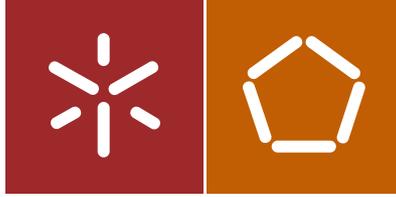




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vânia Daniela da Silva Ferreira

Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência
Energética e a Qualidade do Ambiente Interior



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vânia Daniela da Silva Ferreira

Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência
Energética e a Qualidade do Ambiente Interior

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

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

Agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem o contributo e incentivo de várias pessoas às quais quero expressar os meus agradecimentos:

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais por toda a paciência e pelo apoio incondicional que me deram nesta etapa e durante toda a minha vida, pela força, pela compreensão e tolerância que me concederam em todas as minhas decisões.

Aos meus irmãos, Carla e Luís, pelo carinho e pela amizade que me dão todos os dias e por também sempre me apoiarem. Ao meu irmão de coração Jorge por toda a amizade e por tudo que fez por mim.

À minha pequena princesa Iara, por ser a alegria dos meus dias, pelas boas distrações que ela me provocava enquanto trabalhava e pelo belo sorriso contagiante dela.

Ao meu Fábio, por ser o meu melhor amigo, pelo respeito e pela paciência que tem comigo, por sempre me incentivar a nunca desistir e por ser o meu apoio.

À minha amiga Isabel, que sempre me ajudou no meu percurso universitário e na minha vida, pelas nossas aventuras e conversas.

Agradeço à professora Sandra Silva pela orientação, ajuda e disponibilidade que sempre me demonstrou no desenvolvimento deste trabalho.

E por fim, um agradecimento geral a todos os meus familiares, amigos e professores, que, direta ou indiretamente, me apoiaram e acreditaram em mim, o meu mais sincero obrigado!

Resumo

A reabilitação é a chave para recuperar o setor da construção permitindo a otimização do desempenho energético de um edifício de modo a minimizar os consumos de energia do edifício e ao mesmo tempo ir de encontro às necessidades e expectativas dos ocupantes.

Ao longo dos anos as preocupações ambientais começaram a ganhar cada vez mais importância. A sustentabilidade dos edifícios é hoje um vetor de progresso e mitigar o impacto da construção, dos materiais e dos equipamentos e sistemas em funcionamento com o foco no aproveitamento dos recursos e poupanças energéticas é um desafio que várias organizações internacionais procuram resolver.

De modo a atingir as metas definidas pela União Europeia, ou seja, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20%, obter 20% da energia a partir de fontes renováveis e aumentar em 20% a eficiência energética, surgiu a necessidade de melhorar as características dos edifícios, através de soluções mais eficientes que acrescentem valor aos edifícios, melhorem o seu conforto térmico e desempenho energético.

Assim, o estudo de medidas de eficiência energética para a reabilitação de edifícios, foi efetuada com o intuito de perceber e avaliar de que forma estas medidas contribuem para a melhoria da qualidade do ambiente interior, além da redução dos consumos energético. Com base num caso de estudo, um edifício de habitação unifamiliar com dois pisos construído em 2001, foi analisado o desempenho energético bem como a qualidade do ar interior antes e após a aplicação de diferentes medidas de reabilitação. Foi também realizada a análise económica a fim de compreender a relação custo/benefício da aplicação das diferentes medidas de reabilitação estudadas.

Através dos resultados obtidos neste estudo foi possível concluir que através da aplicação de várias medidas de reabilitação é possível tornar um edifício energeticamente mais eficiente, reduzindo as suas necessidades energéticas e melhorando a qualidade de vida dos ocupantes.

Palavras-chave: Reabilitação, Eficiência Energética, Qualidade do Ambiente Interior, Simulação Dinâmica, Sustentabilidade

Abstract

Rehabilitation is the key to recover the construction sector allowing the optimization of the energy performance of a building in order to minimize the building's energy consumption and at the same time meet the needs and expectations of occupants.

Over the years, environmental concerns have become increasingly important. The sustainability of buildings is now a vector of progress and mitigating the impact of construction, materials and equipment and systems in operation with a focus on resource use and energy savings is a challenge that several international organizations seek to address.

In order to achieve the targets defined by the European Union, i.e. to reduce greenhouse gas emissions by 20%, to achieve 20% of energy from renewable sources and to increase energy efficiency by 20%, the need arose for Improve building characteristics through more efficient solutions that add value to buildings, improve thermal comfort and energy performance.

Thus, the study of energy efficiency measures for the rehabilitation of buildings, in order to perceive and evaluate how these measures contribute to the improvement of the quality of the interior environment, in addition to the reduction of energy consumption. Based on a case study, a single-family housing building with two floors built in 2001, the energy performance as well as the indoor air quality were analyzed before and after the application of different rehabilitation measures. The economic analysis was also carried out in order to understand the cost / benefit ratio of the different rehabilitation measures studied.

The results obtained in this study it was concluded that by implementing various rehabilitation measures can become a more energy efficient building, reducing their energy needs and improving the quality of life of the occupants.

Keywords: Rehabilitation, Energy Efficiency, Indoor Air Quality, Dynamic Simulation, Sustainability

Índice

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura da dissertação	4
CAPÍTULO 2 ESTADO DA ARTE	7
2.1 Reabilitação	7
2.2 Parque Habitacional Português	11
2.3 Consumos energéticos dos edifícios em Portugal	13
2.4 Porquê reabilitar?	17
2.5 Condições climáticas em Portugal	18
2.6 Qualidade do ambiente interior em Portugal	19
2.6.1 Qualidade do ar interior (QAI)	21
2.6.2 Conforto térmico	29
2.6.3 Conforto acústico	31
2.7 Principais patologias dos edifícios	32
2.8 Principais patologias não estruturais em edifícios	33
2.8.1 Humidade	34
2.8.2 Fissuras	37
2.9 Medidas de Reabilitação energética e qualidade do ambiente interior	37
2.9.1 Reforço do isolamento térmico – Paredes Exteriores	39
2.9.2 Coberturas	45
2.9.3 Vãos envidraçados	48
2.9.4 Sistema de sombreamento	51
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	53
3.1 Introdução	53

3.2	Descrição do caso de estudo	53
3.2.1	Características construtivas	56
3.2.2	Sistema de climatização.....	60
3.3	Programas de simulação de previsão do desempenho do edifício.....	61
3.3.1	Software de simulação dinâmica – Energy Plus e DesignBuilder.....	61
3.3.2	Software de simulação – Acoubat Sound	81
3.4	Simulação da qualidade do ar interior	82
CAPÍTULO 4 Caracterização do desempenho do edifício		89
4.1	Diagnóstico Energético	89
4.1.1	Necessidades energéticas.....	89
4.1.2	Ganhos térmicos internos	90
4.1.3	Produção de CO ₂	91
4.2	Avaliação do desempenho do edifício para as novas medidas de Reabilitação Energética.....	91
4.2.1	Isolamento térmico nas paredes exteriores.....	91
4.2.2	Isolamento térmico na cobertura	94
4.2.3	Vãos envidraçados.....	97
4.2.4	Combinação de medidas de reabilitação	101
4.3	Análise económica.....	104
4.3.1	Custo de investimento	104
4.3.2	Custo da energia ao longo do tempo	106
4.3.3	Período de retorno do investimento.....	108
4.4	Avaliação do comportamento acústico	111
4.4.1	Simulação do desempenho do edifício na situação atual	111
4.4.2	Simulação do desempenho do edifício para as novas medidas de reabilitação.....	113
4.5	Avaliação da Qualidade do ar interior	115

4.5.1	Simulação do desempenho do edifício na situação atual	115
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .		117
5.1	Conclusões	117
5.2	Propostas futuras	120
Referências Bibliográficas.....		121

Índice de Figuras

Figura 1 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia	8
Figura 2 - Produtividade - Valor do investimento na realização das obras	8
Figura 3 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação	9
Figura 4 - Evolução dos edifícios e fogos licenciados, em obras de reabilitação (%), 2001-2011	10
Figura 5 - Número de alojamentos concluídos em obras de construção nova e reabilitação (1991-2011).....	10
Figura 6 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício...	11
Figura 7 - Número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos	12
Figura 8 - Número de edifícios por número de pisos	13
Figura 9 - Consumo final de energia (2013).....	14
Figura 10 - Energia primária 2013	15
Figura 11 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte - Portugal (2010)	16
Figura 12 - Evolução do consumo de energia nos alojamentos por tipo de fonte de energia - Portugal, 1989, 1996 e 2010	16
Figura 13 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização - Portugal (2010)	17
Figura 14 - Portugal Continental. Zonas climáticas de Inverno.	19
Figura 15 - Portugal Continental. Zonas climáticas de Verão	19
Figura 16 - Aspectos relacionados com a Qualidade do Ambiente Interior	21
Figura 17 – Fatores que influenciam a produtividade dos ocupantes.....	22
Figura 18 - Formas de ventilação: ventilação unilateral; Ventilação cruzada; Ventilação por efeito chaminé	27
Figura 19 - Insuflação mecânica.....	27

Figura 20 - Extração mecânica	28
Figura 21 - Sistema balanceado com recuperação de calor	28
Figura 22 – Estratégias de ventilação	29
Figura 23 - Origem das falhas nas edificações	33
Figura 24 - Exemplo de onde se verificam as maiores perdas energéticas de um edifício	38
Figura 25 - Esquema de revestimento independente com interposição de isolamento térmico na caixa-de-ar	41
Figura 26 - Sistema de isolamento térmico com revestimento espesso	42
Figura 27 - Sistema de isolamento térmico com revestimento delgado	42
Figura 28 - Esquema pré-fabricado fixado diretamente no suporte	43
Figura 29 - Solução de reboco isolante	43
Figura 30 - Solução de contra-fachada interior em alvenaria (esquerda). Solução de contra fachada interior em gesso cartonado (direita).....	44
Figura 31 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico da esteira horizontal de um desvão não habitável.....	46
Figura 32 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico das vertentes de um desvão habitável	47
Figura 33 - Reforço do isolamento térmico inferior (esquerda). Reforço do isolamento térmico superior (direita)	48
Figura 62 - Localização do edifício em estudo	54
Figura 63 - Planta do 1º piso do edifício (à esquerda) e do rés-do-chão (à direita) do edifício em estudo.....	55
Figura 64 - Planta da cobertura do edifício em estudo	55
Figura 65 - Pormenor e características das paredes exteriores do Piso rés-do-chão	56
Figura 66 - Pormenor e características das paredes exteriores do Piso 1	57
Figura 67 - Pormenor e características do pavimento térreo	57
Figura 68 - Pormenor e características do pavimento interior.....	58

Figura 69 - Pormenor e características da cobertura	59
Figura 70 - Pormenor e características dos vãos envidraçados	59
Figura 71 – Caldeira a gás	60
Figura 72 - Radiador de aquecimento colocado na sala de estar.....	60
Figura 34 - Janela do novo projeto	62
Figura 35 - Representação da geometria do modelo concluído.....	63
Figura 36 - Vista interior da representação geométrica do modelo concluído.....	63
Figura 37 - Janela de seleção do tipo de atividade para determinada zona.....	65
Figura 38 - Plantas do edifício em estudo com as zonas identificadas.....	65
Figura 39 - Janela de caracterização construtiva para os elementos da envolvente opaca	66
Figura 40 - Janela de edição da caracterização construtiva para um dos elementos da envolvente opaca – parede exterior	67
Figura 41 - Janela referente às propriedades de um determinado elemento construtivo	67
Figura 42 - Representação esquemática da constituição parede exterior, apresentada pelo DesignBuilder	68
Figura 43 - Janela referente à seleção dos tipos de vãos envidraçados	69
Figura 44 - Separador de definição das características do envidraçado	69
Figura 45 - Separador indicativo das propriedades referentes ao envidraçado	70
Figura 46 - Janela de seleção do modo de iluminação de uma determinada zona	71
Figura 47 - Janela de seleção de sistemas AVAC	72
Figura 48- Modelo de simulação AVAC.....	73
Figura 49 - Circuito do sistema solar	74
Figura 50 - Escolha do coletor solar.....	75
Figura 51 - Definição do depósito acumulador do circuito do sistema solar	76
Figura 52 - Circuito de água quente	76

Figura 53 - Definição da caldeira de apoio.....	77
Figura 54 - Circuito de aquecimento	78
Figura 55 - Definição do depósito acumulador do circuito de aquecimento.....	79
Figura 56 - Modelo definido para a preparação de AQS e Aquecimento Ambiente.....	80
Figura 57 - Período de tempo pretendido para a simulação	81
Figura 58 - Exemplo de ficheiro do <i>Acoubat Sound</i> com geometria e valores de isolamento sonoro.....	82
Figura 59 – Perceção da qualidade do ar	83
Figura 60 - Percentagem previsível de ocupantes insatisfeitos em função da concentração de CO ₂	84
Figura 61 - Relação entre a perceção de ar interior e a percentagem de pessoas descontentes.....	85
Figura 75- Ganhos térmicos	90
Figura 76 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 1 com reforço de isolamento térmico (sistema ETICS).....	92
Figura 77 - Pormenor e características da cobertura após intervenção de reabilitação..	95
Figura 78 - Ganhos térmicos internos após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados [kWh].....	100
Figura 79 - Previsão da evolução do custo de energia	107
Figura 80 - Geometria dos compartimentos para avaliação do comportamento acústico	111
Figura 81 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,W}$) do quarto	112
Figura 82 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,W}$) da sala....	112
Figura 83 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,W}$) do quarto após reabilitação	113
Figura 84 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,W}$) da sala após reabilitação.....	114

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Grau de importância de alguns poluentes nos diferentes compartimentos ..	23
Tabela 2 - Escala de sensações térmicas	30
Tabela 3 - Gama de níveis de pressão sonora	32
Tabela 4 - Percentagem de necessidade de reparação	33
Tabela 5 - Quadro: Reabilitação térmica dos vãos envidraçados - medidas e objetivos	50
Tabela 6 - Características do coletor solar.....	75
Tabela 7 - Características da caldeira adotada.....	78
Tabela 8 - Níveis de Qualidade do Ar	84
Tabela 9 - Emissão olfativa de alguns elementos	85
Tabela 10 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes	86
Tabela 11 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício	86
Tabela 12 – Diagnóstico energético global	89
Tabela 13 – Necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros usos de energia	90
Tabela 14 - Designação e características das diferentes simulações para reforço do isolamento térmico das paredes exteriores	92
Tabela 15 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores.....	93
Tabela 16 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores	93
Tabela 17 - Quantificação e variação da produção de CO2 após intervenção de reabilitação das paredes exteriores	94
Tabela 18 - Designação e características das diferentes simulações para reforço do isolamento térmico das paredes exteriores	95
Tabela 19 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura	96

Tabela 20 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura.....	96
Tabela 21 - Quantificação e variação da produção de CO ₂ após intervenção de reabilitação da cobertura.....	97
Tabela 22 - Tipo e características dos vãos envidraçados selecionados para análise.....	98
Tabela 23 - Tipo e características do vão envidraçado sugerido pelo <i>software Design Builder</i>	98
Tabela 24 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados	99
Tabela 25 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores	99
Tabela 26 - Quantificação e variação da produção de CO ₂ após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.....	100
Tabela 27 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação (combinações).....	102
Tabela 28 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores	102
Tabela 29 - Quantificação e variação da produção de CO ₂ após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados.....	103
Tabela 30 - Custo dos materiais de isolamento utilizados nas medidas de reabilitação	104
Tabela 31 - Custo do investimento das medidas de reabilitação.....	105
Tabela 32 - Custo do investimento das combinações de medidas de reabilitação	106
Tabela 33 - Custo do consumo energético ao longo do tempo.....	107
Tabela 34 - Custo do consumo energético ao longo do tempo (combinações)	108
Tabela 35 - Retorno do investimento das medidas de reabilitação	109
Tabela 36 - Retorno do investimento da combinação de medidas de reabilitação	110
Tabela 37 - Valor da carga sensorial	115

Índice de Símbolos e Abreviaturas

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CHOH - formaldeído

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

EPBD – Diretiva Europeia para o Desempenho Energético de Edifícios (do inglês *Energy Performance of Buildings Directive*)

EPBD-recast

EPS – Poliestireno expandido

FLD – Fator de Luz do Dia

GEE - Gases com efeito estufa

ICB – Cortiça

INE – Instituto Nacional de Estatística

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

LA_{eq} – Nível contínuo equivalente

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

O₃ – Ozono

OMS – Organização Mundial de Saúde

PMV – Voto Médio Previsível

PPD – Percentagem de Pessoas Descontentes

PPM – Percentagem Previsível de Insatisfeito

PUR – Poliuretano

PVC – Policloreto de vinil

QAI – Qualidade do Ambiente Interior

R- Resistência térmica

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento dos Edifícios de Habitação

RGR – Regulamento Geral do Ruído

Rn – Radão

RRAE - Regulamentação dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos para Climatização em Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética de Edifícios

U – Coeficiente de transmissão térmica

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno extrudado

CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Em Portugal, cerca de 81% do parque habitacional edificado foi construído antes de 1990 [1], ou seja, antes da publicação da primeira regulamentação térmica em Portugal [2]. Assim, a maioria dos edifícios apresentam uma deficiente qualidade térmica e energética, não possuindo, na sua maioria, sistemas de climatização, não apresentando na sua maioria condições de conforto. Para além destas consequências, a elevada dependência energética de Portugal, o constante aumento dos preços dos recursos energéticos e o impacto que esta produção de energia tem para o ambiente tornam a situação insustentável.

O setor dos edifícios é assim um dos setores de intervenção prioritária, uma vez que estes são responsáveis pelo consumo de, aproximadamente 40% da energia final na Europa, no entanto mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, traduzindo-se ainda numa redução anual de mais 400 milhões de toneladas de Dióxido de Carbono (CO₂) [3].

De modo a ser possível atingir esta redução significativa do consumo de energia e, consequentemente, das emissões de gases com efeito estufa (GEE), a Europa tem promovido várias medidas com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios. Assim, em 2002, surgiu a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético de edifícios (EPBD), com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica. Para isso foram estabelecidos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e edifícios sujeitos a grandes obras de renovação, bem como a certificação energética dos edifícios e no cálculo do desempenho energético dos mesmos [4].

A necessidade da União Europeia (UE) acelerar o processo de redução da emissão dos GEE e do consumo energético levou que em 2010 surgisse a reformulação da EPBD de 2002. Assim, a EPBD-recast, Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do

Conselho, de 19 de Maio de 2010 [5], veio reformular a Diretiva 2002/91/CE, reforçando os requisitos de desempenho energético dos edifícios, através da melhoria da sua eficiência energética do com o aumento do uso de energia renováveis.

O objetivo europeu “UE 20-20-20” que consiste na redução em 20% nas emissões de GEE, no aumento em 20% de energia proveniente de fontes renováveis e no aumento em 20% da eficiência energética até 2020; planos de incentivo para recuperação do parque edificado existente e para construção de novos “edifícios energia quase zero”; e o reforço do papel do Certificado Energético como elemento obrigatório na promoção imobiliária e decisória na escolha são os desafios da nova EPBD [5].

Com a implementação desta nova Diretiva, até ao final de 2018, todos os edifícios públicos novos da UE terão que ser edifícios de balanço energético quase nulo (nZEB, acrónimo do inglês “nearly zero-energy building”), e até 2020 todos os edifícios novos terão que atingir também esse desempenho, ou seja, edifícios com elevado desempenho energético cuja baixa energia consumida será proveniente de fontes de energia renovável, produzida no local ou imediações, que compense o seu consumo energético [5].

Estas metas foram reforçadas no início de 2014, com a Comissão Europeia a propor um novo objetivo na redução das emissões internas de GEE de 40% relativamente a 1990 e um aumento de 27% na utilização de energia renováveis até 2030 [6].

Com estas novas exigências, torna-se maior a qualidade dos novos edifícios, conseguida principalmente através do uso de janelas mais eficientes, isolamento térmico e de melhores técnicas de conservação de energia, resultando em edifícios com cada vez mais preparados a nível de arrefecimento e aquecimento comparativamente com as necessidades dos edifícios existentes.

Quanto à reabilitação do parque habitacional existente, esta é uma das principais formas de aumentar as condições de conforto, a qualidade do ar interior, de melhorar a eficiência energética e de atingir os objetivos da EPBD-recast.

Caso a atuação, para cumprir as metas da EPBD-recast, se focar apenas na construção nova que tem vindo a diminuir, o período para atingir os objetivos propostos será

demasiado longo, sendo assim necessário atuar nos edifícios existentes já que são os que apresentam pior desempenho térmico.

Com a reabilitação das patologias existentes haverá um aumento da eficiência energética bem como da qualidade do ambiente interior do parque habitacional. Este é um aspeto essencial para os tempos atuais permitindo que a população se encontre em conforto nas suas habitações.

1.2 Objetivos

A reabilitação energética tem como objetivo reduzir os consumos energéticos dos edifícios através da substituição de envidraçados, do reforço do isolamento térmico, da redução das infiltrações de ar, da substituição de caixilharias, da instalação de sistemas solares térmicos, entre outras. No entanto estas medidas podem ter efeitos nefastos ao nível da Qualidade do Ambiente Interior, nomeadamente a redução das infiltrações de ar na qualidade do ar interior. Assim, para a definição do projeto de reabilitação de edifícios é necessário analisar o efeito das propostas de reabilitação na Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios após a reabilitação e definir medidas complementares que assegurem o seu correto desempenho.

O principal objetivo deste trabalho é definir cenários de reabilitação energética, analisar os níveis de conforto acústico, térmico e qualidade do ar interior e avaliar os consumos energéticos dos edifícios antes e após a implementação das medidas de reabilitação de modo a identificar e selecionar as propostas mais adequadas para os projetos de reabilitação energética dos edifícios que darão origem a uma boa qualidade do ambiente interior com reduzidos consumos energéticos.

Deste modo, foi selecionado um caso de estudo, um edifício representativo do parque habitacional português, uma habitação unifamiliar localizada na periferia da cidade de Guimarães e, através de análises visuais efetuadas *in situ*, e inquéritos feitos aos habitantes do edifício, foi efetuada a caracterização do edifício em causa, identificando as suas patologias/deficiências.

Com isto pretender identificar as condições existentes no edifício para posteriormente definir as soluções de reabilitação. O desempenho energético, térmico, acústico e a qualidade do ar interior (QAI) foram previstos antes e após a implementação das medidas de reabilitação.

Pretende-se assim avaliar as possíveis medidas de reabilitação e a possibilidade da sua aplicação nos edifícios habitacionais em Portugal visando a obtenção de um ambiente confortável em termos térmicos, acústicos, com boa qualidade do ar e com reduzidos consumos energéticos.

Este trabalho tem alto valor científico e muita aplicabilidade prática já que atualmente o mercado da construção está estagnado e o mercado da reabilitação está em crescimento. É essencial para Portugal atingir as metas definidas na EPBD-recast, de forma a assegurar a qualidade do ambiente interior, o conforto essencial para a saúde, bem-estar dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação é composta por 5 capítulos. De uma forma global, é possível realçar as seguintes etapas previstas para o desenvolvimento do trabalho:

O capítulo 1 apresenta o enquadramento do tema em estudo, sendo apresentados os objetivos do trabalho e a estrutura do documento.

O capítulo dois é constituído pelo estado da arte, no qual se efetuou o enquadramento ao tema em estudo, abordando as características do parque habitacional português e as principais patologias existentes nos edifícios.

O terceiro capítulo é composto pela descrição do edifício em estudo, pelas metodologias necessárias para efetuar as simulações ao edifício e respetiva descrição dos *softwares* utilizados para prever o desempenho do edifício.

O quarto capítulo apresenta o diagnóstico energético do edifício, bem como, a simulação do edifício antes e após a aplicação das medidas de intervenção e respetiva análise económica.

No capítulo 5 são apresentadas e discutidas as conclusões do trabalho efetuado e ainda apresentadas perspectiva futuras que possam desenvolver e complementar a dissertação.

CAPÍTULO 2 | ESTADO DA ARTE

2.1 Reabilitação

Ao longo dos tempos surgiu a necessidade de preservar alguns edifícios, tanto pela necessidade de continuar a utilizá-los, bem como, pelas importantes funções religiosas, políticas ou de defesa militar que lhes eram atribuídos [7].

A nível mundial, Leon Battista Alberti (1404 – 1472) foi o primeiro impulsionador da área da reabilitação, esboçando as primeiras ideias de intervenção em edifícios existentes, com o intuito de preservar os edifícios clássicos [7]. No caso de Portugal, é a partir do Renascimento que surge de forma consistente a vontade de conservar, e até estudar, testemunhos do passado [7].

A reabilitação de edifícios, segundo o Regime Jurídico da Reabilitação Urbana, aprovado pelo Decreto Lei nº307/2009, de 23 de outubro e alterado pela Lei n.º 32/2012, de 14 de agosto, é definido como «[...] a forma de *intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva a um ou a vários edifícios, às construções funcionalmente adjacentes incorporadas no seu logradouro, bem como às fracções eventualmente integradas nesse edifício, ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais, determinadas em função das opções de reabilitação urbana prosseguidas, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados, podendo compreender uma ou mais operações urbanística*».

