de Lisboa, maio de 2009. Dissertação de Mestrado.
26. **DGEG / IP3E**. Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Lisboa : Direção Geral de Energia e Geologia, novembro de 2004.



27. **Jardim, Fátima Maria Gomes.** Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação. s.l. : Universidade do Minho, 2009.
28. **Martins, Ana Maria Carvalho.** Reabilitação Térmica e Energética de Vãos Envidraçados. s.l. : FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, novembro de 2009.
29. **INE, I.P.** Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.
30. —. Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001-2011. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.
31. —. O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.
32. **Presidência do Conselho de Ministros.** *Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013.* Lisboa : Diário da República, 1ª série - Nº70, 10 de abril de 2013.