Atualmente, a reabilitação tem-se sobreposto à construção de novos edifícios, sendo objetivo consensual na União Europeia apostar na revitalização dos espaços construídos, em detrimento da construção nova e da expansão da urbanização sobre os territórios rurais [8].

Portugal, com 26,1% (Figura 1), continua a apresentar valores de produtividade do segmento da reabilitação de edifícios inferiores à média europeia (34,9%) [8].

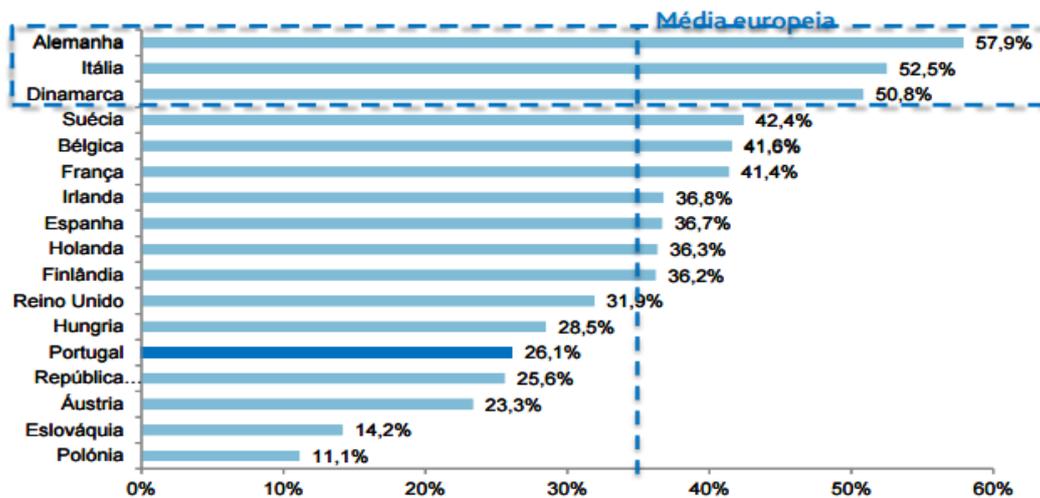


Figura 1 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia (Fonte: [8])

No segmento da reabilitação de edifícios, este representa cerca de 26% da produtividade do setor da construção em Portugal, no ano de 2011 (Figura 2) [8].

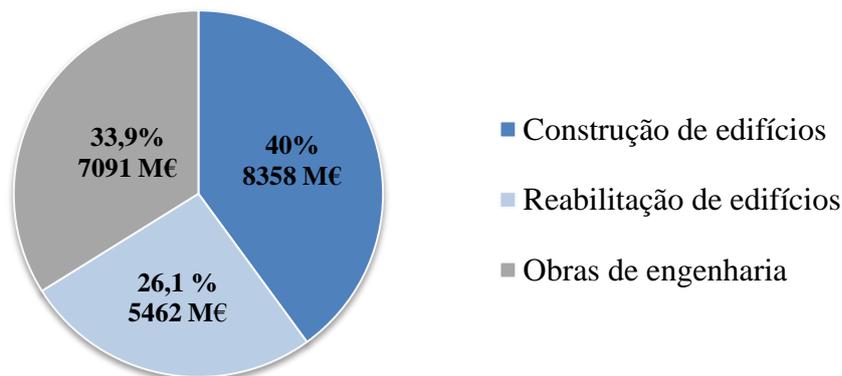


Figura 2 - Produtividade - Valor do investimento na realização das obras [8]

Em Portugal, parte do parque habitacional, apresenta um estado de conservação que impõe a realização de intervenções de reabilitação, sendo o setor que se tem vindo a afirmar com maior potencial de evolução, enquanto se observa um decréscimo da construção da habitação nova [9]. Conforme os resultados definitivos dos Censos 2011, existe cerca de um milhão de edifícios (29% do parque habitacional) a necessitar de intervenção (Figura 3) [9].

Edifícios clássicos (3 544 389)



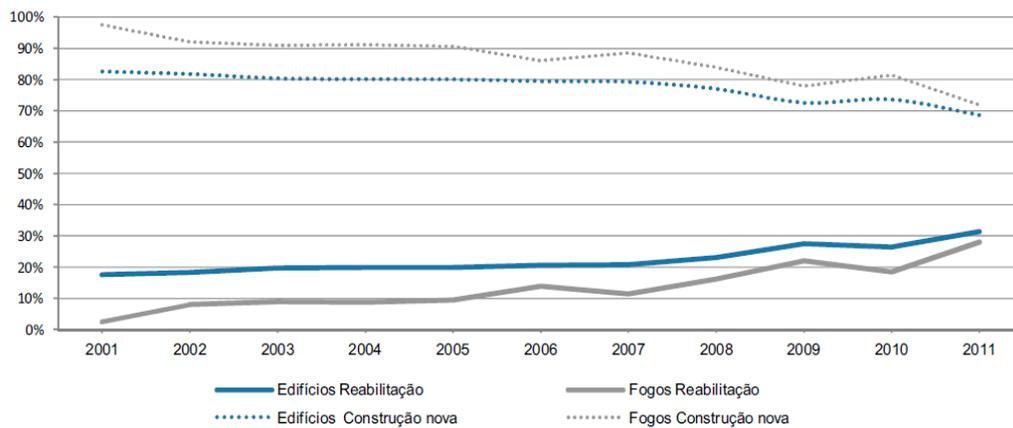
Figura 3 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação [9]

Segundo os Censos 2001 e 2011, o estado de conservação do parque habitacional foi avaliado tendo por base a identificação de eventuais necessidades de reparações ao nível da estrutura, da cobertura, das paredes e da caixilharia. Assim sendo, observou-se que em 2001, cerca de 59% dos edifícios clássicos não necessitavam de reparação, 32% careciam de pequenas ou médias reparações e 8% apresentavam necessidade de grandes reparações ou estavam muito degradados [9]. Por sua vez, em 2011, deparou-se com uma alteração nestes valores, sendo que cerca de 71% dos edifícios clássicos existentes não necessitavam de reparações, 24% precisavam de pequenas ou médias reparações e aproximadamente 5% careciam de grandes reparações ou se encontravam muito degradados [9].

O conforto das habitações é fortemente afetado pelo estado de conservação das mesmas e dos edifícios onde se inserem. A fraca qualidade dos materiais de construção ou o natural envelhecimento do edificado conduzem à sua degradação [9].

De notar que não é somente o estado de degradação dos edifícios que interferem na má qualidade do ambiente interior, por vezes, por exemplo, as paredes exteriores estão em bom estado de conservação, mas não é isso que permite obter um bom conforto térmico dentro da habitação. O facto de não possuir isolamento térmico irá conduzir a um desconforto térmico e por sua vez elevados consumos energéticos.

Ficou registado na última década, uma importância crescente de edifícios e fogos licenciados em obras de reabilitação face às obras de construção nova (Figura 4).

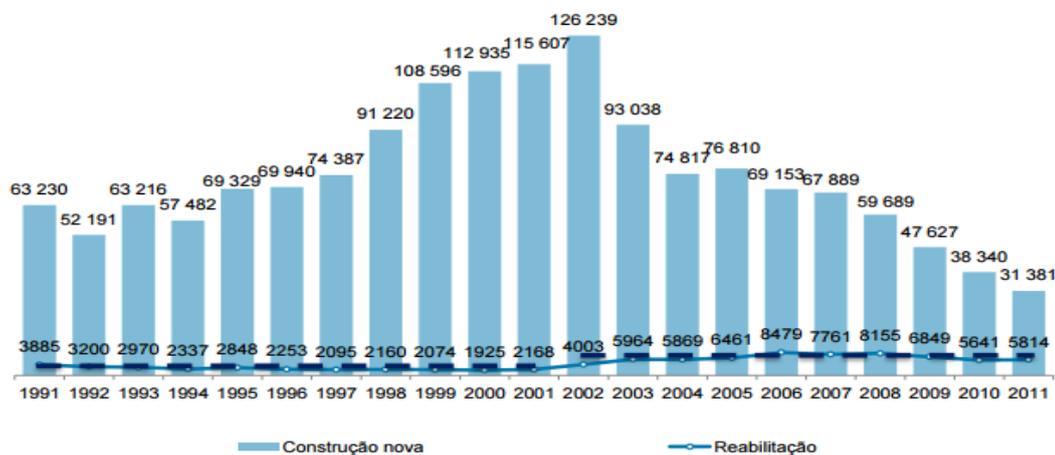


Fonte: INE, Estatísticas do licenciamento de obras

Figura 4 - Evolução dos edifícios e fogos licenciados, em obras de reabilitação (%), 2001-2011 (Fonte: [9])

Em 2001, foram licenciados 10887 edifícios em obras de reabilitação enquanto o valor observado em construções novas foi de 51510. Por outro lado, em 2011, já foi possível observar uma alteração nestes valores, com 7351 edifícios licenciados para reabilitação enquanto o valor correspondente nas construções novas foi de 16065 [9].

A evolução da proporção deveu-se não ao aumento da reabilitação, que se tem mantido relativamente estável nos últimos anos, mas à diminuição da construção nova (Figura 5)



[9].

Figura 5 - Número de alojamentos concluídos em obras de construção nova e reabilitação (1991-2011) (Fonte: [9])

O facto de reorientar o sector da construção para a reabilitação de edifícios poderá contribuir para uma melhoria das condições de funcionalidade e segurança do parque edificado, para a manutenção ou aumento da produtividade e nível de empregabilidade

da indústria da construção, e para a reabilitação social e económica de zonas urbanas, atualmente degradadas e pouco habitadas [8].

2.2 Parque Habitacional Português

O panorama do parque habitacional português sofreu grandes mudanças nos últimos anos. De acordo com os resultados dos censos de 2011 comparativamente com os obtidos no ano de 2001, numa análise mais abrangente, existe um maior número de edifícios, mais habitações desabitadas e habitações sobrelotadas, mais edifícios devolutos e um maior número de habitações para arrendar.

Um dos aspetos que se destacam é o número de alojamentos ser superior ao número de famílias em Portugal. Normalmente, 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 que duplicou, tendo registado um ritmo de crescimento sempre superior ao das famílias clássicas [9].

Época de construção

É possível verificar, de acordo com dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), que uma parte significativa dos edifícios existentes são relativamente recentes, sendo que os construídos a partir de 1971 constituíam 63,1% do parque habitacional (Figura 6).

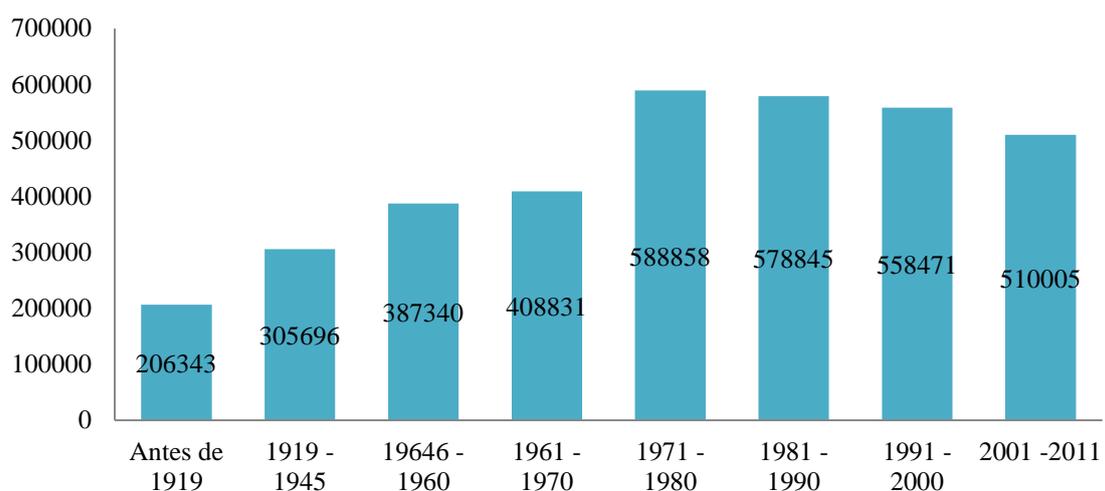
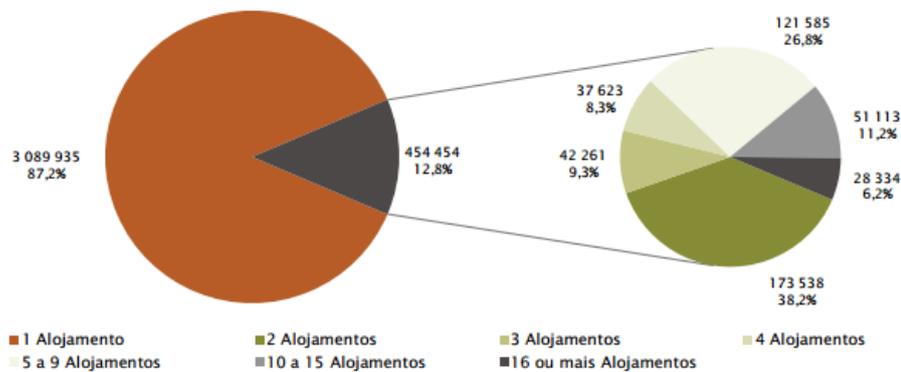


Figura 6 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício
(Adaptado: [10])

Os edifícios construídos entre 1946 e 1970 representavam 22,5% do parque habitacional português e os edifícios com mais de 65 anos (i.e. anteriores a 1946) representavam os restantes 14,4% [10].

Número de alojamentos

Em 2011 existiam em Portugal cerca de 3,5 milhões de edifícios, dos quais 87,2% (3 089 935) com 1 alojamento e 12,8% (454 454) com 2 ou mais alojamentos. Nestes últimos anos, 38,2% tinham 2 alojamentos, 9,3% tinham 3 alojamentos, 8,3% tinham 4 alojamentos e os restantes 44,2% tinham 5 ou mais alojamentos (Figura 7).



Fonte: INE, Censos 2011

Figura 7 - Número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos
(Fonte: [10])

Número de pisos

Em 2011, o parque habitacional português era predominantemente constituído por edifícios de baixa altura. Os edifícios com um e dois pisos representavam 84,9% do total de edifícios (39,4% com um piso e 45,5% com dois pisos) [10]. Dos restantes edifícios, 9,5% tinham três pisos e 5,6% tinham quatro pisos ou mais [10].

Na

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

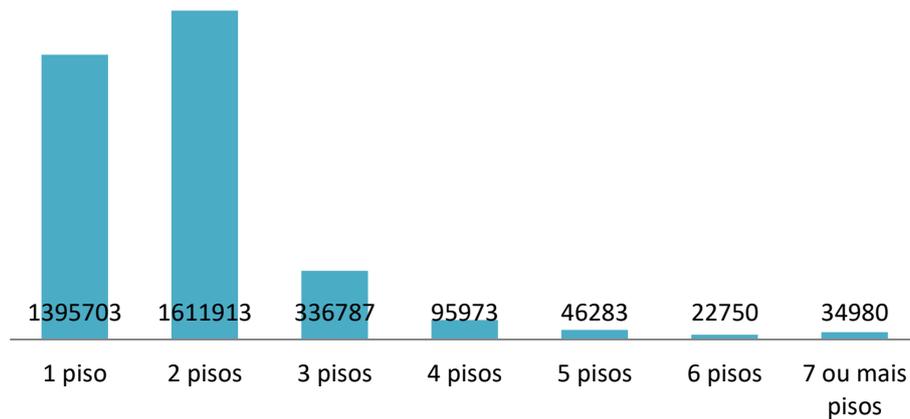


Figura 8 - Número de edifícios por número de pisos (Adaptado: [10])

Entre 2001 e 2011 destacou-se o aumento do número de edifícios com dois pisos, representando mais de metade do aumento total de edifícios. Os edifícios com mais de dois pisos apesar de não terem registado um aumento significativo em termos absolutos, foram os que registaram um aumento relativo mais elevado dos últimos anos (cerca de 20%) [10].

2.3 Consumos energéticos dos edifícios em Portugal

Cerca de 40% do consumo total de energia está relacionada com o consumo energético dos edifícios na Europa, sendo que o aquecimento e arrefecimento são as principais fontes de procura de energia [11].

Também cerca de 75% dos edifícios existentes, privados e públicos, têm um desempenho energético abaixo dos requisitos da EPBD. Contudo, 50% do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, ou seja, uma redução anual de quatrocentos milhões de toneladas de dióxido de carbono [11].

Portugal sendo um país sem fontes de energia não renováveis, nomeadamente petróleo, gás natural e carvão, torna-se dependente da importação de recursos energéticos, colocando-o numa posição vulnerável a nível internacional.

Apesar do consumo energético do setor residencial não ser o maior a nível nacional, este continua a ser o grande responsável pelo aumento do consumo de energia. Os transportes ainda continuam a ser o setor que mais energia consome (Figura 9) [11].

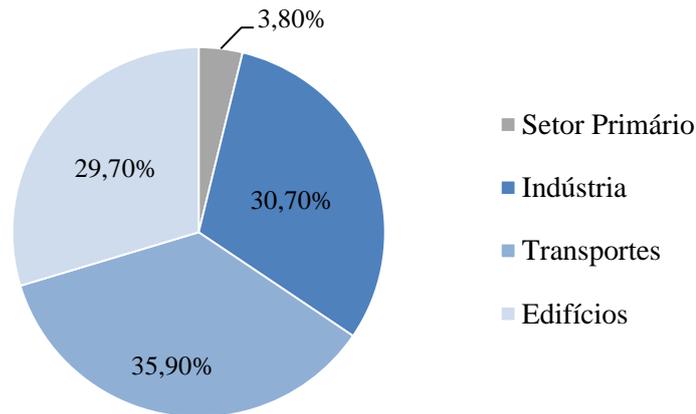


Figura 9 - Consumo final de energia (2013) [11]

No planeamento e construção de um edifício também é necessário ter em conta as condições climáticas do local onde este será implantado, caso contrário não poderá ser considerado um edifício eficiente na utilização da energia para proporcionar conforto aos seus ocupantes [12]. Do ponto de vista energético, a qualidade de um edifício também depende das características construtivas dos elementos que fazem fronteira entre o edifício e o ambiente exterior, ou seja, da sua envolvente (fachadas, janelas, telhados).

Também é de notar que por vezes a falta de conforto térmico nos edifícios deriva dos baixos rendimentos, subida dos preços da energia e da falta de eficiência energética nas habitações levando a um problema que afeta milhões de europeus: a pobreza energética, afetando não só os que não têm onde dormir, mas também os que não têm capacidades financeiras para manter as suas habitações aquecidas de forma adequada nos períodos de Inverno.

Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde) cerca de 28% da população portuguesa não tem capacidade de aquecer as casas no Inverno nem arrefece-las no Verão, a percentagem de população sem capacidade para manter as habitações adequadamente aquecidas é de 28,3% e a percentagem de população que vive numa habitação inadequadamente arrefecida no Verão é de 35,7%. Tal deve-se ao elevado preço da energia, e portanto à reduzida ou nenhuma climatização das habitações, a baixa qualidade da construção agrava ainda mais a situação [13].

Segundo a definição mais usada, uma pessoa ou família está numa situação de pobreza energética quando gasta mais de 10% do seu rendimento para manter a sua habitação aquecida [13].

Existem também outros problemas que afetam o desempenho energéticos dos edifícios, desde a falta de manutenção e o envelhecimento natural dos materiais, até às características do edifício, sistemas energéticos e o comportamento dos utilizadores.

A nível Europeu, o consumo de energia elétrica em iluminação no setor residencial representa mais de 12% do consumo total deste setor, onde 20% da eletricidade consumida numa habitação está relacionada com a iluminação. No caso de Portugal, a iluminação no setor residencial representa também cerca de 12% o consumo de energia elétrica [14].

Para uma adequada realização de uma reabilitação é necessário identificar os maiores consumos energéticos. Analisando o consumo das diferentes fontes de energia em 2013 (Figura 10), verifica-se que o petróleo ainda continua a ser a principal fonte de energia primária (45%), seguido das renováveis (24%) e do gás natural (17%) [15].

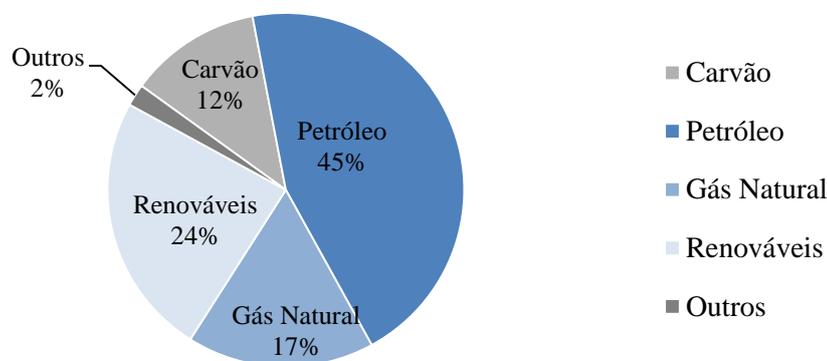


Figura 10 - Energia primária 2013 [15]

Sendo o parque habitacional português um parque degradado e envelhecido, quanto mais antigas forem as habitações, maiores são os consumos energéticos, e maiores também serão as perdas de energia através da envolvente [16].

Sabe-se que em Portugal, o setor residencial, com aproximadamente 3,3 milhões de edifícios, é responsável pelo consumo de 17% da energia primária em termos nacionais, representando cerca de 29% do consumo total de energia elétrica do país [17].

De acordo com a Figura 11, em 2010, a eletricidade foi a principal fonte de energia utilizada, verificando-se um aumento ao longo dos tempos da utilização desta fonte de energia. A lenha é a segunda principal fonte de energia consumida nos alojamentos, que ao contrário da eletricidade, tem sido uma fonte cada vez menos utilizada ao longo dos anos, como se observa na Figura 11. O carvão surge como a fonte de energia menos utilizada para o aquecimento da habitação.

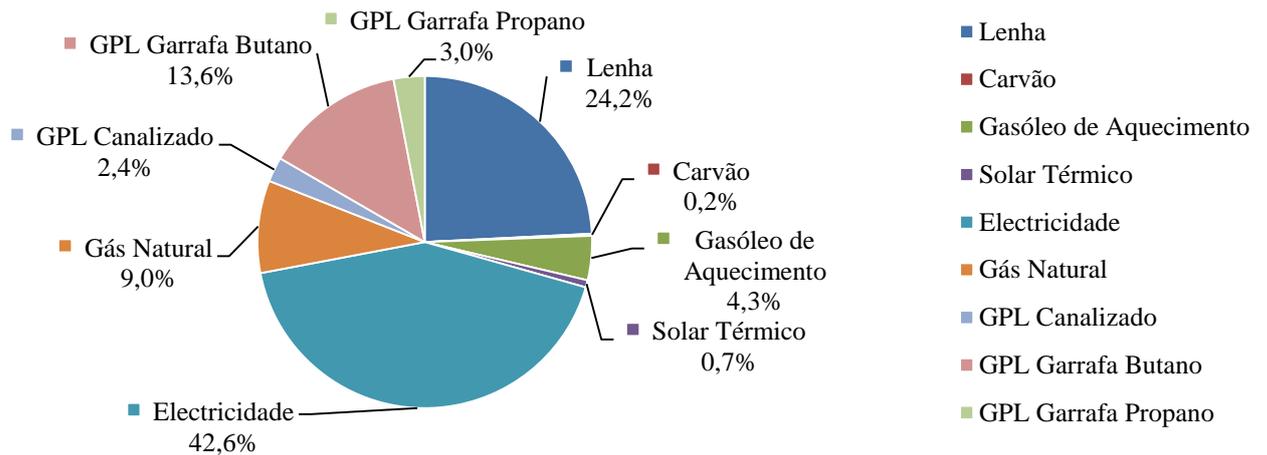


Figura 11 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte - Portugal (2010) [18]

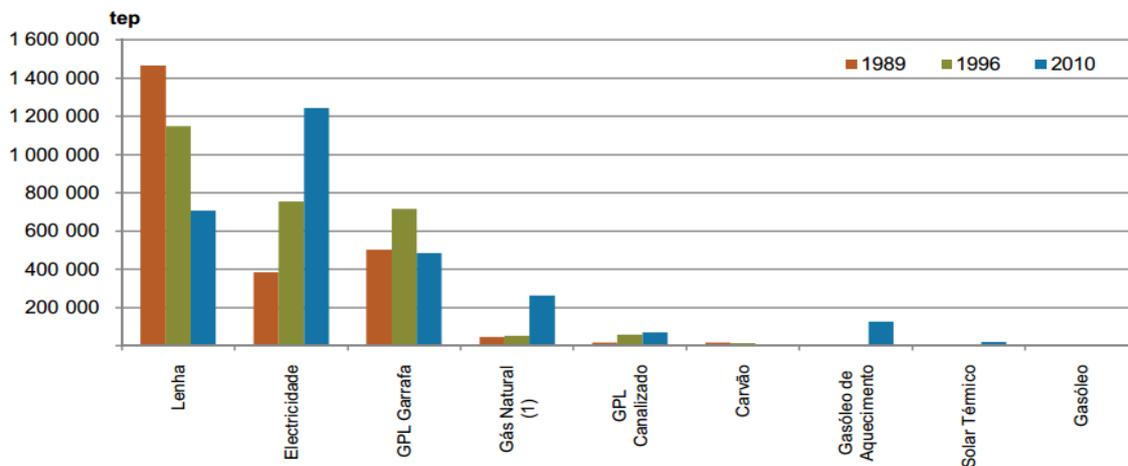


Figura 12 - Evolução do consumo de energia nos alojamentos por tipo de fonte de energia - Portugal, 1989, 1996 e 2010 (Fonte: [18])

Relativamente à distribuição do consumo de energia no alojamento (Figura 13), a cozinha tem o maior peso em termos de consumo de energia na habitação (39%) seguida pelo aquecimento de águas sanitárias (AQS). A energia fornecida para o arrefecimento e aquecimento do ambiente interior dos espaços representa quase um quarto (22%) do consumo total de energia da habitação [18].

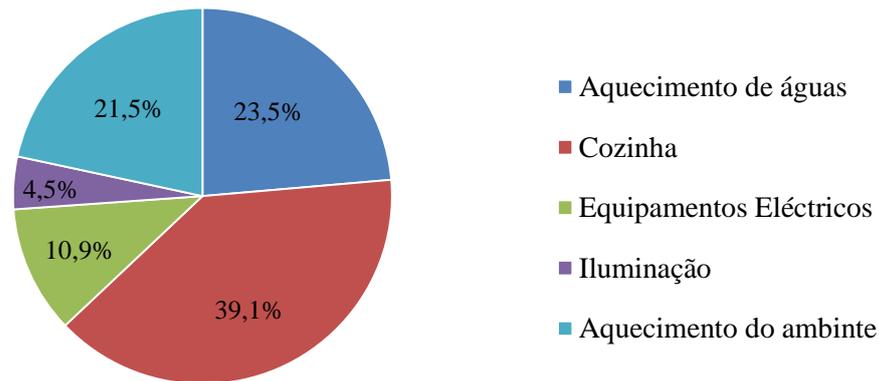


Figura 13 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização - Portugal (2010) [18]

A fonte de energia dominante é diferente consoante o tipo de uso, na cozinha é utilizada predominantemente a eletricidade, seguida da lenha, enquanto no aquecimento das águas sanitárias domina a utilização do GPL em garrafa ou o gás natural. A lenha também foi a principal fonte de energia utilizada no aquecimento do ambiente [18].

2.4 Porquê reabilitar?

O termo de reabilitação, quando aplicado à construção civil, refere-se às intervenções necessárias num edifício ou propriedade, visando aumentar a vida útil do imóvel e o seu valor económico, melhorar a qualidade de vida dos ocupantes e implementar boas medidas de eficiência energética.

Facilmente se entende que a reabilitação é necessária e importante, permitindo a preservação da identidade, dos valores culturais e tradicionais. A reabilitação urbana não interfere apenas com património edificado, mas também está relacionado com questões do âmbito social, económico e ambiental [19].

Também a elevada importância de um desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades e as preocupações com o planeta, essencialmente a nível ambiental, são duas importantes razões pela qual se devem desenvolver mecanismos que permitam obter um futuro saudável e promissor para as gerações futuras.

Existem várias razões que justificam a reabilitação de edifícios, desde as preocupações ambientais, a escassez de novas obras, o excesso de construção realizado no passado recente e o elevado número de edifícios desabitados atualmente. Segundo um estudo feito pelo jornal inglês *The Guardian*, estima que existam cerca de 735 mil casas abandonadas ou não habitadas em Portugal.

Portugal possui um vasto património edificado que carece de intervenção, abrindo grandes possibilidades à reabilitação, aumentando os seus padrões de qualidade e o seu ciclo de vida.

Comparativamente à construção nova, a reabilitação reutiliza, readapta e requalifica o espaço e o próprio edifício, como também possibilita uma redução do consumo de energia e matérias-primas.

2.5 Condições climáticas em Portugal

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios em termos de transferência de calor são a temperatura do ar exterior e a radiação solar.

Em Portugal, as condições climáticas no Inverno podem variar entre os 2°C na zona interior Norte e os 12°C no Sul, havendo perdas térmicas do interior para o exterior devido às baixas temperaturas, enquanto no Verão a temperatura varia entre os 16°C nas zonas montanhosas e os 34°C no Sul, ou seja, há entrada de calor nos edifícios [12]. A temperatura do ar determina o estabelecimento de trocas de calor entre o interior e o exterior dos edifícios.

A localização do edifício torna-se importante no que respeita às necessidades térmicas do edifício. O grau de conforto do edifício e o seu consumo energético é determinado pela capacidade de um edifício captar a radiação solar nos períodos em que existe uma maior necessidade de aquecimento do próprio edifício, no caso do Inverno, e ter a menor superfície possível exposta à luz do sol quando existe a necessidade de arrefecimento, no caso do Verão [12].

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar, variável indutora das trocas de calor através da envolvente do edifício, determina o

estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, fluxos estes que ocorrem fundamentalmente no período de Inverno, tratando-se neste caso de perdas térmicas, enquanto no Verão o sentido do fluxo tem tendência a inverter-se e estar-se-á numa situação de ganhos térmicos.

Na Figura 14 e Figura 15 podemos consultar o zonamento climático de Verão e de Inverno de Portugal de acordo com a regulamentação térmica em vigor.

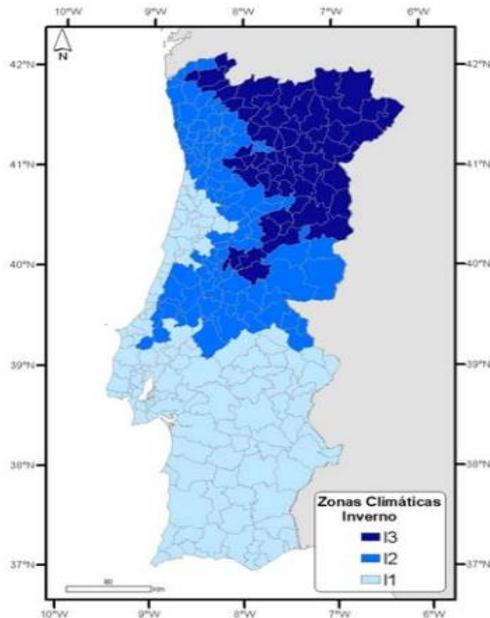


Figura 14 - Portugal Continental. Zonas climáticas de Inverno [20].

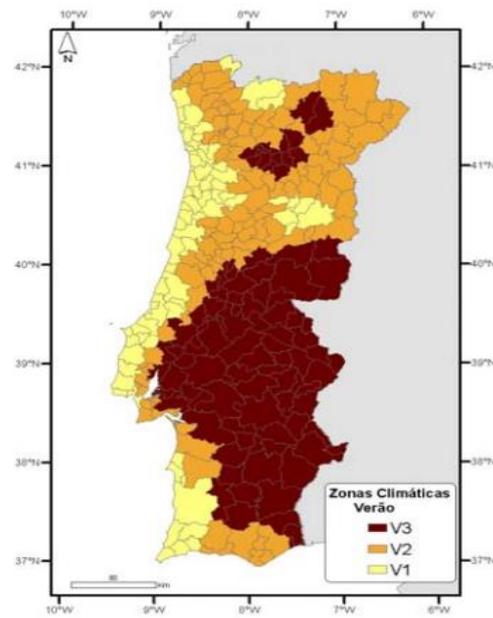


Figura 15 - Portugal Continental. Zonas climáticas de Verão [20].

As zonas classificadas como I1 correspondem a locais com menores necessidades de aquecimento no Inverno, enquanto as zonas I3 terão necessidades mais elevadas. Da mesma forma, no Verão, as zonas V2 terão maiores necessidades de arrefecimento do que as regiões V1.

2.6 Qualidade do ambiente interior em Portugal

A qualidade do ambiente interior em edifícios é uma preocupação que acompanha o homem desde há séculos. Uma vez que os ocupantes passam cerca de 90% do seu tempo no interior dos edifícios torna-se importante assegurar as condições de saúde e bem-estar (conforto) e em simultâneo garantir a sustentabilidade das construções [21].

Garantir o conforto dos ocupantes é o principal requisito para o ambiente interior de um edifício. Este é um conceito difícil de avaliar, uma vez que pode variar de pessoa para pessoa devido à sensibilidade de cada um e ao tipo de reações que produzem [22].

Existem vários problemas ao nível do conforto que podem ser provocados por diversos fatores: humidade relativa muito elevada ou muito baixa, temperaturas desadequadas, iluminação insuficiente ou excessiva, velocidade do ar elevada, existência de odores, níveis de ruído inaceitáveis, concentração de poluentes, micro-organismos ou poeiras em suspensão no ar, etc..

Devido a estes problemas, as condições do ambiente interior estão fortemente relacionadas com o comportamento energético de grande parte dos edifícios, uma vez que grande parte da energia consumida nos edifícios é para otimizar o ambiente, principalmente as condições térmicas e a iluminação.

Existem vários parâmetros que podem contribuir para a qualidade do ambiente interior, sendo os principais: o conforto térmico; o conforto acústico; o conforto lumínico, associado à iluminação natural; e a qualidade do ar interior. Também a seleção de materiais e soluções construtivas é essencial para garantir a qualidade do ambiente interior dos edifícios [23].

Surgiu assim a nível internacional e nacional um conjunto de regulamentos e normas que visam assegurar as condições de conforto e a qualidade do ambiente interior dos edifícios.

De forma a melhorar não só o bem-estar e saúde dos ocupantes, mas também o poder económico dos mesmos, através da diminuição de despesas de aquecimento e arrefecimento do edifício, interessa estudar a qualidade do ambiente interior de forma conjunta, ligando todas as características apresentadas na Figura 16, conjuntamente com a reabilitação energética, a fim de desenvolver sistemas integrados que não comprometam nenhum dos quatro parâmetros e aumentando o desempenho dos edifícios.



Figura 16 - Aspectos relacionados com a Qualidade do Ambiente Interior

2.6.1 *Qualidade do ar interior (QAI)*

Na sociedade atual as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes interiores, é assim desejável que o ar seja fresco e agradável, isto é, que não tenha nenhum impacto negativo na saúde.

Nos espaços interiores, as fontes associadas aos materiais de construção, revestimentos e de mobiliário, a utilização de produtos de limpeza, a ocupação humana bem como a deficiente ventilação e renovação do ar, são alguns dos fatores que fazem com o número de poluentes bem como a sua concentração sejam, em geral, mais elevados do que em ambientes exteriores [24].

As concentrações de poluentes em ambientes interiores são cerca de 2 a 5 vezes superiores a ambientes exteriores [25]. A má qualidade do ar interior de um edifício pode assim constituir um risco para a saúde e bem-estar dos seus ocupantes, afetando diretamente o seu desempenho, diminuindo a sua produtividade (Figura 17).

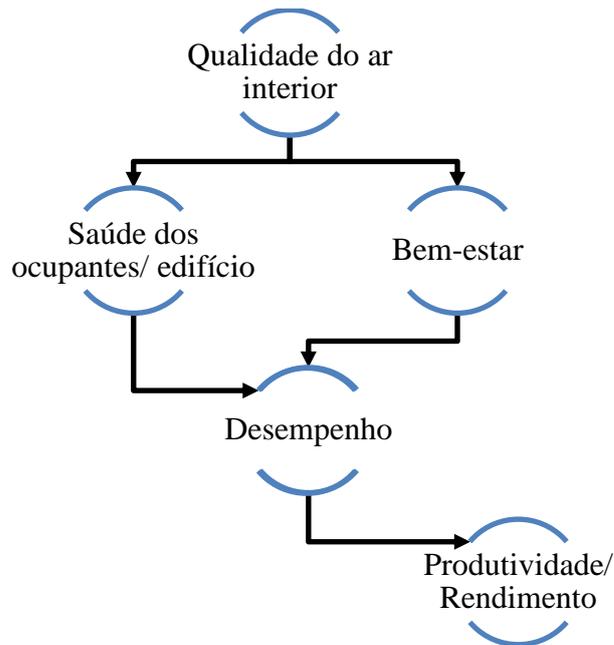


Figura 17 – Fatores que influenciam a produtividade dos ocupantes

Desde sempre, fazia parte dos hábitos quotidianos dos portugueses a necessidade de abrir as janelas para proceder à ventilação dos edifícios, de modo a garantir a qualidade do ar interior, contudo estes hábitos foram diminuindo significativamente devido às preocupações com os consumos energéticos, à ausência durante grande parte do dia e mesmo devido aos receios relacionados com a segurança. Todos estes fatores levaram à redução das taxas de renovação do ar com implicações diretas na qualidade do ar interior [21].

Existem várias fontes de poluição responsáveis pela poluição existente no interior dos edifícios estando relacionadas com as características do próprio edifício, da sua ocupação e associadas à sua utilização. Alguns exemplos são [26]:

- Insuficiente entrada e distribuição de ar do exterior para o interior;
- Má conceção dos edifícios;
- Deficiente filtração do ar fornecido;
- Falta de manutenção e limpeza das instalações e dos sistemas de climatização;
- Condições de conforto térmico inadequadas;
- Ventilação inadequada, muitas vezes devido ao facto de não se abrirem as janelas;

- Presença permanente de fontes de contaminação (equipamentos, plantas, ocupantes com hábitos tabágicos, pavimento alcatifado, etc.).

O grau de importância de alguns poluentes nos diferentes compartimentos de uma habitação é apresentado na Tabela 1 [27].

Tabela 1 - Grau de importância de alguns poluentes nos diferentes compartimentos [27]

Poluentes										
Zonas	Fumo de tabaco	Odor corporal (dióxido de carbono)	Vapor de água	Produtos da combustão	Formaldeído	Orgânicos	Partículas ^(a)	Micro-organismos	Radão	Outros
Salas	++	++	o	++	o	p	p	o	o	
Quartos	++	++	oo	oo	o	p	p	o	o	
Cozinha	+	+	oo	++	o	p	p	oo	o	
Instalações Sanitárias			oo	oo				oo		odor
Instalações Sanitárias sem banheira								p		odor
Notas:										
Nível de importância: ++ Muito importante; + Importante; o Importante em situações específicas; oo Muito importante em situações específicas; p Possivelmente importante, mas até ao momento conhecimento limitado;										
a: muito importante no caso de sensibilidade contra reações alérgicas;										

Quer os próprios materiais integrados na construção, quer as atividades que decorrem no interior dos edifícios podem produzir ou libertar substâncias indesejáveis no ambiente interior.

Os principais poluentes originados pela atividade humana são [28]:

- Vapor de água/ humidade relativa: o vapor de água é um dos principais responsáveis pela fraca qualidade do ar interior das habitações. A humidade relativa do ar interior pode influenciar, direta e indiretamente, a atividade dos ocupantes [28];
- Dióxido de carbono (CO₂): as principais fontes de produção de dióxido de carbono, um gás inodoro e incolor, são o metabolismo humano e todas as fontes de combustão existentes numa habitação [28];
- Monóxido de carbono (CO): um gás inodoro, insípido e incolor mas venenoso, resultante da combustão, em especial quando esta ocorre em ambientes pouco ricos em oxigénio [28].

Os poluentes originados pelos materiais de construção mais frequentes são [28]:

- Compostos orgânicos voláteis: as principais fontes deste poluente são os materiais utilizados no revestimento interior dos edifícios, os respetivos componentes, o mobiliário, o tabaco e os produtos de limpeza. O valor máximo de concentração no ar é de $0,6 \text{ mg/m}^3$ [28];
- Formaldeído: ocorre com maior frequência nas atmosferas interiores, pois a humidade ambiente aumenta o seu efeito. É um gás incolor com um odor forte, facilmente detetado pelo homem [28];
- Outros poluentes como:
 - Radão (Rn): um gás inodoro, insípido e incolor, que existindo naturalmente no solo, é facilmente introduzido nos edifícios, quer por efeito de difusão quer por depressão dos ambientes interiores provocados por sistemas de ventilação ou por efeito chaminé [28];
 - Partículas respiráveis: podem ter diversas tipologias, tamanhos e podem transportar organismos vivos como fungos, bactérias e vírus. Estas partículas podem ter proveniência do fumo do tabaco, dos produtos da combustão ou do ar exterior [28];
 - Ozono (O_3): é altamente oxidante e reage com diversas substâncias no interior e no exterior, como perfumes, carpetes, móveis, vernizes, produtos de limpeza, tintas, entre outros, que por sua vez geram partículas tóxicas ultrafinas. O ozono é libertado, por exemplo, por impressoras a laser e fotocopiadoras [28];
 - Micro-organismos: as quatro maiores categoriais deste poluente em ambientes interiores de habitações são: ácaros, bactérias, micro-organismos provenientes de animais de estimação e fungos. A concentração e variedade destes micro-organismos aumentam com o número de ocupantes [28].

A prevenção dos problemas de qualidade do ar interior pode ser conseguida assim através da correta ventilação dos espaços, bem como a correta implementação dos

planos de manutenção dos edifícios, tais como: alterações nos hábitos dos ocupantes, ajustamento das taxas de ventilação substituição de alguns materiais utilizados na limpeza e concentração das fontes poluentes em locais com maior taxa e ventilação [24].

É essencial garantir a QAI promovendo caudais de ventilação convenientes e evitando caudais excessivos que conduzirão a consumos energéticos elevados.

2.6.1.1 Ventilação

A ventilação de um edifício permite garantir a qualidade do ar interior e, em alguns casos, reduzir os consumos energéticos (por exemplo a ventilação noturna durante o Verão, em conjugação com a inércia térmica). A necessidade de garantir uma QAI adequada, obriga a recorrer a um processo para introduzir ou remover ar de um espaço, de modo a evacuar o ar interior viciado e substituí-lo por ar exterior novo.

Outra das razões é a necessidade de controlar o nível de poluente do ar interior, produzidos pelo próprio edifício e pelos ocupantes.

Os sistemas de ventilação podem ser divididos em ventilação natural, ventilação mecânica e ventilação híbrida.

2.6.1.1.1 Ventilação natural

A ventilação natural é baseada no fornecimento de ar novo a um determinado espaço de uma forma natural, ou seja, sem recurso a qualquer dispositivo mecânico. Este tipo de ventilação resulta do efeito da diferença de pressões entre diferentes fachadas do espaço, diferenças estas resultantes da ação do vento e dos gradientes de temperatura existente entre o interior e exterior [29].

Caso o fluxo de ar resulte da existência de aberturas devidamente previstas e colocadas nas fachadas para o efeito, o processo é designado por Ventilação Natural. Se o fluxo de ar resultar da existência de fendas, frinchas ou caixilharias/portas não adequados nem concebidos para o efeito, o processo designa-se por Exfiltração ou Infiltração.

O controlo neste tipo de sistemas pode ser efetuado através da simples abertura ou fecho de janelas, contudo sendo a ventilação um processo difícil de controlar, facilmente se

atinge o desconforto pela velocidade excessiva do ar no interior. Por outro lado, a renovação de ar por janelas e portas podem levar à entrada de pó, ruído e chuva, além de poderem apresentar problemas de segurança [23], [29], [30].

A ventilação natural permite obter um bom condicionamento térmico do ambiente, proporcionando condições favoráveis de conforto aos ocupantes, além da melhoria da qualidade do ar interno. A diferença de pressões exercidas pelo ar sobre um edifício pode ser causada pelo vento ou pela diferença de densidade do ar interno e externo, ou por ambas as forças agindo simultaneamente. A força dos ventos promove a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação denominada ação dos ventos e o efeito da diferença de densidade do ar, função da diferença de temperatura, provoca o chamado efeito chaminé.

A ventilação natural pode ocorrer de quatro formas: devido à ação do vento, devido ao efeito chaminé, de forma unilateral ou cruzada.

- i) *Ventilação unilateral*: consiste na existência de uma abertura numa única fachada, provocando um fluxo bidirecional, em que o ar mais fresco entra pela parte inferior da abertura e o ar mais quente sai pela parte superior;
- ii) *Ventilação cruzada*: verifica-se quando o ar entra num espaço, por uma ou mais aberturas, numa fachada, e sai por uma ou mais aberturas na fachada oposta. Este é um tipo de ventilação aconselhável a grandes espaços, uma vez que o fluxo de ar percorre todo o espaço desde a abertura de entrada até à de saída;
- iii) *Efeito chaminé*: tem origem na diferença de temperatura entre o ar interior e exterior do edifício. Quando a temperatura interna é superior à externa, o ar externo mais frio, entra no edifício através das aberturas mais baixas e o ar interior mais quente sai pela abertura mais elevada.
- iv) *Ventilação por ação dos ventos*: A força dos ventos promove a movimentação do ar através do ambiente;



Figura 18 - Formas de ventilação: ventilação unilateral; Ventilação cruzada; Ventilação por efeito chaminé [31]

2.6.1.1.2 Ventilação mecânica

Na ventilação mecânica a insuflação/extração do ar, e o gradiente de pressões são provocados pela existência de um, ou mais, ventiladores que provoca uma diferença de pressões e que promove a ventilação. Este tipo de ventilação surge quando a ventilação natural é insuficiente. No entanto este sistema representa acréscimo no custo do consumo de energia.

Nos edifícios habitacionais existem basicamente três tipos de ventilação mecânica: insuflação mecânica; extração mecânica; e sistemas balanceados. Em todos eles existe um sistema de condutas associados a ventiladores que promovem a circulação do ar no edifício.

Insuflação mecânica (Figura 19): o ar é insuflado no edifício através de uma rede de condutas à qual esta associado um ventilador. Este tipo de sistema de ventilação é pouco usual nos edifícios portugueses.

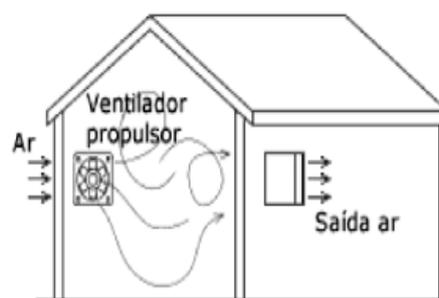


Figura 19 - Insuflação mecânica [32]

Extração mecânica (Figura 20): o ar é extraído através de uma rede de condutas à qual está associado um ventilador. A localização destes sistemas é comum em zonas com grande produção de odores e/ou humidade (casas de banho e cozinhas).

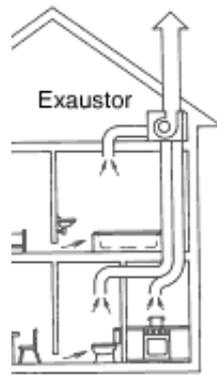


Figura 20 - Extração mecânica [32]

Sistemas Balanceados (Figura 21): o edifício dispõe de insuflação e extração mecânica. O ar é insuflado nos compartimentos principais e extraídos nos espaços de serviço onde ocorre produção de vapor de água e odores. Nestes sistemas é possível a instalação de um recuperador de calor que garante o pré-aquecimento do ar insuflado.

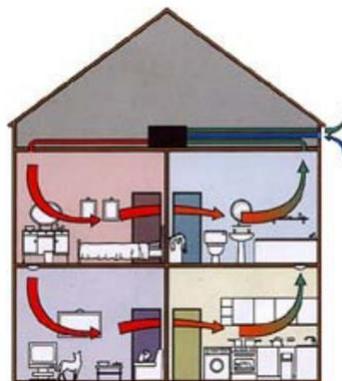


Figura 21 - Sistema balanceado com recuperação de calor [32]

2.6.1.1.3 Ventilação híbrida

Este tipo de ventilação pode ser definido como a combinação da ventilação natural e mecânica. Sempre que as condições permitam, a renovação do ar interior por ar novo exterior é efetuado por ventilação natural, e a ventilação mecânica, é efetuada quando a ventilação natural é insuficiente, como forma alternativa ou complementar, de modo a que o consumo energético seja minimizado, mantendo a QAI e o conforto térmico dos ocupantes.

Existem três princípios dos quais se podem desenvolver esta nova estratégia de ventilação (Figura 22) [32]:

- i) *Ventilação Natural e Ventilação Mecânica*: dois sistemas de ventilação, autônomos, um natural e outro mecânico. As duas estratégias funcionam alternadamente de acordo com os requisitos específicos de cada momento;
- ii) *Ventilação natural assistida por um ventilador*: este baseia-se num sistema de ventilação natural assistida por um ventilador de insuflação ou de extração. São sistemas a utilizar quando existem períodos em que os gradientes de pressão e temperatura são fracos, ou que tem períodos em que as exigências de ventilação são muito elevadas;
- iii) *Ventilação mecânica assistida pelos gradientes de pressão e de temperatura (tiragem térmica)*: existe um sistema de ventilação mecânica com baixas perdas de pressão, fornecendo as forças naturais o restante diferencial de pressão.

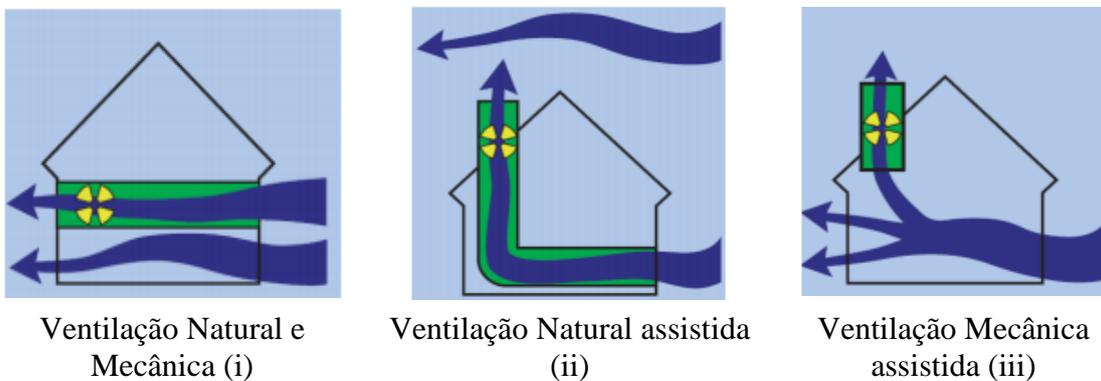


Figura 22 – Estratégias de ventilação [32]

2.6.2 Conforto térmico

O conforto térmico é definido pela norma EN ISO 7730:2005 como: “O estado de espírito que expressa satisfação com ambiente térmico que envolve uma pessoa” e resulta de um estado mental que expressa a satisfação do homem em relação ao ambiente térmico que o circunda, sendo reconhecido como um conceito exato, que não implica uma temperatura exata [33].

Estando dependente de condições fisiológicas quantificáveis – temperatura do ar, humidade, velocidade do ar, etc. – e de fatores não quantificáveis (variantes pessoais) – hábitos, estado mental, educação, metabolismo, vestuário, etc. – torna-se difícil obter uma definição concreta. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam bastante consoante a sua aclimatização particular ao ambiente local.

A norma ASHRAE 55:2013 e a EN ISO 7730:2005 têm uma definição muito idêntica, ou seja, de uma forma simples pode-se concluir que um indivíduo está em conforto térmico quando não tem a sensação nem de calor nem de frio [34] [33].

O desconforto dos ocupantes surge sempre que o balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente não é estável, isto é, quando há diferenças entre a temperatura corporal e a temperatura do edifício. O Homem deverá manter o corpo a uma temperatura interna de 37°C, obrigando a que haja um equilíbrio térmico entre o corpo e o meio ambiente.

A previsão do conforto térmico pode ser obtida através do Método de Fanger ou pelas zonas de conforto. A equação de Fanger pode ser usada também para definir dois índices: o Voto Médio Previsto (PMV) e a Percentagem de Pessoas Descontentes (PPD).

O cálculo dos índices de PMV e PPD permitem avaliar as condições de conforto térmico de acordo com as metodologias definidas nas normas EN ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2013 e EN 15251:2007 [34] [35] [33].

O PMV representa o voto médio de um grupo de pessoas expostas ao mesmo ambiente segundo um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor e é quantificado numa escala de sensações térmicas com 7 pontos diferentes numa escala de sensação térmica (Tabela 2) e o PPD prevê a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente. Este índice é calculado a partir do índice de PMV [33].

Tabela 2 - Escala de sensações térmicas

PMV	Sensação térmica
+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Ligeiramente quente
0	Neutro
- 1	Ligeiramente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), estabeleceram-se temperaturas interiores de referência na estação de aquecimento (Inverno) igual a 18°C e de 25°C para a estação de arrefecimento (Verão).

Existem também alguns aspetos que na construção influenciam o conforto térmico, tais como, a resistência térmica dos materiais constituintes do edifício, a inércia térmica, o fator solar dos envidraçados e a proteção solar. Por exemplo, em locais com climas mais frios, a envolvente dos edifícios deve ser bem isolada para reduzir as perdas de calor para o exterior. Os envidraçados também devem ser orientados a sul para que no Inverno seja aproveitado o máximo de radiação solar possível para aquecer o interior dos compartimentos [36].

Este desconforto pode ser ultrapassado através de diversos processos, que podem implicar mais ou menos recursos energéticos e financeiros e será sempre um dos objetivos fundamentais em qualquer processo de avaliação da qualidade de edifícios.

Inevitavelmente associado a este está o recurso a equipamentos e sistemas mecânicos de climatização.

2.6.3 *Conforto acústico*

O conforto acústico, tal como o conforto térmico, é um conceito bastante subjetivo, dependendo essencialmente dos ocupantes, dos materiais utilizados na conceção do edifício e do ruído exterior [31].

Por vezes, um edifício pode respeitar os requisitos regulamentares, contudo os seus ocupantes, devido aos seus hábitos, à sua sensibilidade, e a outros fatores como dificuldade de abertura de janelas, devido aos elevados níveis sonoros provenientes do exterior, podem considerar que não se sentem confortáveis [31].

O ruído é definido como um som desagradável ou indesejável para o ser humano. A caracterização do ruído pode ser efetuada através da sua frequência (baixa – sons graves, média, alta – sons agudos) e da sua amplitude em termos do “Nível de Pressão Sonora”.

Tendo o ruído efeitos desagradáveis tanto a nível fisiológico como psicológico na população, o conforto acústico nos edifícios torna-se essencial para o bem-estar, saúde e produtividade dos ocupantes.

A norma EN 15251:2007 apresenta intervalos de níveis de pressão sonora, em função do tipo de ocupação, para diferentes tipos de edifícios para que existam condições de

conforto acústico (Tabela 3). Esta norma visa a avaliação de uma forma simplificada, da qualidade do ambiente acústico, no interior de edifícios existentes [35].

Tabela 3 - Gama de níveis de pressão sonora [35]

Edifício	Tipo de espaço	Nível de pressão sonora (dB (A))
Residencial	Zona de estar	25 a 40
	Quarto	20 a 35

2.7 Principais patologias dos edifícios

O termo “patologia” é derivado do grego (pathos – doença, e logia – ciência, estudo) e significa “estudo da doença”. Na construção civil pode atribuir-se patologia ao estudo dos danos ocorridos em edificações.

A reabilitação tornou-se numa prática aplicável não só ao património tradicional, mas também ao património recente, no qual tem surgido anomalias precoces. A maioria dos edifícios recentes não apresenta o desempenho e durabilidade desejáveis, revelando-se este fato, fundamentalmente, através do aparecimento precoce de anomalias de carácter funcional e construtivo.

A incoerência dos projetos, a falta de controlo em obra, a velocidade exigida ao processo de construção, o uso de técnicas construtivas inovadoras e de materiais de fraca qualidade, bem como a utilização sistemática de mão-de-obra não qualificada, tem vindo a reduzir a qualidade e eficiência das construções [9].

Patologias são assim designadas por manifestações que ocorrem durante o ciclo de vida de uma edificação na estrutura.

As principais patologias dos edifícios estão relacionadas com a estrutura, cobertura, com as paredes exteriores e com a caixilharia dos envidraçados [9]. Para cada um dos elementos é necessário observar a necessidade ou não de reparação. Caso seja necessário reparação, as patologias podem ser qualificadas quanto ao tipo de reparação: nenhuma, pequena, média, grande ou muito grande (Tabela 4).

Tabela 4 - Percentagem de necessidade de reparação [9]

	Cobertura	Estrutura	Paredes e caixilharia exterior
Nenhumas	67,0%	69,3%	64,6%
Pequenas	19,1%	18,0%	20,4%
Médias	8,5%	7,6%	9,2%
Grandes	3,5%	3,2%	3,8%
Muito grandes	2,0%	1,9%	2,1%
Total	100%	100%	100%

As paredes e caixilharias exteriores são os elementos com mais necessidades de intervenção comparativamente com a cobertura e com a estrutura.

A origem destas falhas pode ser observada no gráfico da Figura 23.

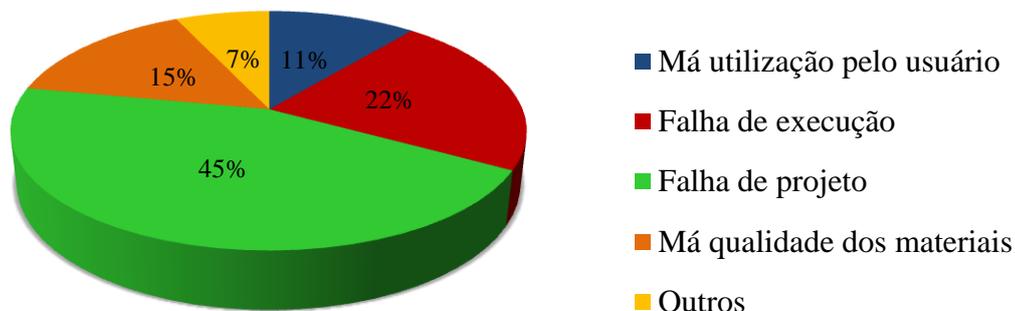


Figura 23 - Origem das falhas nas edificações

Assim sendo, o modo como se procede à reabilitação, na maioria das construções, é um fator essencial na sustentabilidade das mesmas, tornando-se imprescindível a correta interpretação das anomalias, alicerçada por meios de diagnóstico objetivos e adequados, tendo em vista o aumento significativo dos padrões de qualidade e de eficiência energética futura dos potenciais edifícios intervencionados.

2.8 Principais patologias não estruturais em edifícios

Para uma eficaz reabilitação, deverá inicialmente identificar-se o tipo de problema associado a cada patologia e de seguida, intervir propondo soluções de melhoria.

2.8.1 *Humidade*

Este é um dos defeitos mais comuns decorrentes da penetração de água ocasionada por um fenómeno natural, a chuva.

A humidade não é apenas uma patologia mas também uma causa para a existência de diversas patologias, bem como, o aparecimento de eflorações, mofo, bolores, ferrugens, deterioração de revestimentos, perda de pinturas e até mesmo afetar os componentes da construção [37].

Existem diversas causas para a origem da humidade [38]:

- Humidade do terreno – é a humidade proveniente do solo, que atinge a habitação devido à ascensão capilar através das fundações ou paredes;
- Humidade de construção – é a humidade que se manifesta numa fase imediatamente posterior à construção;
- Humidade de condensação – humidade devido à saturação do vapor de água. Pode ocorrer no interior ou na superfície dos paramentos.
- Humidade de precipitação – infiltração de água provocada pela chuva devido a problemas de estanqueidade da envolvente. Por vezes este problema agrava-se devido à ação combinada do vento e da chuva;
- Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade – diversos materiais de construção têm na sua constituição sais solúveis em água, sendo estes materiais higroscópicos, ou seja, com capacidade de absorverem a humidade do ar, dissolvendo os sais e secando, devolvendo ao ambiente, em função da variação da pressão parcial e temperatura, podendo voltar a cristalizar os sais, com significativo aumento de volume;
- Humidade devido a causas fortuitas – a humidade aparece devido a causas acidentais, tais como inundações, algerozes entupidos, tubos de queda e de drenagem partidos, etc..

De todas as causas de humidade referenciadas anteriormente, a mais comum nas edificações é a humidade de condensação [38]. De forma a evitar a ocorrência das

condensações é necessário ventilar, ou seja, diminuir os níveis de humidade interiores, e isolar, ou seja, aumentar a temperatura das paredes e conseqüentemente diminuir o grau de saturação [38].

2.8.1.1 Infiltrações de água

As infiltrações de água são os danos mais comuns nas construções e podem ser encontradas nas mais variadas edificações. Estas ocasionam uma variedade de problemas que afetam sobretudo a estrutura física do edifício, além de ocasionar outros problemas, por exemplo, na saúde dos moradores, uma vez que o ambiente húmido abriga micro-organismos (fungos) que são responsáveis pelo surgimento de doenças.

A infiltração é ocasionada na maior parte das vezes pela má instalação hidráulica do local e pode ser caracterizada como a passagem de água do meio exterior para o interior ou vice-versa, nos seus estados líquido e gasoso, que penetra nas paredes por capilaridade através de fissuras ou poros existentes no material.

Algumas infiltrações são causadas quando uma edificação absorve a humidade do solo, prejudicando os materiais que formam a estrutura. Esta anomalia pode causar danos visíveis na pintura do local e mais gravemente, as infiltrações danificam a estrutura e podem ocasionar danos ainda maiores, como por exemplo a corrosão na estrutura metálica.

2.8.1.2 Condensações superficiais interiores

Um dos problemas mais comuns no que diz respeito à higrotérmica de edifícios são as condensações superficiais interiores.

O excesso de vapor de água no interior das habitações é transportado para o exterior, ou através da renovação do ar interior, ou atravessando as paredes exteriores por difusão. Caso isso não aconteça, condensam-se nas superfícies do interior, inicialmente nas superfícies envidraçadas e, posteriormente, nas superfícies opacas [39].

Um exemplo mais vulgar e ilustrativo é a condensação nas paredes de uma casa de banho no final do banho ou nas paredes de uma cozinha perto de uma panela com água a ferver. Algumas destas situações são facilmente visíveis porque os materiais de deposição da condensação são impermeáveis.

Por norma, as condensações ocorrem quase exclusivamente no Inverno. Nas superfícies exteriores da envolvente não ocorrem condensações neste período, pois estas superfícies estão a temperaturas mais elevadas que o ar em contato, como tal possuem um menor grau de saturação [39]. Assim sendo, é necessário verificar apenas a ocorrência de condensações superficiais interiores e as condensações interiores [39].

O arrefecimento do ar pode provocar condensações do vapor de água sempre que seja alcançado o valor limite de saturação correspondente a uma determinada temperatura, ou seja, se a temperatura superficial for inferior à temperatura do ponto de orvalho. Para verificar a ocorrência de condensações apenas é necessário verificar se a temperatura superficial é superior ou inferior à temperatura do ponto de orvalho, isto é, a temperatura à qual, para uma dada humidade, o ar atinge o ponto de saturação.

Quanto maior for o isolamento térmico das paredes exteriores, maior será a sua temperatura superficial interior e menor será a possibilidade de condensação.

Soluções como a introdução de isolamento térmico na cobertura e nas paredes exteriores, em especial nas zonas de ponte térmica, garantia de temperaturas interiores adequadas e caudais de ventilação suficientes são as melhores medidas preventivas para o aparecimento de condensações superficiais posteriormente, de modo a garantir boas condições de utilização do espaço interior [39].

2.8.1.3 Eflorescências

Como efeito secundário das infiltrações podem surgir eflorescências. As manchas são normalmente brancas podendo, no entanto, ter outras colorações que dependem da composição química dos sais que lhe dão origem e acumulam-se sobre a superfície do betão, argamassas e blocos de betão e tijolo cerâmico, danificando a estética dos acabamentos.

Estas têm origem na dissolução dos sais constituintes do material ou das juntas e a sua posterior cristalização à superfície, ou na limpeza do revestimento com produtos químicos agressivos para o material. Esta patologia terá maior probabilidade de ocorrer quanto mais poroso for o material de revestimento e quanto mais agressivas forem as condições climatéricas do local em questão.

Para evitar as eflorescências deverá utilizar-se cimento do tipo Portland, utilizar rejuntas impermeáveis ou impermeabilizar a alvenaria.

É necessário detetar a origem do problema, que pode derivar do escoamento de redes de drenagem, humidade do terreno ou da penetração por meio de rejuntas mal aplicados.

2.8.2 *Fissuras*

As fissuras são o segundo defeito mais comum numa construção, podendo ser superficiais quando só afetam o revestimento, ou profundas quando a sua extensão atinge os elementos estruturais. Estas são classificadas de acordo com a profundidade e características da abertura.

As causas que originam o seu aparecimento estão relacionadas com a retração devido à secagem rápida dos materiais, execução defeituosa, ação térmica, ou deficiências estruturais do edifício, etc.. Podem ainda ser consequência da ocorrência de vibrações.

Para resolver este problema é necessário identificar a causa e, se necessário, proceder ao reforço da estrutura. Nos casos mais simples motivados por exemplo, por retração, a solução passa pela limpeza da fissura e pela colocação de uma camada de revestimento ou na colmatagem das fissuras existentes.

2.9 **Medidas de Reabilitação energética e qualidade do ambiente interior**

Os edifícios de habitação construídos antes da existência de regulamentação no âmbito do comportamento térmico de edifícios normalmente têm um comportamento térmico insatisfatório e conseqüentemente um fraco desempenho energético que se associa ao uso intensivo de dispositivos de aquecimento e arrefecimento do ar interior ou a situações de desconforto térmico e ao aparecimento de condensações.

As medidas a ser implementadas devem ser estudadas em função do edifício a reabilitar e devidamente estruturadas de forma a reduzir as necessidades de energia de aquecimento e/ou arrefecimento, permitindo assim a redução das despesas totais das famílias em climatização e melhorar as condições de conforto na habitação.

Uma grande quantidade de energia utilizada para aquecer o edifício pode simplesmente sair do edifício se este não for corretamente isolado (Figura 24).

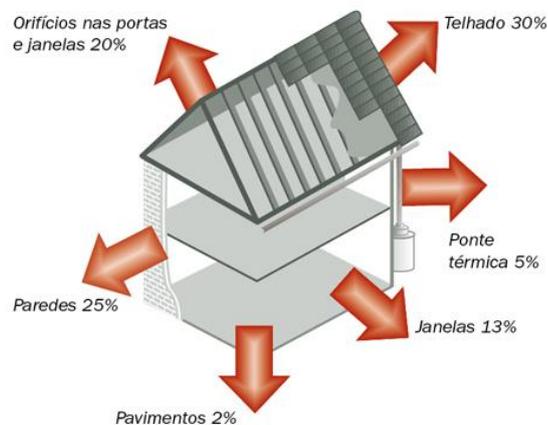


Figura 24 - Exemplo de onde se verificam as maiores perdas energéticas de um edifício

Um maior isolamento na envolvente exterior traduz-se numa diminuição de perdas de calor para o exterior na situação de Inverno e na redução dos ganhos de calor na situação de Verão.

A ausência de isolamento dos elementos opacos como paredes, coberturas e pavimentos, a pouca utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados e a permeabilidade ao ar dos mesmos são os principais problemas que aumentam as necessidades de energia de aquecimento.

De forma a tornar os edifícios confortáveis e energeticamente eficientes, pode intervir-se através da reabilitação térmica da envolvente dos edifícios, recorrer a tecnologias solares ativas, recorrer a energias provenientes de fontes renováveis e também se pode recorrer à substituição dos sistemas e instalações de equipamentos por outros com menores consumos e maiores rendimentos.

Relativamente à envolvente dos edifícios, é nesta que se pode intervir de forma mais acessível ao nível da reabilitação, incidindo principalmente no reforço da proteção térmica da envolvente opaca (paredes exteriores, coberturas e pavimentos), ou seja, no controlo de infiltrações de ar e no recurso a tecnologias solares passivas. Esta estratégia permite a redução das necessidades energéticas, garantindo um nível de conforto mínimo aos ocupantes e reduzindo a incidência de patologias [40].

Para os edifícios existentes, geralmente a melhor solução de reabilitação passa pela combinação de medidas de reabilitação que abrange simultaneamente a eficiência energética, a conservação de energia e a redução de emissões de carbono. Assim sendo, é necessário optar pelas melhores combinações de medidas de intervenção que traduzam numa solução mais eficaz e rentável e do mesmo modo, uma solução de custo ótimo.

De seguida são apresentadas algumas das principais medidas de reabilitação energéticas de edifícios que irão ser utilizadas no caso de estudo.

2.9.1 Reforço do isolamento térmico – Paredes Exteriores

A aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores é uma das formas de reduzir os consumos energéticos do edifício e ao mesmo tempo melhorar o conforto térmico, reduzindo as trocas de calor entre o interior e exterior, minimizando as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento e diminuindo os riscos de ocorrência de condensações.

O que determina o nível de desempenho de um isolamento térmico é o respetivo coeficiente de transmissão térmica (U). Este coeficiente pode ser calculado ou pode ser medido.

O conhecimento dos valores das condutibilidades térmicas dos materiais constituintes das diferentes camadas permite o cálculo da resistência térmica dos elementos construtivos. Através do valor calculado da resistência térmica de determinado elemento construtivo, calcula-se o coeficiente de transmissão térmica.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica obriga que sejam conhecidas as características do elemento construtivo, a espessura, os materiais utilizados e a condutibilidade dos respetivos materiais.

Quanto maior U, menor capacidade de isolamento terá o elemento. Ou seja, a redução de U, resultante do aumento da espessura de isolamento térmico, corresponde a um maior investimento inicial e a menores consumos energéticos durante a exploração do edifício.

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

- Isolamento térmico pelo interior;
- Isolamento térmico pelo exterior;
- Isolamento térmico na caixa-de-ar (limitado ao caso de paredes duplas).

Para cada tipo de aplicação do reforço de isolamento existe também vários tipos de soluções.

2.9.1.1 Isolamento térmico pelo exterior

O reforço do isolamento térmico pelo exterior apresenta, normalmente, uma solução mais favorável em relação à aplicação de isolamento pelo interior, tendo mais vantagens do que desvantagens. As soluções desta opção de isolamento podem dividir-se 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 um isolante térmico na caixa-de-ar

Nas soluções deste tipo de isolamento térmico, é aplicado 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, protegendo o isolamento térmico contra a ação da chuva e contra a radiação solar. O revestimento pode ser contínuo (rebocos armados) ou descontínuo (composto por placas metálicas, de fibrocimento ou material plástico) [41].

Na Figura 25 está representado um esquema construtivo deste tipo de revestimento.

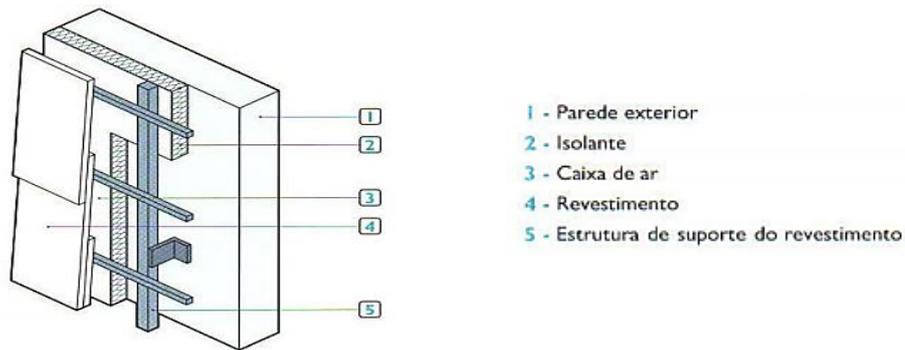


Figura 25 - Esquema de revestimento independente com interposição de isolamento térmico na caixa-de-ar

Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior – “ETICS”

Os “sistemas de isolamento térmico por revestimento sobre isolante”, correntemente designados por ETICS, deriva do termo inglês “external thermal insulating composite systems with rendering”.

Nas soluções deste tipo de isolamento térmico, uma camada isolante composta por placas de um isolante térmico é fixado sobre o pano exterior da parede de um edifício, normalmente por colagem, coberta por um revestimento exterior armado composto por uma ou mais camadas de modo a garantir a sua proteção contra agentes atmosféricos [41].

Existem dois subtipos de ETICS, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado:

- Sistema com revestimento espesso: utilizam-se normalmente placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou de lã mineral (MW) na camada de isolamento e um revestimento de ligante mineral armado com uma rede metálica ou fibra de vidro. As placas da camada isolante devem possuir ranhuras de modo a permitir uma melhor aderência ao revestimento [41];
- Sistema com revestimento delgado: utilizam-se sobretudo placas de poliestireno expandido moldado (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 [41].

Na Figura 26 e Figura 27 estão representados os dois esquemas de sistemas compostos de isolamento térmico aplicado pelo exterior do tipo “ETICS”.

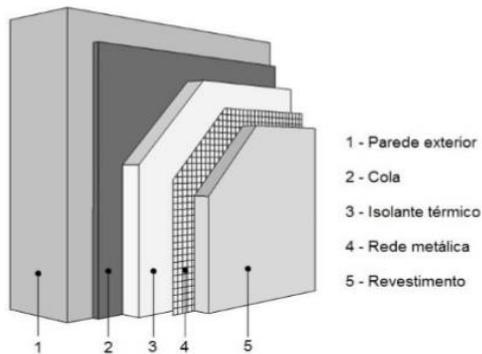


Figura 26 - Sistema de isolamento térmico com revestimento espesso



Figura 27 - Sistema de isolamento térmico com revestimento delgado

Neste tipo de sistemas de isolamento térmico pelo exterior é necessário ter em atenção certas particularidades, bem como o encontro entre o isolamento e a cobertura, varandas, janelas ou qualquer outro pormenor presente na fachada.

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

Estes tipos de isolamentos térmicos, também conhecidos por “vêtures”, são obtidos a partir de elementos previamente produzidos em fábrica, constituídos por uma material isolante em placa (normalmente poliestireno expandido) e por um revestimento (de natureza metálica, mineral ou orgânica). Uma vez que este sistema é previamente fabricado, a sua aplicação em obra é feita numa única operação e a sua fixação é efetuada diretamente nos suportes por meios mecânicos, tornando o processo mais simples [41].

Contrariamente ao sistema de isolamento do tipo fachada ventilada, este não necessita da existência da estrutura de fixação intermedia nem da caixa-de-ar entre o revestimento e o isolante.

Em relação ao “ETICS”, o sistema de isolamento através de pré-fabricados não necessita da execução de várias camadas sucessivas de revestimento. Contudo, este

sistema apresenta algumas dificuldades a nível de adaptação a pontos singulares das fachadas, por exemplo, os vãos [41].

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. Embora seja uma solução de fácil aplicação é uma solução menos eficiente do que os outros sistemas. Assim sendo, este sistema não é por si só suficiente para garantir um correto isolamento térmico, sendo necessário a aplicação de outras medidas em simultâneo [41].

Nas Figura 28e Figura 29 são apresentados os esquemas de um revestimento pré-fabricado fixado diretamente no suporte e um esquema da solução em reboco isolante.

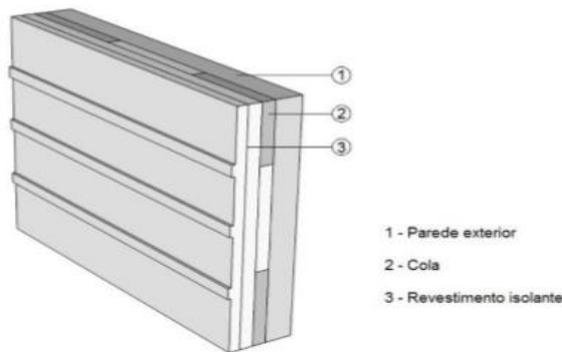


Figura 28 - Esquema pré-fabricado fixado diretamente no suporte

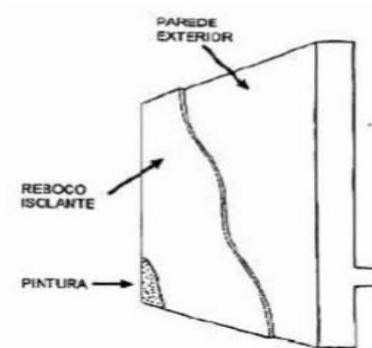


Figura 29 - Solução de reboco isolante

2.9.1.2 Isolamento térmico pelo interior

Para este tipo de isolamento, normalmente são colocados painéis isolantes pré-fabricados ou aplicada uma contra-fachada (pano de alvenaria ou forro contínuo) no lado interior da parede a reabilitar (Figura 30) [41].

Relativamente aos painéis isolantes pré-fabricados, a aplicação mais corrente é através de painéis com a altura do andar em questão, constituídos por um paramento que normalmente é gesso cartonado e uma camada de isolamento térmico com placas de poliestireno expandido (EPS) ou extrudido (XPS). Estes painéis podem ser colocados diretamente contra o paramento interior da parede a reabilitar ou fixados através de uma estrutura de apoio, definindo uma caixa-de-ar intermedia [41].

Em relação à solução baseada na execução de uma contra-fachada, existem dois tipos de soluções que normalmente são mais utilizadas: através de um pano de alvenaria leve ou 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.

Os esquemas de aplicação do isolamento térmico pelo interior em alvenaria e em gesso cartonado são apresentados na Figura 30.

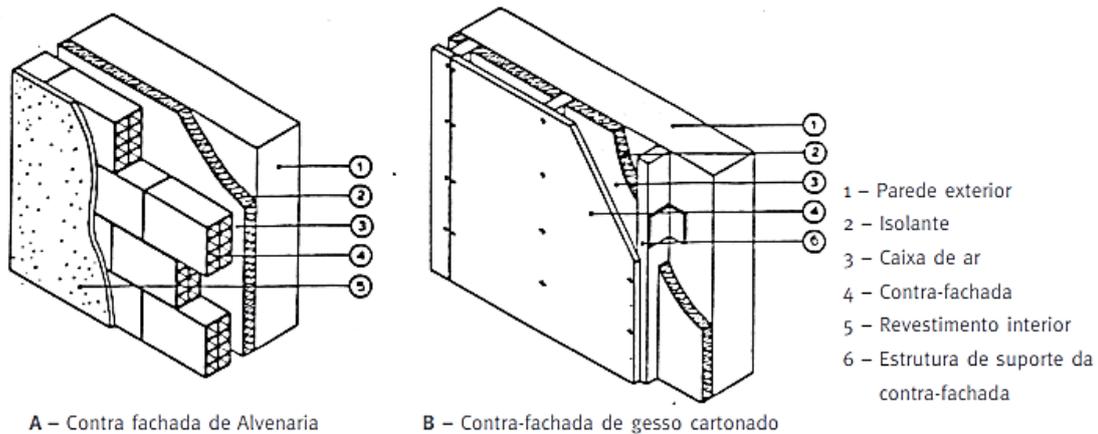


Figura 30 - Solução de contra-fachada interior em alvenaria (esquerda). Solução de contra fachada interior em gesso cartonado (direita).

2.9.1.3 Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas

O reforço do isolamento térmico das paredes duplas normalmente é realizado por incorporação de materiais isolantes soltos ou espumas injetadas na caixa-de-ar. Assim, permite manter o aspeto interior e exterior das paredes e minimizar as operações de reposição dos respetivos paramentos.

Porém, esta solução pode apresentar algumas limitações relevantes, tais como, a presença de argamassa ou detritos na caixa-de-ar ou esta possuir uma espessura pequena, dificultando a aplicação homogénea do isolante térmico ao longo da parede. Também se deverá controlar a pressão de injeção de forma a evitar a ocorrência de deformações na parede e garantindo o completo preenchimento a caixa-de-ar. Por outro lado, os isolantes soltos devem ser aplicados de forma cuidadosa de modo a evitar assentamento que possam originar espaços vazios, dando origem a pontes térmicas e/ou zonas com falta de isolante [41].

2.9.2 Coberturas

A cobertura é um elemento que se encontra sujeito às diversas situações do clima, nomeadamente, radiação solar e grandes amplitudes térmicas. A aplicação de isolamento térmico neste é considerada como uma intervenção de eficiência energética prioritária devido aos seus benefícios imediatos relativamente à minimização das necessidades energéticas e por ser uma medida relativamente simples e menos dispendiosa.

Uma intervenção na cobertura realizada com o objetivo de resolver um qualquer problema, como por exemplo de impermeabilização, permite facilmente ser alargada de modo a incluir a colocação de isolamento térmico nessa mesma cobertura, tornando o custo desta operação praticamente equivalente ao custo do material.

2.9.2.1 Coberturas inclinadas

Quanto às coberturas inclinadas, podem considerar-se dois procedimentos de aplicação do isolamento térmico diferenciados pelo elemento da cobertura no qual se aplica o isolante:

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

Isolamento da esteira horizontal – desvão não habitável

Quando o desvão é não habitável, ou seja, o espaço debaixo da cobertura não é utilizado para habitação ou lazer, é conveniente aplicar o isolamento térmico sobre a esteira horizontal, devidamente protegida na parte superior caso o desvão seja acessível. Devido à quantidade de isolante utilizado ser inferior à do aplicado no isolamento térmico das vertentes, torna-se uma solução mais económica e de mais fácil aplicação. Uma vez que o desvão é não habitável permite também um menor consumo de energia para aquecimento durante a estação frio pois não é necessária energia para o seu aquecimento. Na estação quente o desvão permite a dissipação do calor devido à sua ventilação.

O esquema da aplicação de isolamento térmico na esteira horizontal de um desvão não habitável é apresentado na Figura 31 de três modos possíveis.

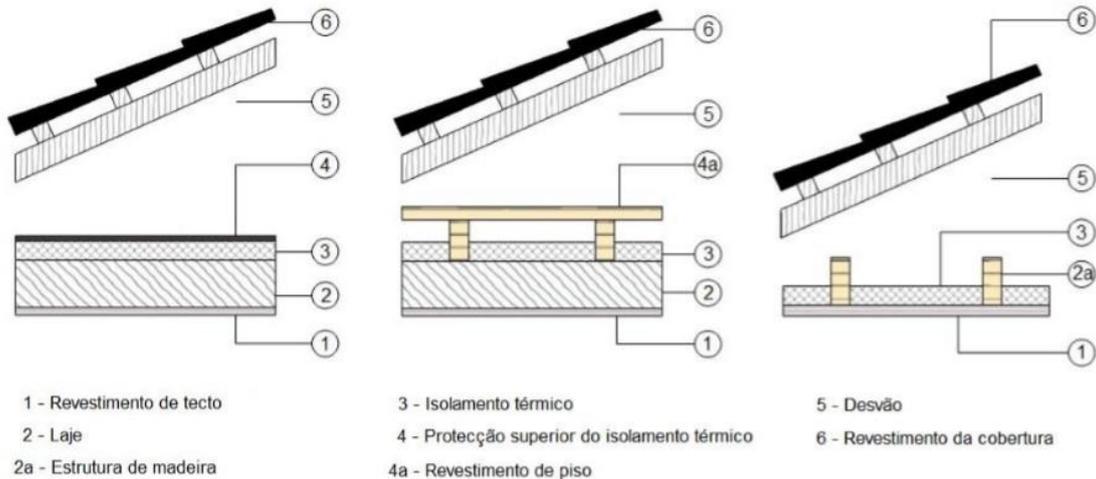


Figura 31 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico da esteira horizontal de um desvão não habitável

Isolamento das vertentes – desvão habitável

O isolamento térmico das vertentes das coberturas deve ser utilizado preferencialmente caso o desvão seja habitável. A aplicação do isolamento térmico sobre a estrutura da cobertura é a solução preferível do ponto de vista energético, assegurando a existência de uma lâmina de ar ventilada entre o isolamento térmico e o revestimento exterior de forma a evitar a degradação dos materiais.

Devido ao risco de infiltração da água da chuva, é necessário a protecção superior do isolante com uma camada que impeça a passagem de água e, simultaneamente, que não origine condensações internas (Figura 32).

Caso não seja possível remover o revestimento exterior da cobertura para a aplicação do isolamento térmico, este pode ser aplicado na face interior da estrutura, contudo não é uma solução tão eficaz quanto a descrita anteriormente.

O esquema de aplicação do isolamento térmico nas vertentes de um desvão habitável é apresentado na Figura 32.

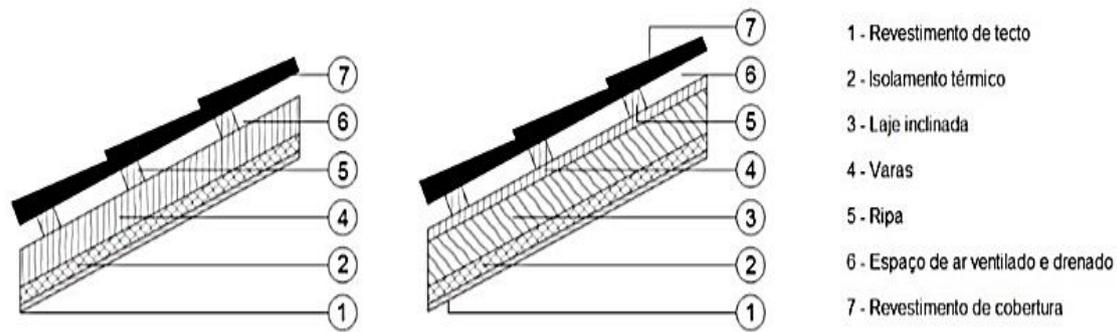


Figura 32 - Cobertura inclinada - Isolamento térmico das vertentes de um desvão habitável

2.9.2.2 Coberturas horizontais

Para efetuar o isolamento térmico das coberturas horizontais existem três diferentes soluções dependendo da posição relativa do isolante térmico a aplicar:

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermedio;
- Isolamento térmico inferior.

Entre as soluções abordadas, a mais aconselhável é a aplicação de isolamento térmico na posição superior, acima da camada de forma, pois é de fácil aplicação e pode funcionar também como suporte e como proteção térmica da impermeabilização (quando colocada sob ou sobre a impermeabilização respetivamente) (). Neste tipo de casos a solução de aplicação pode ser feita de duas formas – cobertura invertida ou isolante térmico suporte de impermeabilização – sendo que a “cobertura invertida” é a melhor opção pois protege a impermeabilização de amplitudes térmicas significativas, e pode ainda aproveitar a impermeabilização já existente (caso se encontre em bom estado) aquando o processo de reabilitação [41].

Quando o isolamento é colocado em posição intermédia, ou seja, entre a esteira horizontal e a camada de forma, é necessário a reconstrução total das camadas sobrejacentes à laje de esteira, requerendo cuidados especiais de modo evitar fenómenos de choque térmico nas camadas acima do isolante térmico e possível degradação, tornando-se uma solução pouco recomendável.

Se o isolamento térmico for aplicado em posição inferior à laje de esteira, este apenas é possível no caso de este ser integrado num teto-falso desligado da esteira e, mesmo assim, não protege termicamente a estrutura. Este tipo de aplicação na face inferior da cobertura deve ser evitado pois pode agravar o risco de deformações e consequente degradação e não é termicamente eficiente [42].



Figura 33 - Reforço do isolamento térmico inferior (esquerda). Reforço do isolamento térmico superior (direita). (Fonte: [42])

2.9.3 Vãos envidraçados

Estima-se que em Portugal 20 a 35% das necessidades de aquecimento são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados [43]. Sendo os vãos envidraçados elementos bastante favoráveis a trocas de calor, torna-se imprescindível conhecer de que forma as diferentes combinações dos seus elementos, vidro, caixilharia e proteções solares, podem afetar o desempenho térmico dos edifícios.

A reabilitação térmica dos vãos envidraçados para além de minimizar as infiltrações de ar não-controladas e melhorar a ventilação natural, permite também o controlo dos ganhos solares, nomeadamente o aumento do aproveitamento solar no Inverno e o reforço da proteção face à radiação solar no Verão, e a melhoria da eficiência da iluminação natural.

Os diferentes tipos de intervenção e medidas de reabilitação térmica de vãos envidraçados visam não só contribuir para a redução das necessidades das necessidades energéticas como também a melhoria das condições de conforto e de qualidade do ar no interior dos edifícios [42], sendo eles:

- **Tipo I** – Conservação da janela existente, intervindo de forma a melhorar o desempenho face às exigências atuais. As soluções são as seguintes:
 - 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;
 - Reforço dos perfis de caixilharia.
- **Tipo II** – Substituição da janela existente por outra adaptada às exigências atuais. As soluções são as seguintes:
 - 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. As soluções são as seguintes:
 - Correção das pontes térmicas;
 - Colocação de pinázios na face exterior ou no interior do vidro duplo quando se procede à substituição do vidro;
 - Dispositivo de oclusão noturna/ e sombreamento/ de proteção solar;
 - Alteração da área do vão envidraçado;
 - Criação de sistemas solares passivos.

A Tabela 5 apresenta as medidas e objetivos da reabilitação dos vãos envidraçados.

Tabela 5 - Quadro: Reabilitação térmica dos vãos envidraçados - medidas e objetivos

Medidas		Objetivos	Reforço do isolamento térmico	Controlo dos ganhos solares	Redução das infiltrações de ar não controladas	Melhoria da eficiência da iluminação natural
Tipo I Conservação de 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					
	Reforço dos perfis de caixilharia					
Tipo II Substituição da janela existente por outra apta às exigências atuais	Nova janela com reposição dos elementos fiéis à traça original					
	Nova janela sem reposição dos elementos fiéis à traça original					
Tipo III Medidas complementares para melhoria da eficiência energética	Correção das pontes térmicas					
	Colocação de pinázios na face exterior ou no interior do vidro duplo quando se procede à substituição do vidro					
	Dispositivo de oclusão noturna/ e sombreamento/ de proteção solar					
	Alteração da área do vão envidraçado					
	Criação de sistemas solares passivos					

Aquando a intervenção é necessário salientar que as propostas de reabilitação devem ir de acordo com a melhor relação entre as funções que as janelas desempenham em sintonia e as necessidades do edifício onde estão inseridas.

O vidro de baixa emissividade, também designado por vidro de isolamento térmico reforçado, permite um melhor isolamento térmico ao reduzir as perdas de calor. Este vidro pode ter um fator solar baixo ou elevado, dependendo do coeficiente de transmissão térmica do vidro [43].

O fator solar indica a fração da energia solar que efetivamente atravessa o envidraçado e é transmitida para o interior do edifício. Assim, quanto menor for o fator solar do vidro, menor será a quantidade de energia transmitida através deste.

Os vidros com fator solar baixo proporcionam uma boa proteção contra a radiação, sendo ideais para uso em envidraçados com exposição ao sol direto e sem proteção solar. No caso dos vidros com fator solar elevado proporcionam a entrada da radiação solar e da luz natural e igualmente permitem um ótimo isolamento térmico, sendo ideais para maximizar as trocas solares e luminosas [43].

Em situações de reabilitação é possível intervir ao nível de um vidro transparente, de forma a aproximar o seu desempenho ao de um vidro colorido, sem ser necessário a sua substituição. Embora o desempenho não seja tão bom nem seja uma solução tão duradoura, a aplicação de uma película colorida na face interior do vidro irá reduzir a quantidade de ganhos solares que passará para o interior da habitação em relação ao vidro transparente mas, por outro lado não será vantajoso na época de inverno.

Na obtenção de um sistema de vão envidraçado com um bom desempenho energético, não é apenas suficiente a escolha de uma boa solução de vidro, é também necessário a escolha de um bom caixilho e de um bom dispositivo de sombreamento, de modo não a comprometer o comportamento de todo o sistema.

2.9.4 Sistema de sombreamento

Um correto dimensionamento e a escolha adequada dos dispositivos de sombreamento, em função do objetivo pretendido, permite a obtenção de elevados níveis de conforto. Geralmente, um elemento deste tipo, é aplicado para desempenhar funções como: proteção à luz solar, regulação da comunicação entre espaços contíguos, gestão de níveis de privacidade, isolamento térmico e como estratégia de iluminação natural.

As palas verticais ou horizontais, arcadas, galerias, são alguns dos exemplos de elementos fixos de sombreamento existentes nas habitações. Contudo, têm a desvantagem de proporcionarem um adequado sombreamento apenas para uma certa parte do dia e em certas estações, limitando a entrada de luz noutras alturas do ano em que a luz natural até poderia ser desejada [43].

Um sistema de sombreamento fixo faz parte integrante do exterior do edifício. Assim sendo, devem ser tidas em consideração alguns dos aspetos bem de maneira a obter o máximo de benefícios dos raios solares no Inverno, deixando-os passar pelo vão, ou na estação de Verão, interceptá-los [43].

A eficiência de um sistema fixo varia consoante a posição do sol e as estações do ano, por isso, os sistemas móveis como portadas, persianas, toldos, telas de rolo, cortinas e estores por exemplo, são alguns dos exemplos de sistemas que podem ser ajustados consoante a finalização desejada [43].

Alguns destes sistemas podem também ainda ser usados para aumentar o efeito de isolamento térmico na estação de aquecimento e como uma boa ferramenta para gerir a entrada de luz natural. Por vezes, esta pode ser indesejável se incidir diretamente sobre os ocupantes ou sobre o plano de trabalho e por isso este tipo de sistema proporcionam uma boa penetração de luz natural.

CAPÍTULO 3 | METODOLOGIA

3.1 Introdução

Neste capítulo é descrito o edifício e os programas utilizados para prever o seu desempenho no decorrer do trabalho visando caracterizar a qualidade do ambiente interior e prever o comportamento térmico do edifício em fase de projeto através de simulação computacional.

É possível avaliar a qualidade do ambiente interior, ou seja as condições de conforto no edifício, através de parâmetros como o comportamento higrotérmico, associado ao conforto térmico, o isolamento acústico da envolvente, associado ao conforto acústico e também a Qualidade do Ar Interior, por exemplo.

Para a simulação do comportamento do edifício, utilizando diferentes soluções construtivas para a cobertura, paredes, pavimento, envidraçados e dispositivos de sombreamento foram utilizados alguns programas de cálculo: para a simulação do comportamento térmico e para o desempenho dos coletores solares utilizou-se o programa *DesignBuilder* e para o comportamento acústico o programa *Acoubat Sound*.

O edifício e os programas de simulação utilizados para a simulação do comportamento térmico e acústico neste estudo são descritos de seguida.

3.2 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo é uma habitação unifamiliar localizada na periferia de Guimarães, Norte do país concluída no ano de 2001. O edifício está situado na proximidade de uma estrada nacional (N310) e num caminho em que o tráfego automóvel é pouco significativo (Figura 34).



Figura 34 - Localização do edifício em estudo (Google Earth, 31/05/2016)

Tendo em consideração as características do parque habitacional português, a escolha do tipo de edifício a estudar foi feita de modo que este fosse o tipo de edifício mais abrangente possível em Portugal. Deste modo, foi eleito um edifício composto por dois pisos, o que a nível do parque habitacional é o mais representativo, correspondendo a aproximadamente 45,48% do total de edifícios existentes (i.e. 1 661 913 edifícios).

O terreno onde se insere a construção pertence à Zona B do sistema urbano do concelho de Guimarães e está contemplado no Plano Diretor Municipal (PDM) como Zona de Salvaguarda Estrita e de Reserva Agrícola e Ecológica Nacional.

Esta habitação tem uma geometria retangular e é constituída por r/c e 1º andar, composto por arrumos e garagem no r/c, três quartos e uma sala, uma cozinha e duas casas de banho no 1º andar (Figura 35 e Figura 36). Possui uma área de implantação de 122m^2 e uma área bruta de construção de 248m^2 . A área útil do edifício é de $180,20\text{m}^2$.

Esta habitação é ocupada por um agregado familiar constituído por cinco pessoas e nenhum dos habitantes é fumador.

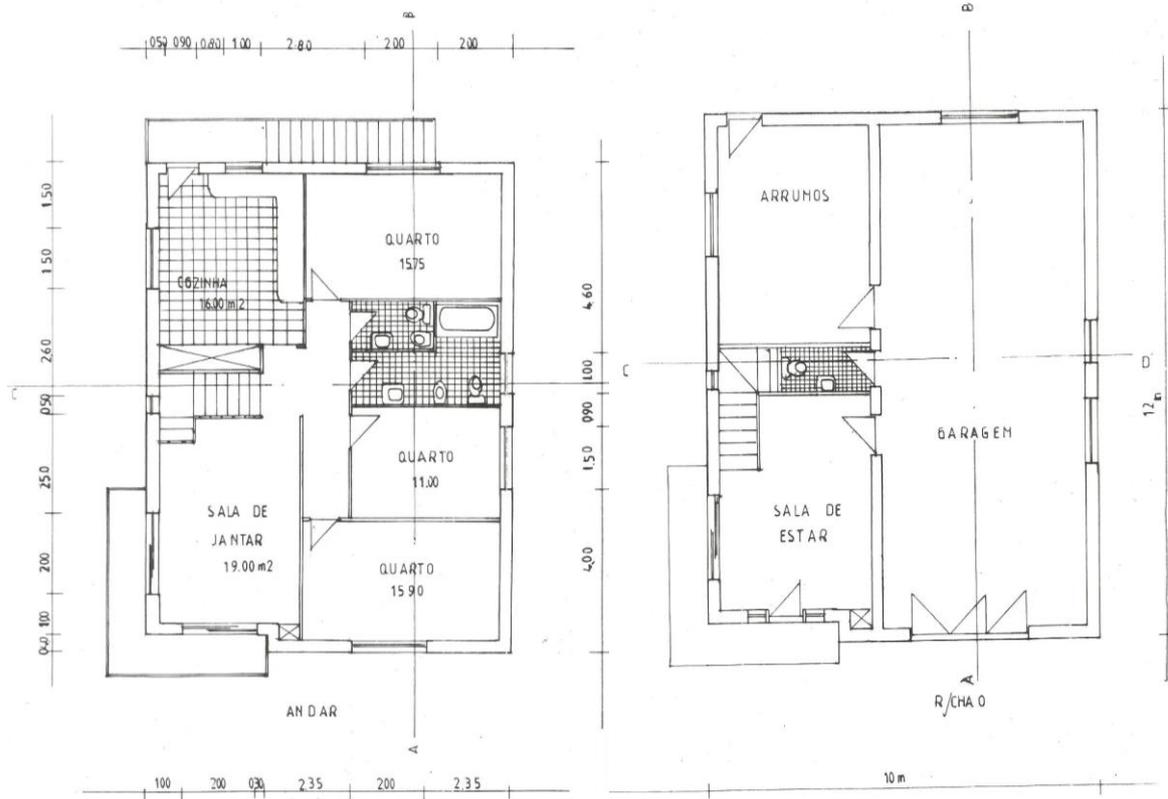


Figura 35 - Planta do 1º piso do edifício (à esquerda) e do rés-do-chão (à direita) do edifício em estudo

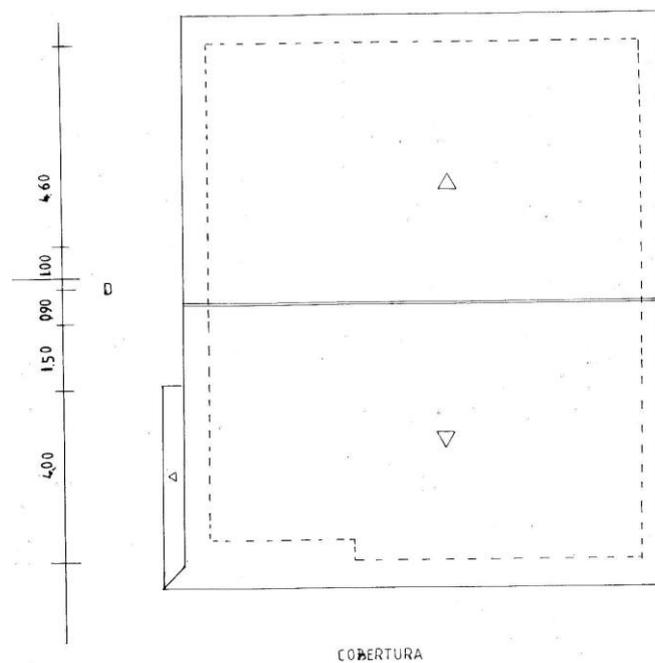


Figura 36 - Planta da cobertura do edifício em estudo

3.2.1 Características construtivas

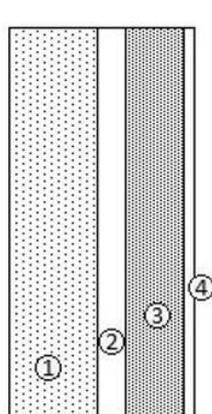
Na situação atual, as características construtivas do edifício são descritas nesta seção, referindo essencialmente as propriedades dos seus elementos constituintes, nomeadamente paredes interiores, divisórias, paredes exteriores, coberturas e pavimentos.

De seguida serão referidos os elementos construtivos da habitação apresentando a sua tipologia e as suas características construtivas.

Paredes exteriores

Piso rés-do-chão

A parede exterior do piso rés-do-chão é constituída por um pano interior de tijolo cerâmico furado e um pano exterior em granito separados por um espaço de ar com 4cm de espessura. A face interior da parede possui um reboco tradicional (Figura 36).

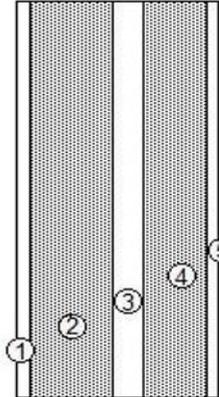


Parede exterior (Piso r/c)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência térmica R (m ² C/W)	Densidade (kg/m ³)
			0,04	
1 – Alvenaria em granito	0,17	2,80	0,061	2600
2 – Caixa-de-ar	0,04	-	0,18	-
3 – Tijolo cerâmico	0,07	0,30	0,23	1000
4 – Reboco tradicional (gesso)	0,02	0,51	0,039	1120
			0,13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

Figura 36 - Pormenor e características das paredes exteriores do Piso rés-do-chão

As paredes exteriores do Piso 1 apresentam uma tipologia diferente. Neste caso as paredes exteriores são compostas por dois panos de alvenaria em tijolo cerâmico furado, separados por um espaço de ar com 4cm de espessura. O pano exterior possui uma espessura de 15cm e o pano interior de 7cm, sendo que ambas as faces se encontram revestidas com reboco tradicional, um em gesso e outro em argamassa de ligante hidráulico (Figura 37).

Piso 1



Parede exterior (Piso 1)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência térmica R (m ² C/W)	Densidade (kg/m ³)
			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
			0,130	
Espessura total (m)	0,30			
Resistência térmica total – R (W/ m ² C)			1,150	
Coefficiente de transmissão térmica – U (W/ m ² C)			0,869	

Figura 37 - Pormenor e características das paredes exteriores do Piso 1

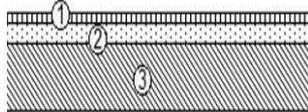
Paredes divisórias

As paredes divisórias do edifício 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

O pavimento do rés-do-chão, que se encontra diretamente em contacto com o solo, é constituído por uma laje de betão armado, seguida de uma camada de regularização (betonilha de assentamento) e revestimento do piso em madeira (Figura 38).

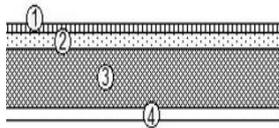


Pavimento térreo (Piso rés-do-chão)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência térmica R (m ² C/W)	Densidade (kg/m ³)
1 – Revestimento do piso (madeira)	0,03	0,14	0,214	650
2 – Camada de regularização	0,07	0,41	0,171	1200
3 – Laje de betão	0,20	1,35	0,148	1800
Espessura total (m)	0,30			
Resistência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

Figura 38 - Pormenor e características do pavimento térreo

Pavimento interior

O pavimento do Piso 1 é constituído por uma laje aligeirada, revestida inferiormente por reboco tradicional em estuque e superiormente por uma camada de regularização e revestimento em madeira (Figura 39).



Parede exterior (Piso r/c)	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência térmica R (m ² C/W)	Densidade (kg/m ³)
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 (m)		0,27		
Resistência térmica total – R (W/ m ² C)			0,994	
Coeficiente de transmissão térmica – U (W/ m ² C)			1,006	

Figura 39 - Pormenor e características do pavimento interior

Cobertura

A cobertura do edifício em estudo é constituída por uma laje de esteira e uma estrutura de cobertura inclinada com desvão não habitável, definindo um telhado de duas águas.

A laje de esteira é aligeirada com vigotas pré-esforçadas, revestida por um reboco tradicional e uma camada de regularização. A estrutura inclinada tem suporte constituído em madeira e é revestida por telha cerâmica (Figura 40).

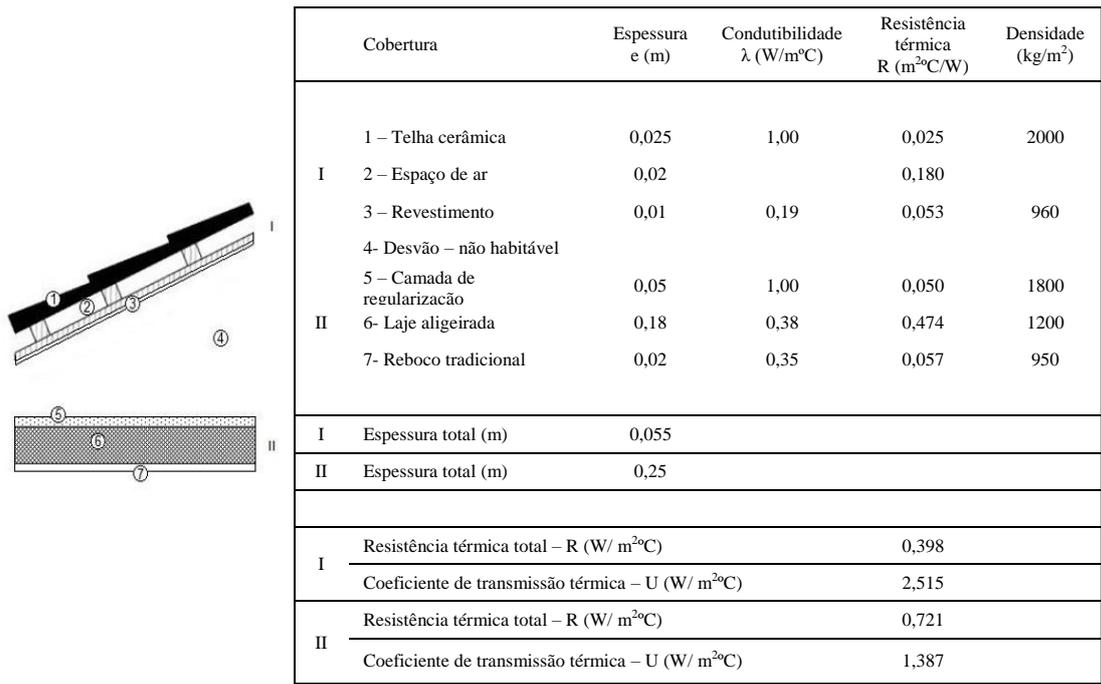


Figura 40 - Pormenor e características da cobertura

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados do edifício são compostos por caixilharia em alumínio, vidro simples e um dispositivo de oclusão noturna do tipo estore de lâminas plásticas aplicado pelo exterior (Figura 41).

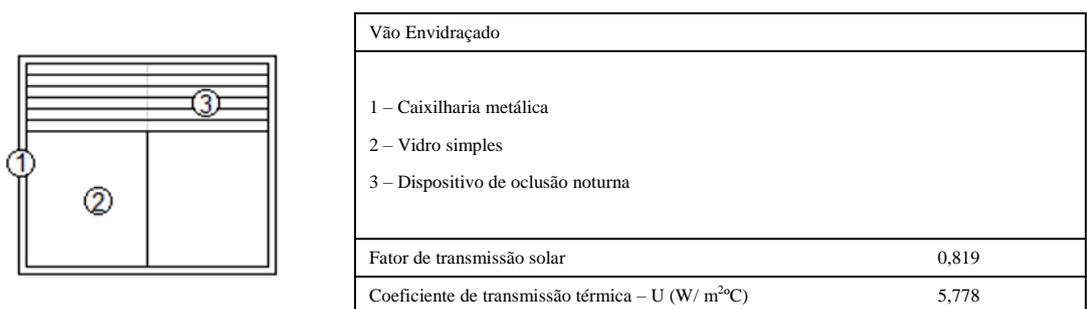


Figura 41 - Pormenor e características dos vãos envidraçados

3.2.2 Sistema de climatização

A habitação engloba um extrator na cozinha que funciona ocasionalmente. Para a climatização da habitação e aquecimento das águas sanitárias é utilizado o coletor solar térmico. Ocasionalmente quando o sistema solar não é suficiente é utilizada uma caldeira a gás (Figura 42) que tem como unidades terminais radiadores para aquecimento e funciona como apoio no aquecimento de águas sanitárias.



Figura 42 – Caldeira a gás

O edifício possui radiadores de água com fluido térmico situado em diversos compartimentos do edifício: um em cada quarto (três quartos), um na sala de estar e um na casa de banho (Figura 43).



Figura 43 - Radiador de aquecimento colocado na sala de estar

3.3 Programas de simulação de previsão do desempenho do edifício

3.3.1 Software de simulação dinâmica – *Energy Plus* e *DesignBuilder*

Sendo obrigatória a simulação dinâmica detalhada para grandes edifícios de serviços, deve ser utilizado um dos programas acreditados pela norma ASHRAE 140-2004 [44].

O *Energy Plus* é um programa de simulação dinâmica para avaliação do desempenho energético do edifício, que permite analisar sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S. DOE – Department of Energy) [44].

O *DesignBuilder* integra as características do *Energy Plus*, possui um interface gráfico, permitindo uma rápida e fácil introdução de geometrias, oferecendo um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios e integração de modelos que facilitam os estudos de otimização energética.

O programa *DesignBuilder* oferece uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil e rápida manipulação, tendo disponível elementos realísticos que fornecem de forma visual e imediata detalhes como espessuras de paredes, janelas, lajes, implementação de caixilhos e molduras de janelas e ainda permite a visualização de áreas e volumes. As predefinições permitem que se atribuam facilmente aos modelos dados e características de construções, atividades e ocupações, sistemas de AVAC e iluminação.

3.3.1.1 Caracterização do modelo

O primeiro passo após a abertura do *software DesignBuilder*, foi proceder à criação de um novo projeto, onde é introduzido o título do projeto, a localização e o tipo de análise pretendida. O *DesignBuilder* dispõe de uma vasta lista de *templates* que correspondem a diversas localizações de variados países, sendo selecionado o *template* referente a Portugal. Deste modo, o *software* assume automaticamente as características típicas da localização escolhida, nomeadamente condições climáticas, temperaturas, períodos de duração das estações de arrefecimento e aquecimento, entre outras.

Na definição da localização, como o *DesignBuilder* não dispunha de ficheiro climático para a zona onde o edifício em estudo se localiza (Guimarães), selecionou-se o ficheiro

climático do Porto (Pedras Rubras), dado ser o local mais próximo do edifício em estudo

A janela de apresentação da criação de um novo projeto no *DesignBuilder* está apresentada na Figura 44.

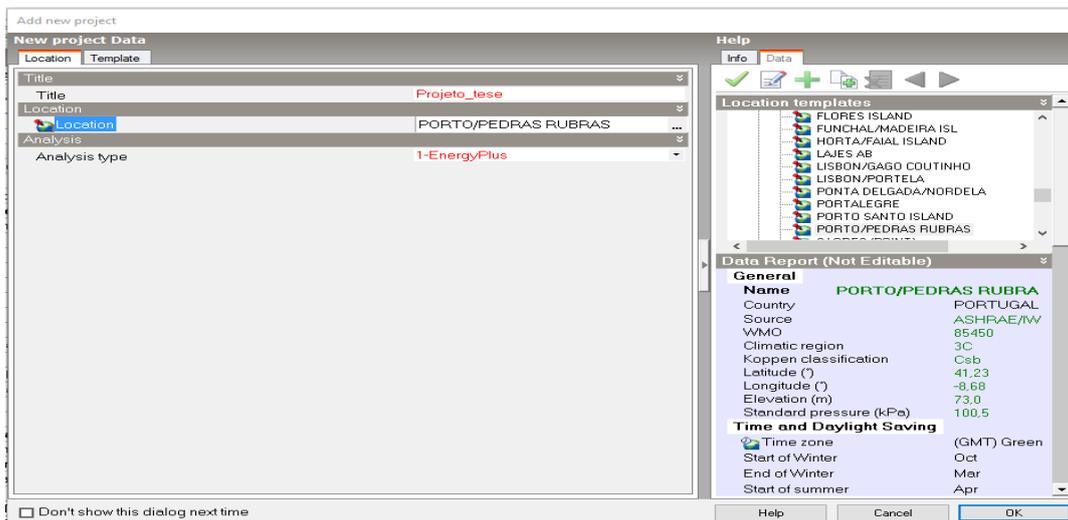


Figura 44 - Janela do novo projeto

3.3.1.2 Desenho do modelo

Após a definição das características de localização e orientação procedeu-se no separador Layout, à conceção do edifício modelo, onde é introduzida toda a geometria do edifício a analisar recorrendo às ferramentas de desenho disponibilizadas pelo *software*, fornecendo assim o modelo que servirá de base para todo o projeto.

Na Figura 45 é apresentado o modelo geométrico concluído que será analisado, visto pelo exterior, com as respetivas divisões interiores e orientação do edifício. É possível também identificar os vários elementos *Block* utilizados na construção do modelo.

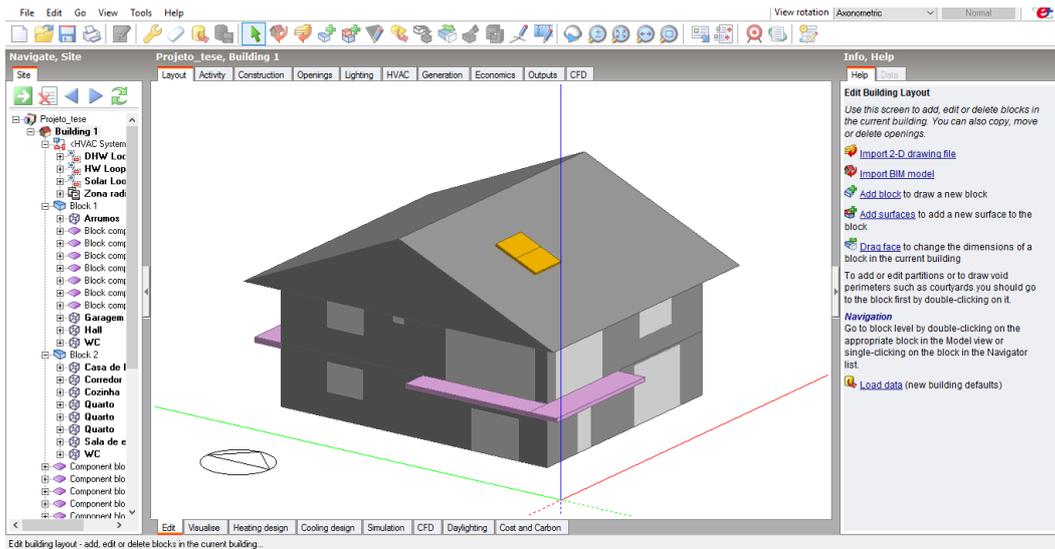


Figura 45 - Representação da geometria do modelo concluído

Os elementos a cinzento-escuro representam os elementos construtivos do edifício que representam as paredes exteriores, pavimentos e cobertura. Nestes mesmos elementos existem elementos a cinzento-claro, que representam os elementos envidraçados (janelas e portas). Os elementos a roxo são *Component block - Standard*, e representam os elementos de construção complementares que proporcionam sombra e reflexão noutros elementos.

A Figura 46 apresenta a representação geométrica do modelo em estudo já concluído, visto pelo interior, onde estão apresentados o rés-do-chão e o andar.

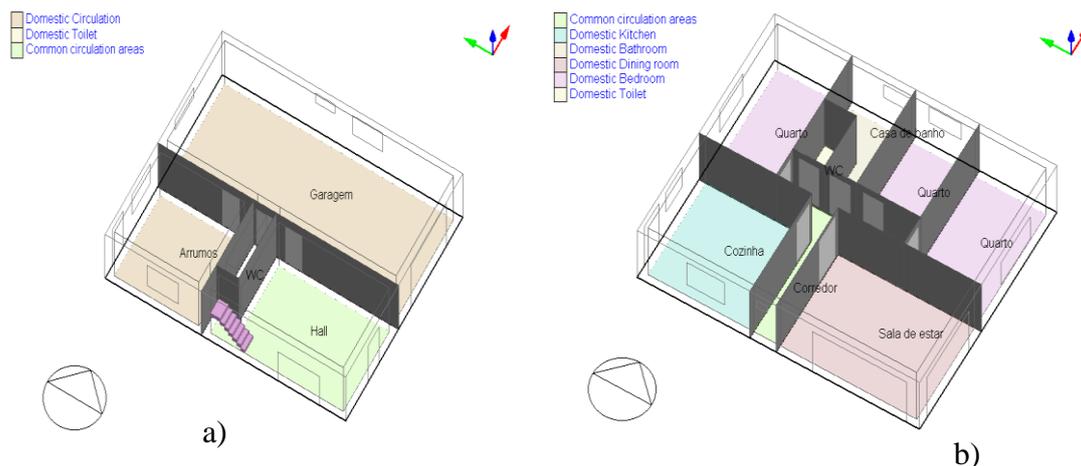


Figura 46 - Vista interior da representação geométrica do modelo concluído

Já com o modelo geometricamente definido, as fases seguintes consistem na caracterização do modelo.

3.3.1.3 Identificação das zonas

Terminando o modelo geométrico, é necessário identificar cada zona e as atividades associadas. A identificação das zonas em função da atividade tem uma grande relevância do ponto de vista da simulação, dado que, serão associados dados relevantes às divisões interiores do edifício, tais como, a ocupação (pessoas/m²), equipamentos que funcionam nesses espaços, período de utilização desses espaços, entre outros, influenciando deste modo os ganhos térmicos internos, o que vai alterar os requisitos de aquecimento, arrefecimento e/ou ventilação.

Para isto, o programa apresenta um separador destinado à seleção da atividade, onde é possível escolher e/ou definir os requisitos pretendidos para cada zona do edifício. Mais uma vez, o *DesignBuilder* dispõe de uma variada lista de *templates* pré-definidos que referem as características gerais de uma dada atividade para uma determinada zona. Ao selecionar uma determinada atividade, o programa associa automaticamente fatores como a ocupação, renovação de ar, requisitos de temperatura, iluminação e equipamentos. Estes valores podem ser alterados posteriormente quando necessário, de modo a adequá-los ao edifício em questão.

É possível definir a temperatura de *setpoint*, que corresponde à temperatura pretendida para quando na zona estão presentes pessoas, e também é possível definir a temperatura de *setback*, que corresponde à temperatura para quando não está ninguém presente na zona ou seja, quando esta não está ocupada.

A Figura 47 apresenta a janela de seleção da atividade para o exemplo de uma zona destinada ao quarto.

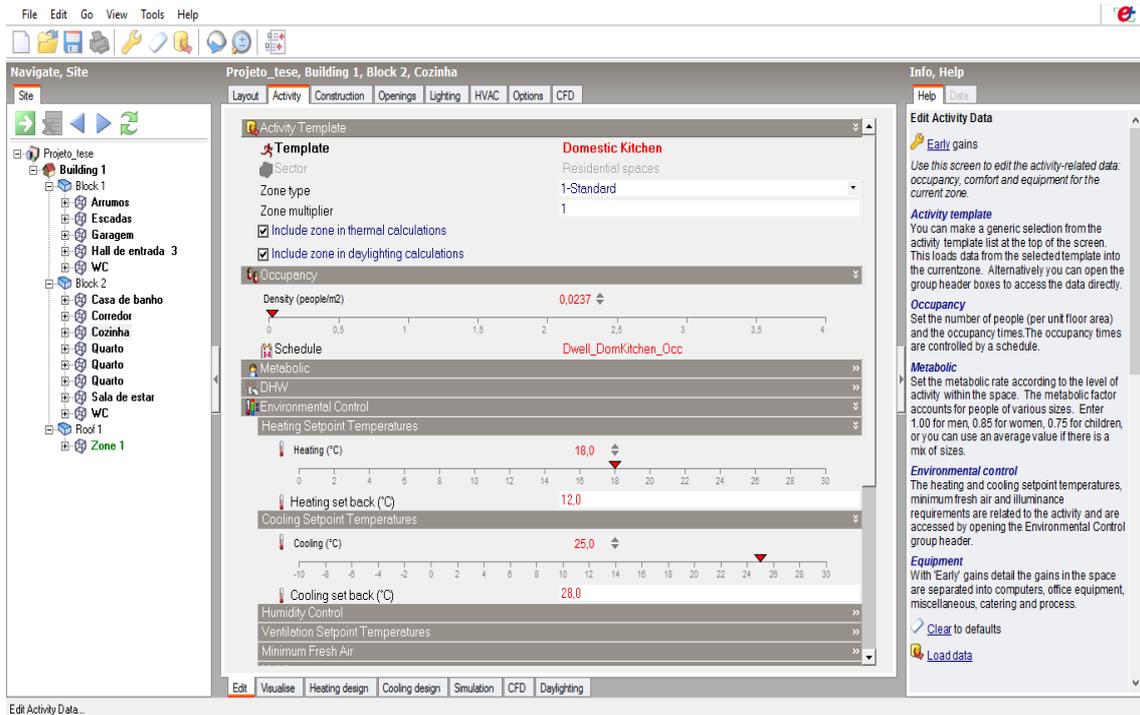


Figura 47 - Janela de seleção do tipo de atividade para determinada zona

Na Figura 48 estão apresentadas as plantas do edifício em estudo com as respetivas zonas identificadas.

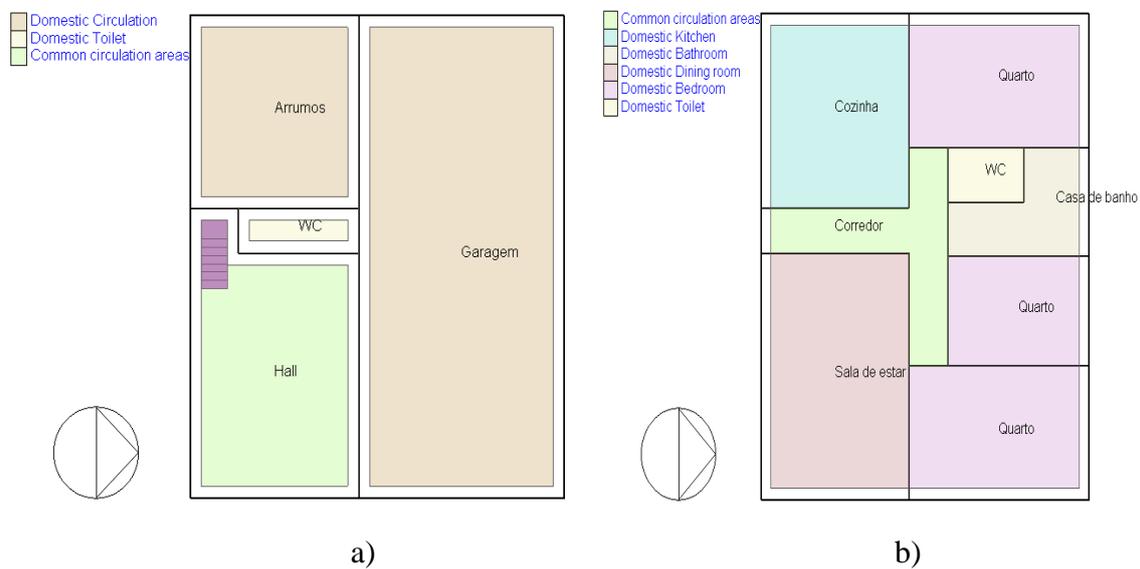


Figura 48 - Plantas do edifício em estudo com as zonas identificadas

3.3.1.4 Definição dos elementos construtivos

A próxima fase consiste em definir o modelo de simulação consoante a caracterização construtiva do edifício. Utilizando o separador “Construction”, podem ser definidas as

principais propriedades construtivas de todos os elementos do modelo em análise, como as paredes, pavimento e cobertura. Esta especificação das características construtivas irá ditar o desempenho energético da envolvente opaca, tendo grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como nas condições de conforto dos ocupantes.

De forma a definir as características construtivas de um determinado elemento é possível adotar um modelo pré-definido disponível na base de dados, ou por outro lado, criar uma nova caracterização específica. Para isto existem também diferentes materiais de construção que estão disponíveis na base de dados do *software*, sendo assim possível introduzir novos materiais e soluções construtivas.

Na Figura 49 está apresentada a janela destinada à caracterização construtiva do modelo do edifício.

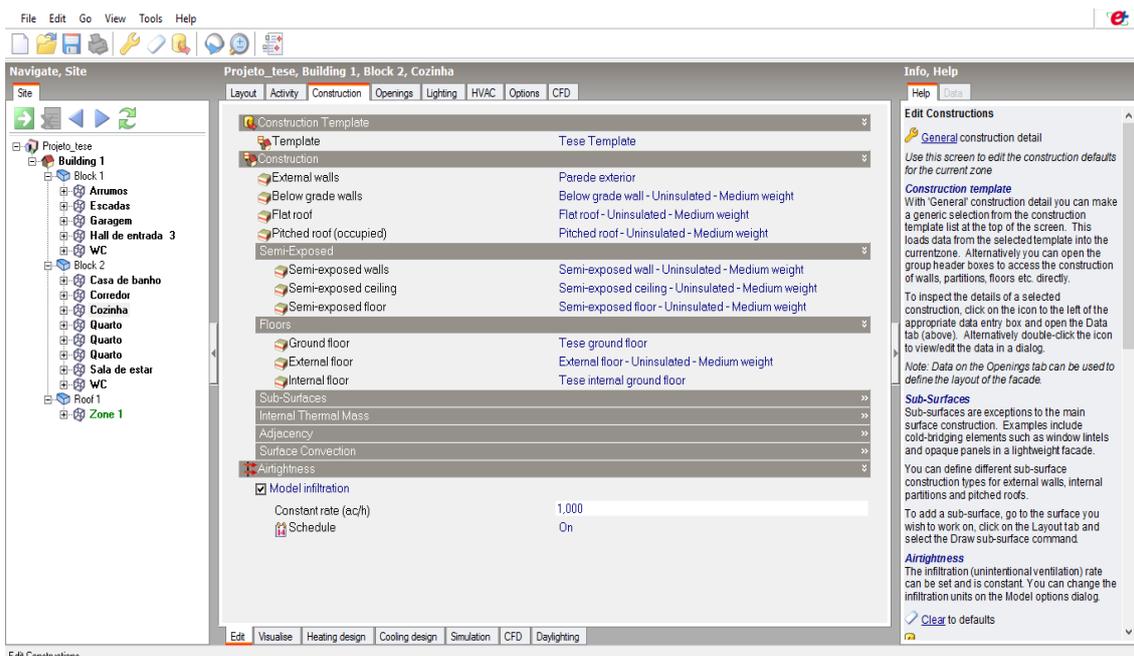


Figura 49 - Janela de caracterização construtiva para os elementos da envolvente opaca

Na Figura 50 é possível observar um exemplo de caracterização construtiva, apresentando a caracterização das diferentes camadas do elemento e os respetivos materiais constituintes no caso de uma parede exterior.

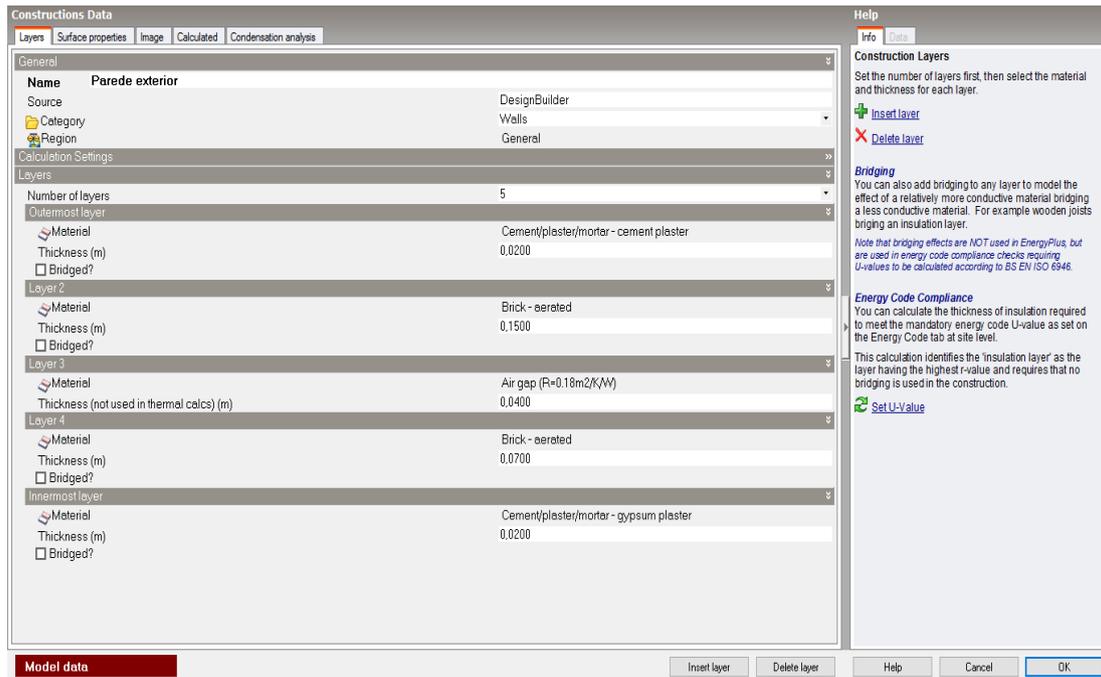


Figura 50 - Janela de edição da caracterização construtiva para um dos elementos da envolvente opaca – parede exterior

É possível também observar as propriedades de cada material bem como as propriedades globais da parede, tais como, o coeficiente de transmissão térmica, a resistência térmica, a densidade, entre outros (Figura 51). A caracterização de outros elementos construtivos como coberturas e pavimento é realizada de forma idêntica.

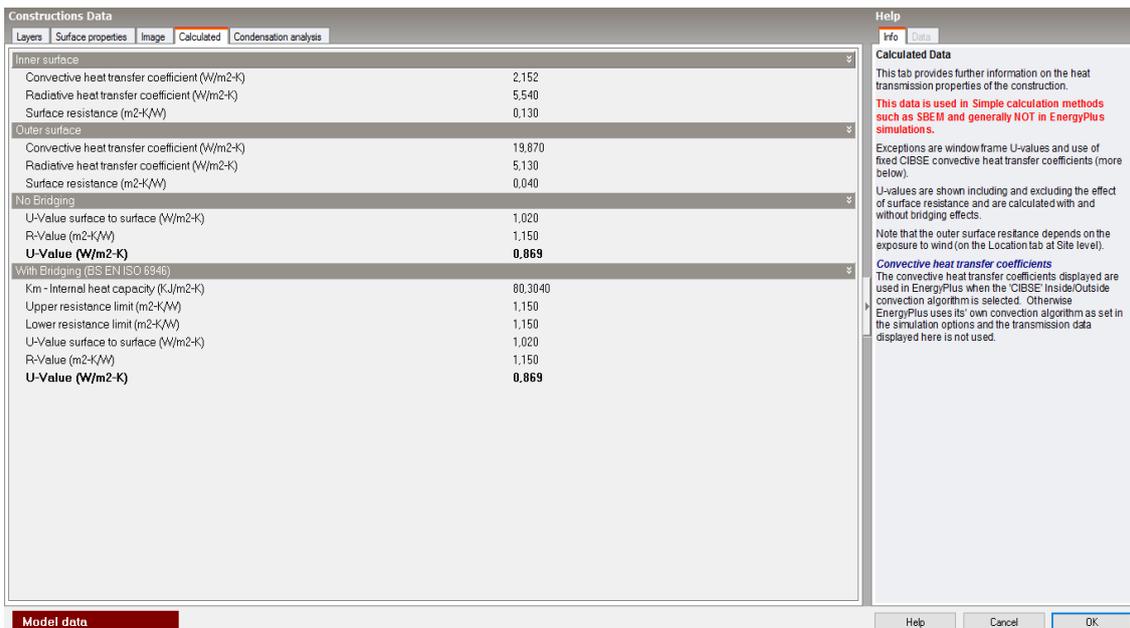


Figura 51 - Janela referente às propriedades de um determinado elemento construtivo

Após a definição do elemento é possível visualizar a imagem em corte, do elemento construtivo, que no exemplo da Figura 52 é a parede exterior.

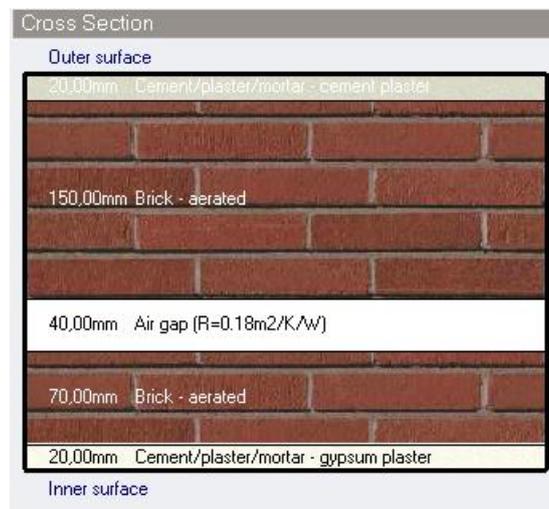


Figura 52 - Representação esquemática da constituição parede exterior, apresentada pelo DesignBuilder

3.3.1.5 Definição dos vãos envidraçados

O próximo passo está relacionado com a seleção do tipo de vãos envidraçados (Figura 53). Entrando no separador *Openings*, destinado à caracterização dos vãos envidraçados, é possível escolher o tipo de envidraçado através da lista pré-definida disponibilizada pelo programa ou criar um novo modelo consoante os requisitos desejados.

Ainda dentro deste parâmetro é possível selecionar o tipo de sistema de sobreamento e um plano de utilização, caso este não seja um sistema fixo.

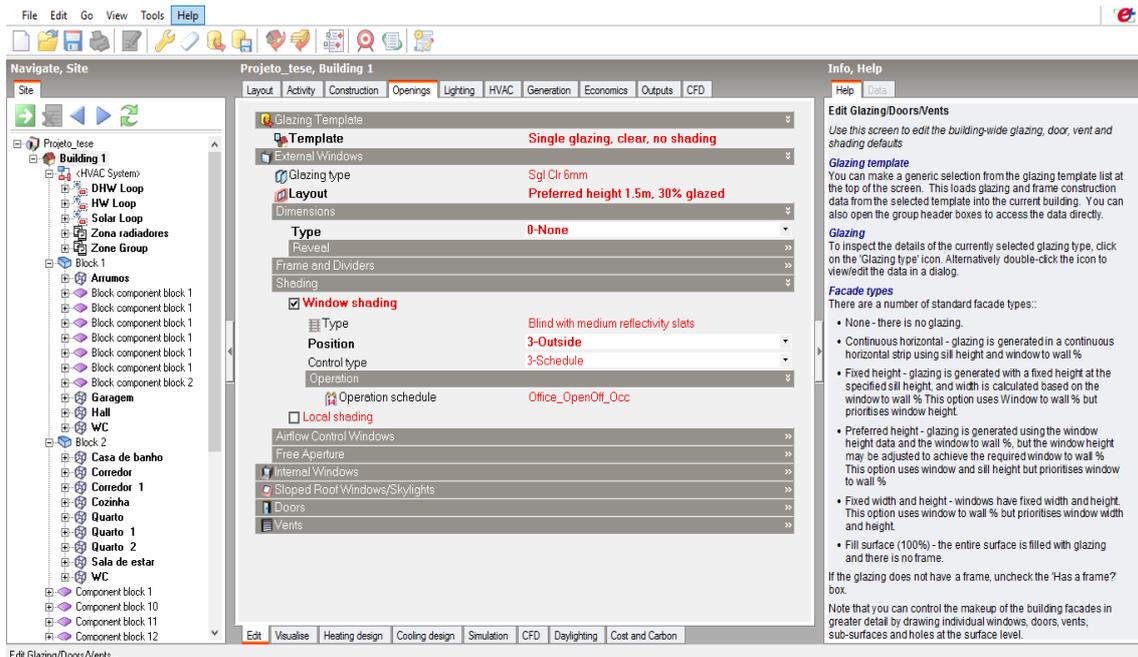


Figura 53 - Janela referente à seleção dos tipos de vãos envidraçados

No caso em estudo foi definida uma solução única para todos os vãos envidraçados, composta por uma janela com vidro simples, utilizando os materiais disponíveis na lista *Glazing Data/ Panes* (Figura 54). Na definição das características dos envidraçados é possível também visualizar a sua constituição, bem como, tipo de vidros utilizados, número de vidros, espessuras dos vidros e caixa-de-ar entre vidros.

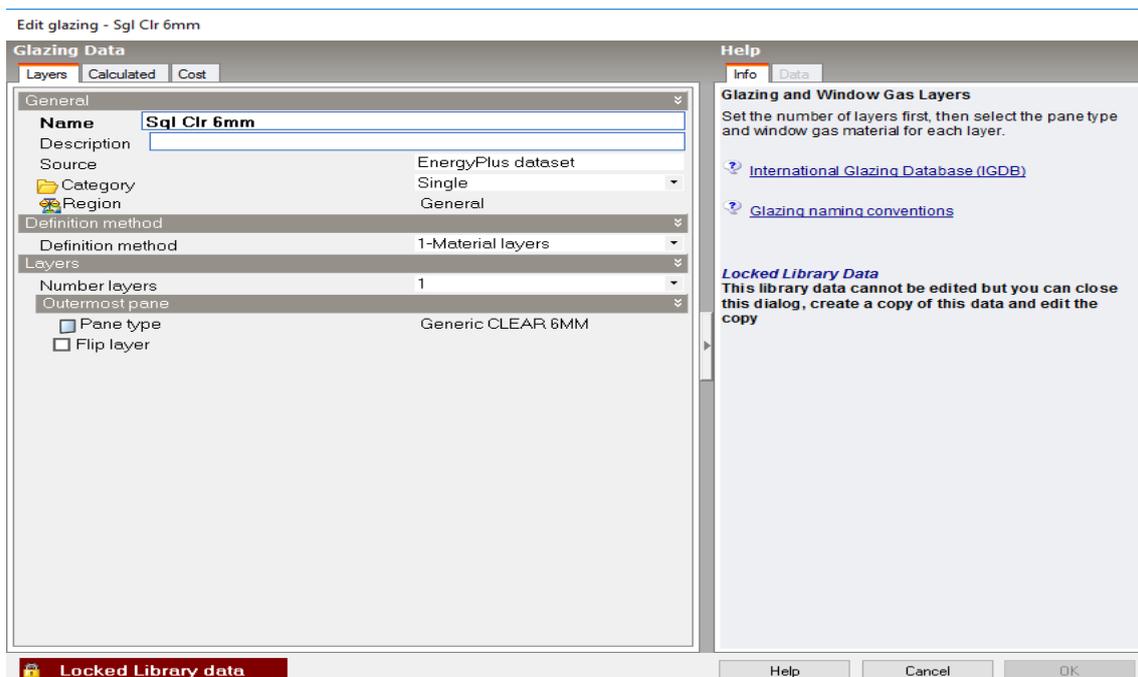


Figura 54 - Separador de definição das características do envidraçado

Neste separador é também possível visualizar o coeficiente de transmissão térmica, entre outros dados, da solução constituída (Figura 55).

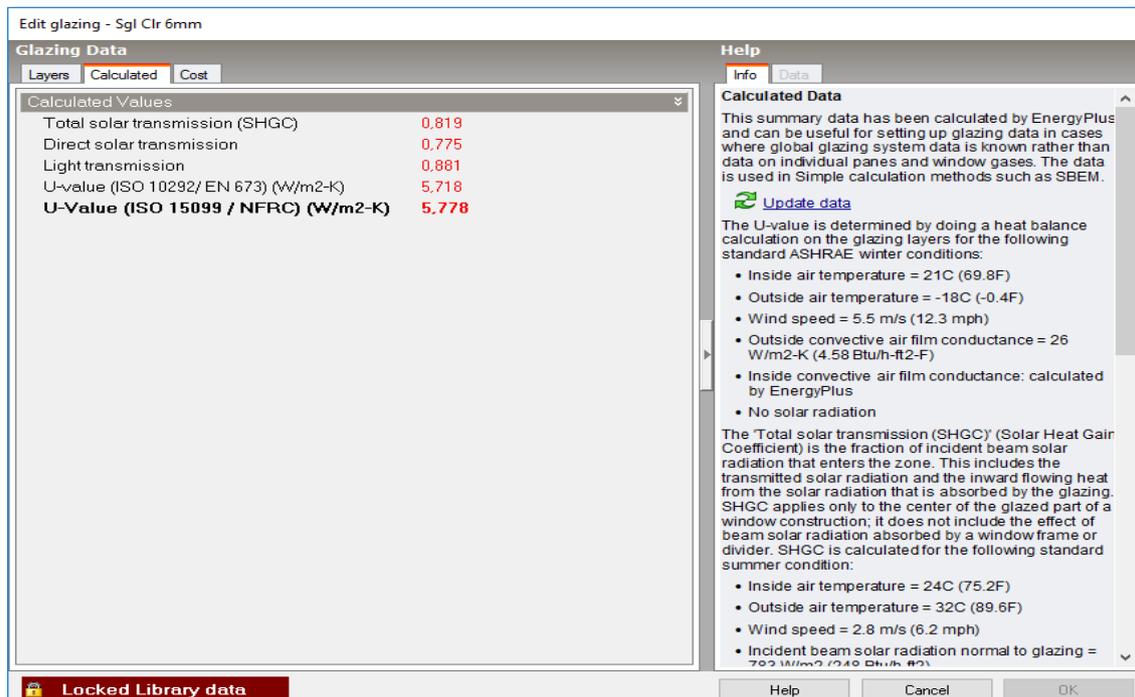


Figura 55 - Separador indicativo das propriedades referentes ao envidraçado

3.3.1.6 Definição do tipo de iluminação

Relativamente à iluminação, esta é realizada no separador *Lighting*, e mais uma vez o *DesignBuilder* também dispõe de *templates* pré-definidos que podem ser selecionados consoante a zona a que se destinam (Figura 56), de forma ao programa associar automaticamente o desempenho da iluminação e os respetivos consumos de energia consoante a zona selecionada.

No caso em estudo foi considerada as predefinições normais para Portugal, determinadas pelo *software* para edifícios deste tipo.

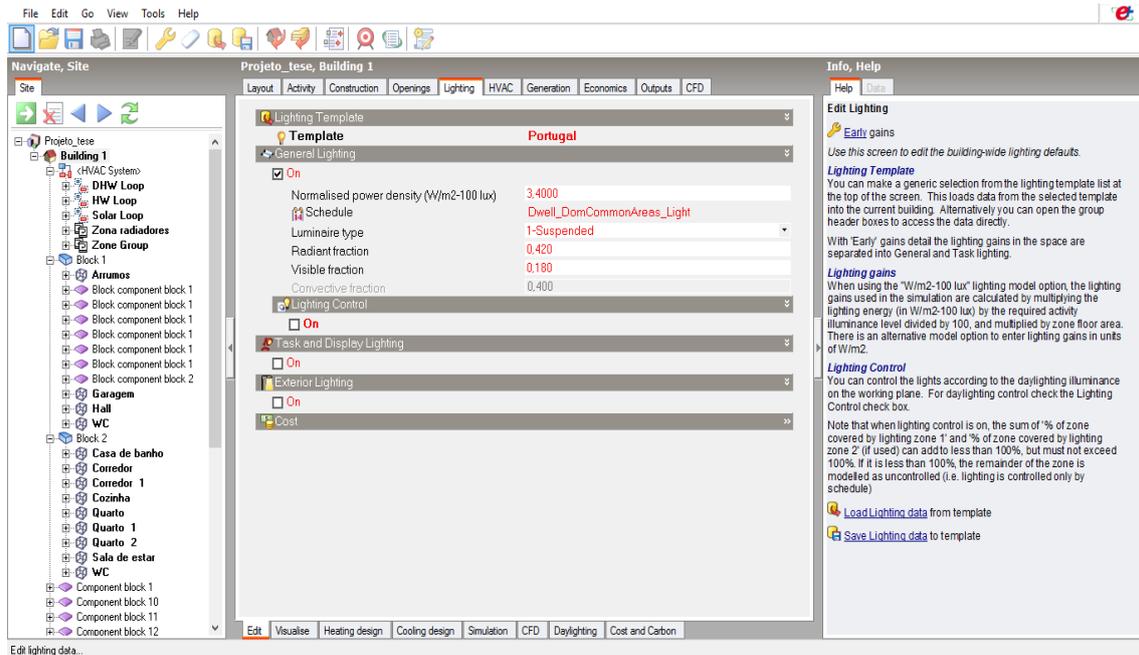


Figura 56 - Janela de seleção do modo de iluminação de uma determinada zona

3.3.1.7 Definição do sistema AVAC

Por fim, *DesignBuilder* apresenta um separador reservado para os sistemas Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), onde podem ser definidos os principais parâmetros de aquecimento, arrefecimento, ventilação e preparação de águas quentes sanitárias (AQS) instalados no edifício.

Através da lista de *templates* fornecida pode ser selecionado o modelo para Portugal, definindo este um sistema AVAC típico de um edifício comum para este país. Caso seja necessário, é possível selecionar e/ou alterar alguns parâmetros como a utilização de ventilação mecânica e/ou natural, o tipo de fonte de energia para aquecimento e/ou arrefecimento (gás natural, eletricidade, etc.), entre outros.

No caso em estudo foi considerada que as necessidades de AQS e aquecimento ambiente são colmatadas por uma caldeira a gás natural e por ar condicionado. As restantes predefinições foram consideradas as normais para Portugal, determinadas pelo *software*, para edifícios deste tipo.

Na Figura 57 é possível observar o separador relacionado com os sistemas AVAC.

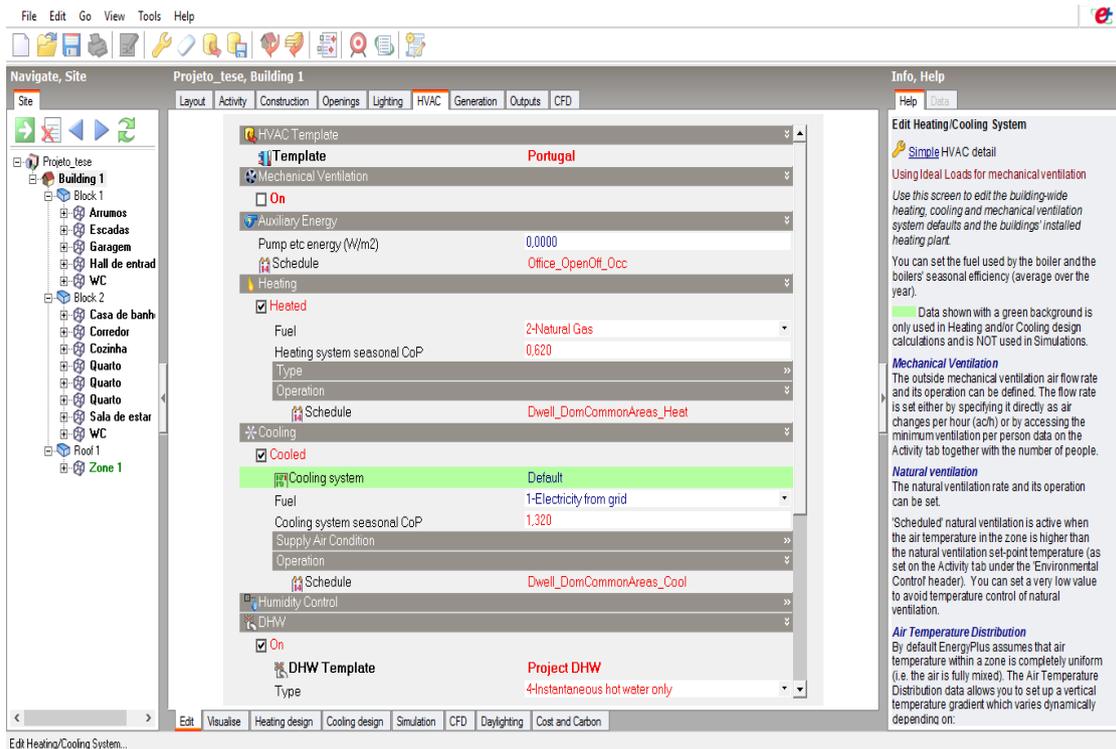


Figura 57 - Janela de seleção de sistemas AVAC

3.3.1.7.1 Modelação do sistema AVAC

Uma vez que neste separador não é possível colocar todas as características do sistema AVAC e o *DesignBuilder* não dispõe de nenhum modelo que estivesse de acordo com as características do edifício em estudo foi necessário criar um novo sistema AVAC de acordo com o modelo do edifício em estudo.

Deste modo, criou-se o seguinte sistema composto por três principais circuitos (Figura 58):

- Circuito do sistema solar (zona azul);
- Circuito de aquecimento (zona a verde).
- Circuito da água quente (zona a vermelho).

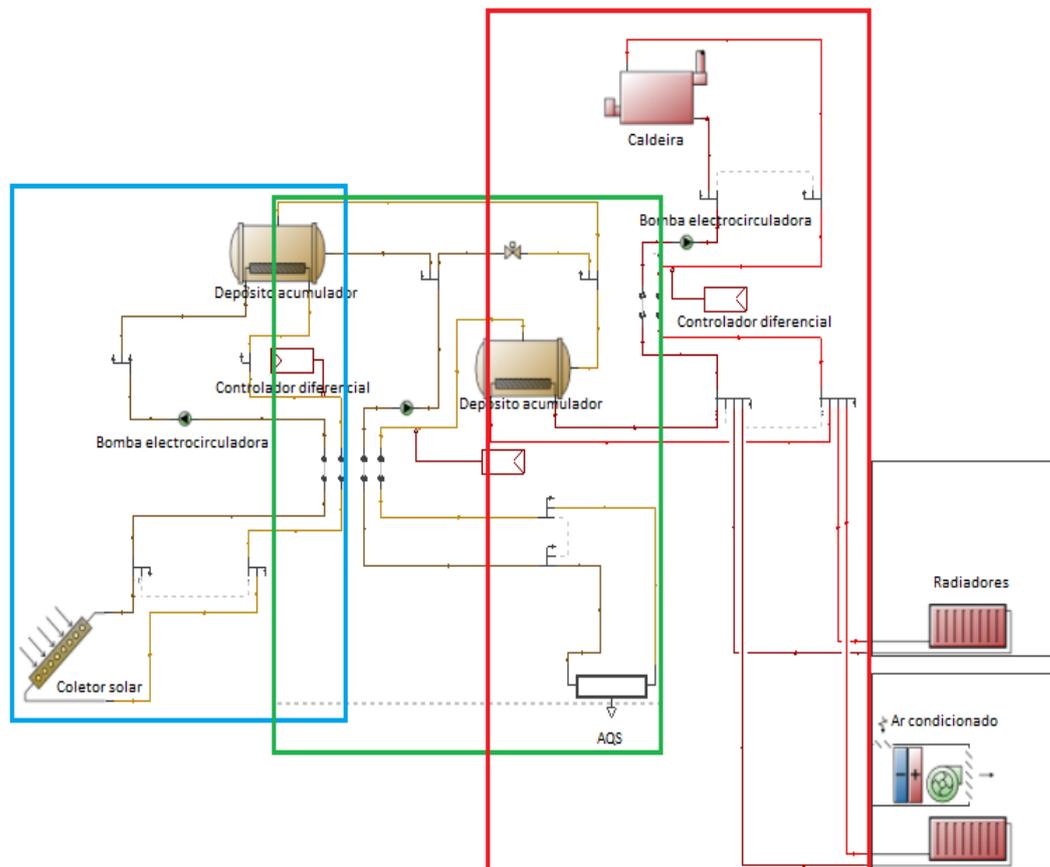


Figura 58- Modelo de simulação AVAC

Circuito do sistema solar

Relativamente ao circuito do sistema solar, optou-se por um Sistema Solar Térmico de circulação forçada, um sistema composto por um conjunto de equipamentos, especificamente painéis solares, depósito, grupo de circulação, central de controlo, entre outros.

A nível de funcionamento, a radiação solar incide sobre a cobertura em vidro que compõe a parte superior do coletor solar que fica no exterior do edifício, penetrando no interior do painel solar. O calor é transferido para o fluido que circula pela tubagem, em circuito fechado, com o auxílio da bomba eletrocirculadora e por sua vez transfere esse calor através a serpentina do depósito para a água de consumo. A circulação do fluido é gerida pelo controlador diferencial e pelo grupo de circulação, que é regulado de modo a por a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura entre o coletor e o depósito seja de 5°C.

Este tipo de sistemas também possibilita a combinação com outras fontes térmicas renováveis, como por exemplo, neste caso, com bombas de calor (Figura 59).

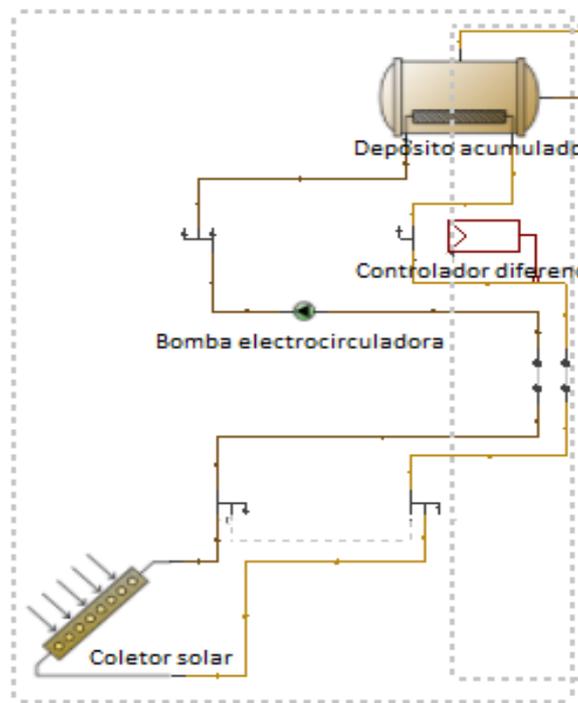


Figura 59 - Circuito do sistema solar

O *DesignBuilder* dispõe de separadores próprios para a definição dos diversos equipamentos que compõe o sistema solar, permitindo-nos escolher o tipo de coletor solar a instalar, a sua localização e características (Figura 60). Também dispõe de uma variada lista de coletores solares, desde coletores planos sem cobertura, coletores planos com cobertura e coletores de tubos de vácuos, com as suas características já predefinidas.

No caso do edifício em estudo foi selecionado um coletor solar plano com cobertura.

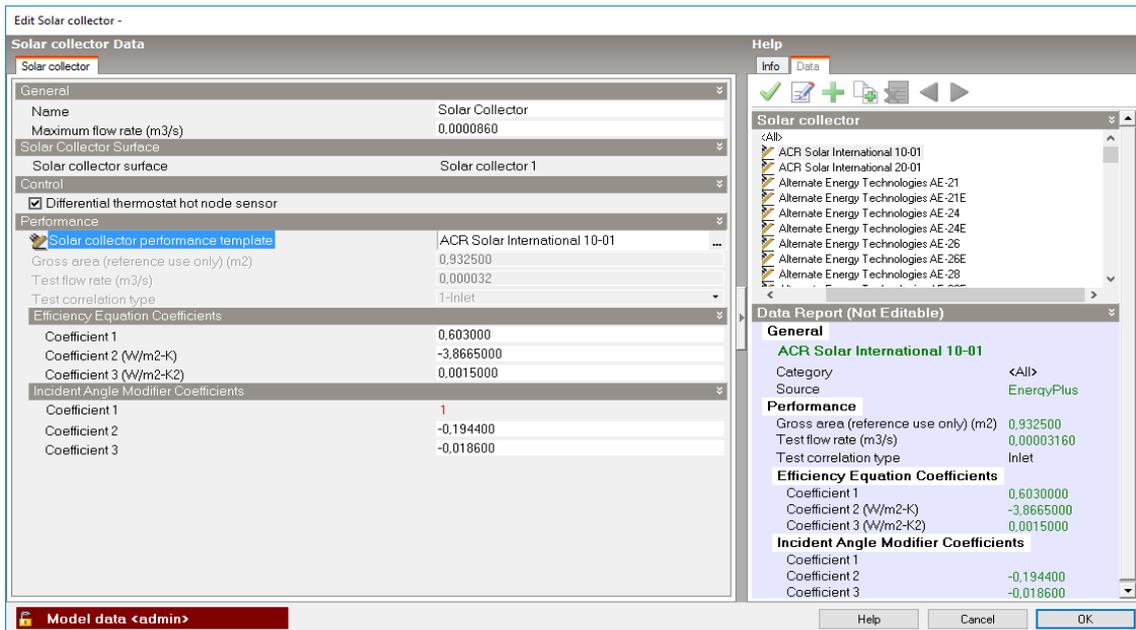


Figura 60 - Escolha do coletor solar

Na Tabela 6 são apresentadas as características do coletor solar plano com cobertura adotado, com a geometria semelhante ao coletor existente no edifício em estudo.

Tabela 6 - Características do coletor solar

Identificação do coletor	Dimensão (mm)			Área (m ²)	Peso (kg)	Rendimento ótico (%)	Coef. perdas térmicas	
	Comp.	Larg.	Altura				a1 (W/m ² -K)	a2 (W/m ² -K)
ACR Solar International 10-01 www.solarroofs.com	1834	508	76	0,93	8,63	60,3%	-3,86650	0,00150

Através da lista de depósitos acumuladores disponíveis no *DesignBuilder* foi possível escolher o tipo de depósito e a sua capacidade de acordo com coletor solar existente. Neste caso optou-se por um depósito acumulador com uma capacidade de 200 litros e na definição dos restantes elementos que compõe o sistema foram considerados os elementos atribuídos automaticamente pelo *software*.

Na Figura 61 são apresentadas as características do depósito acumulador do circuito do sistema solar.

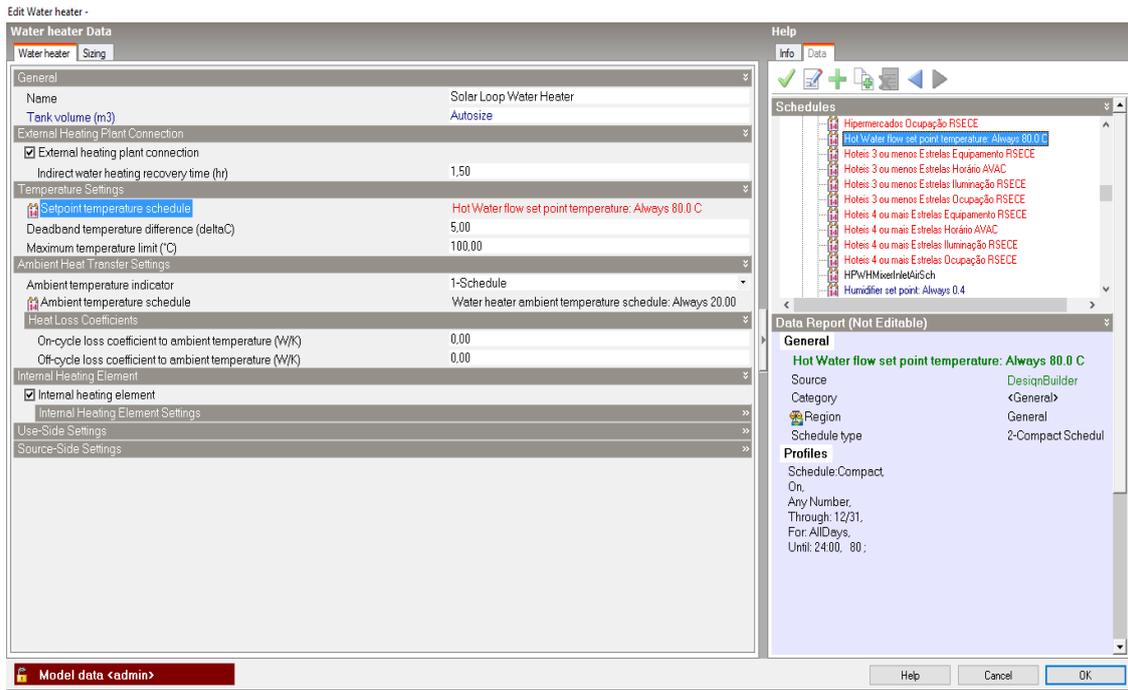


Figura 61 - Definição do depósito acumulador do circuito do sistema solar

Circuito de água quente

Na Figura 62 está apresentado o circuito de água quente, composto por uma caldeira a gás natural, um circuito de água quente, uma bomba electrocirculadora, um controlador diferencial, entre outros elementos.

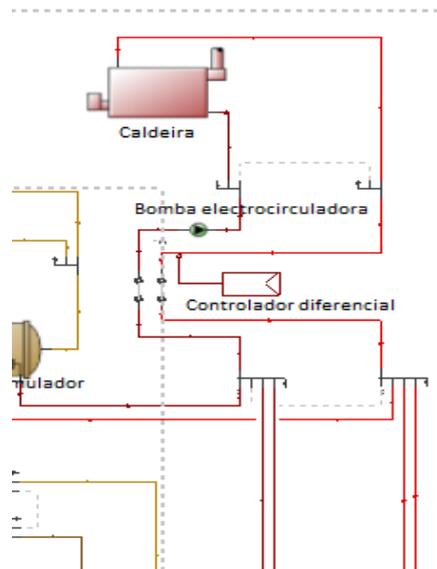


Figura 62 - Circuito de água quente

A caldeira a gás é o sistema de apoio para quando o coletor solar não for suficiente para fornecer água quente, acrescentando a diferença de temperatura entre a temperatura da água proveniente do depósito do circuito solar e a temperatura desejada pelo utilizador. Ou seja, este sistema só irá funcionar quando os ganhos solares do sistema solar forem insuficientes de forma colmatar as necessidades de AQS e do aquecimento ambiente solicitado.

O circuito de água tem como objetivo fazer a ligação entre a caldeira e o depósito acumulador do circuito do aquecimento. Relativamente ao controlador diferencial, à bomba electrocirculadora e os restantes elementos têm como objetivo controlar e ativar todo o sistema.

Mais uma vez, o *DesignBuilder* dispõe de uma variada lista de tipos de caldeiras já com as suas características predefinidas, permitindo escolher o tipo de caldeira a instalar (Figura 63). A caldeira escolhida foi uma das caldeiras disponíveis pelo *software* cujas características estão apresentadas na Tabela 7.

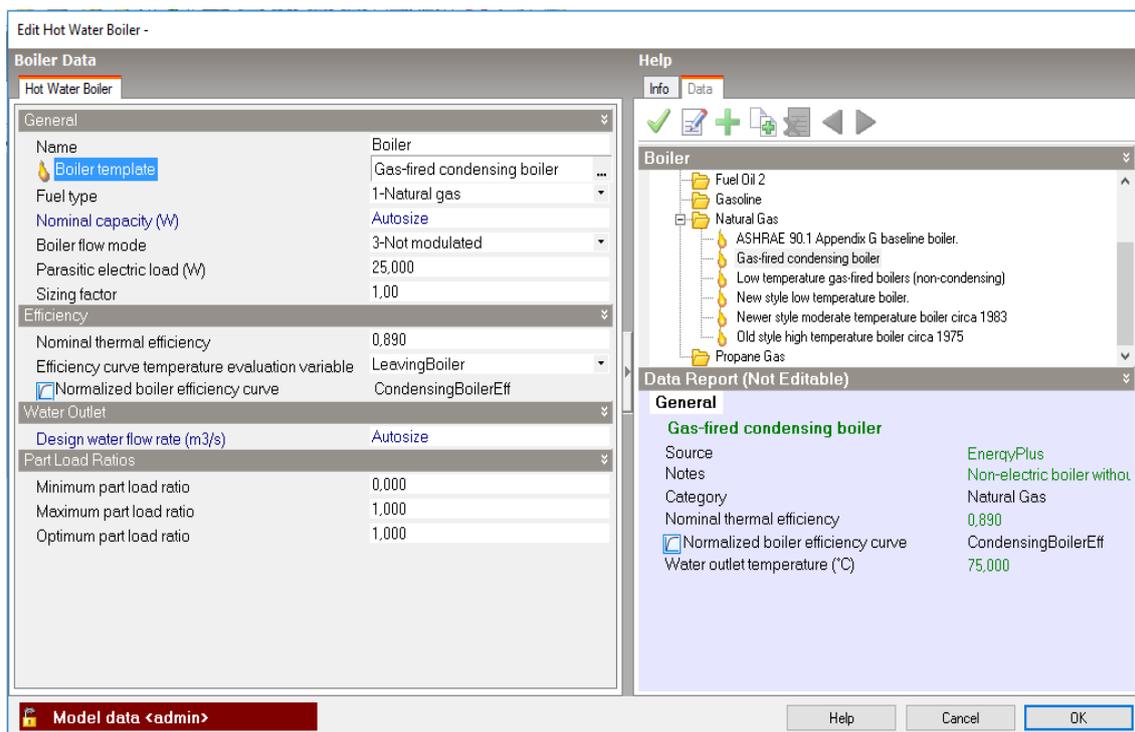


Figura 63 - Definição da caldeira de apoio

Tabela 7 - Características da caldeira adotada

Identificação da caldeira	Capacidade nominal (W)	Carga elétrica (W)	Fator de dimensionamento	Eficiência térmica nominal	Caudal de água em projeto (m ³ /s)
Boiler – Gas-fired condensing boiler	12000	25	1	0,89	0,00024

Circuito de aquecimento

O circuito de aquecimento é um sistema que consiste no transporte da água à temperatura desejada para os vários compartimentos da habitação (grupos de zonas), composto por um depósito acumulador, uma bomba electrocirculadora, um controlador diferencial, entre outros elementos (Figura 64).

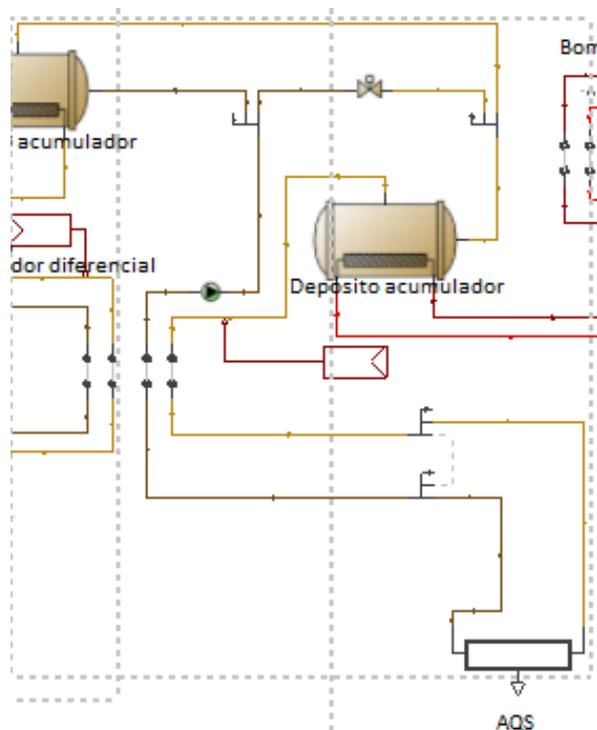


Figura 64 - Circuito de aquecimento

Na definição do depósito acumulador, o *DesignBuilder* permite escolher o tipo de depósito apropriado, bem como a sua capacidade e demais características (Figura 65). Neste caso foi considerado um depósito acumulador com uma capacidade de 200 litros, disponível na lista de depósitos do *software*.

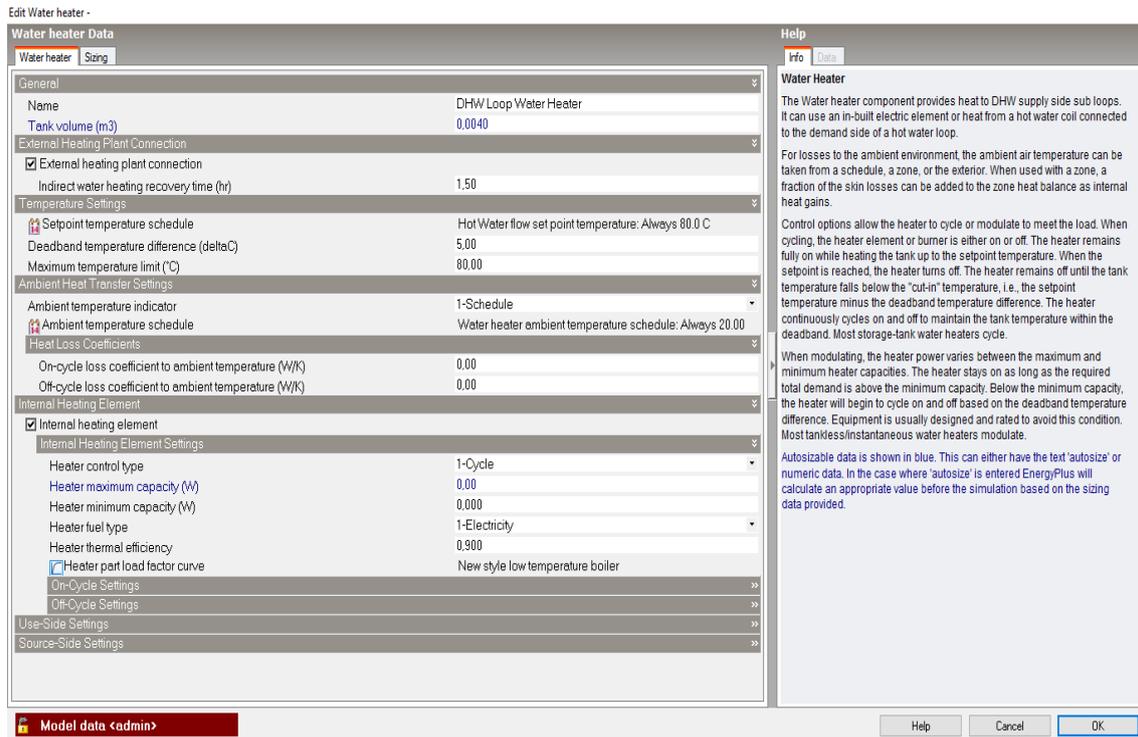


Figura 65 - Definição do depósito acumulador do circuito de aquecimento

Adaptação da modelação do sistema ao AQS

O modelo de sistema solar escolhido foi um modelo que contemplava o aquecimento ambiente através de radiadores. Com base neste sistema foi unicamente necessário acrescentar ao circuito que alimenta os radiadores para aquecimento ambiente a componente AQS (DHW loop), onde se podem seleccionar as zonas que necessitam de AQS e definir as devidas características deste sistema.

A versão final da Modelação do sistema de AQS e Aquecimento Ambiente é apresentada na Figura 66.

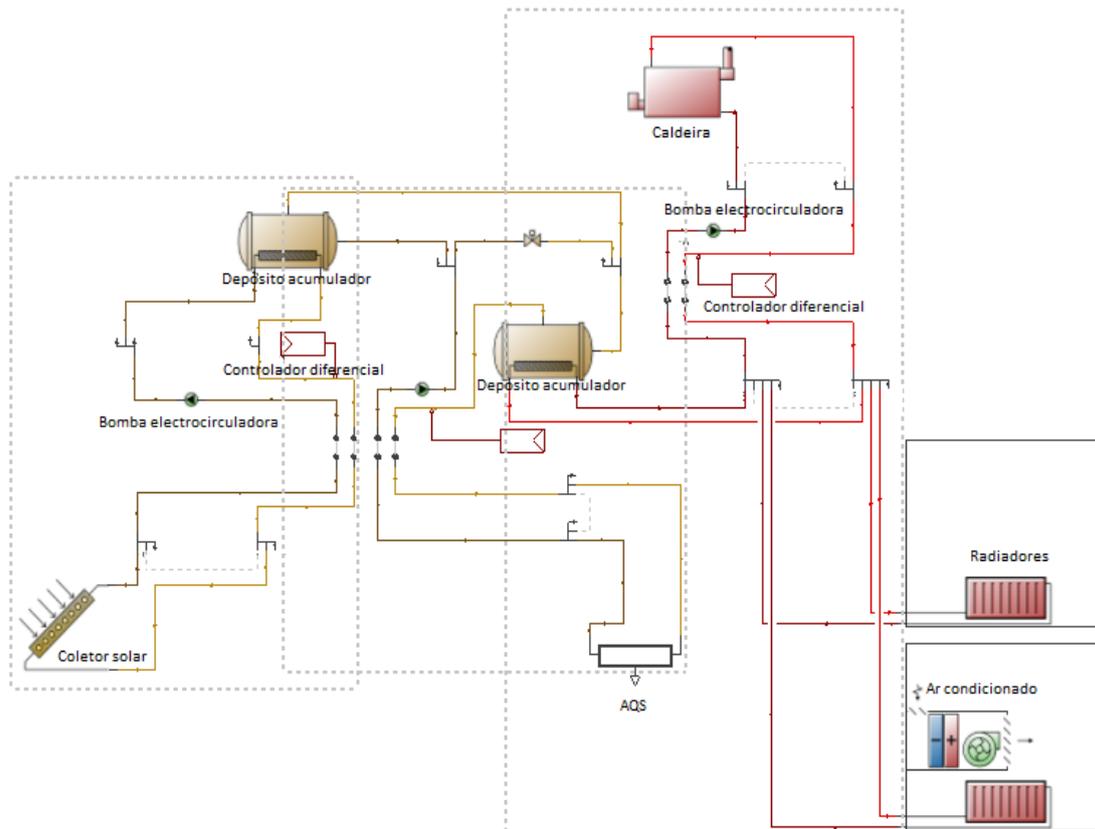


Figura 66 - Modelo definido para a preparação de AQS e Aquecimento Ambiente

Após estes passos serem efetuados, a conceção do modelo está completa, sendo possível determinar o desempenho energético do edifício através de simulações dinâmicas para o período de tempo pretendido (Figura 67).

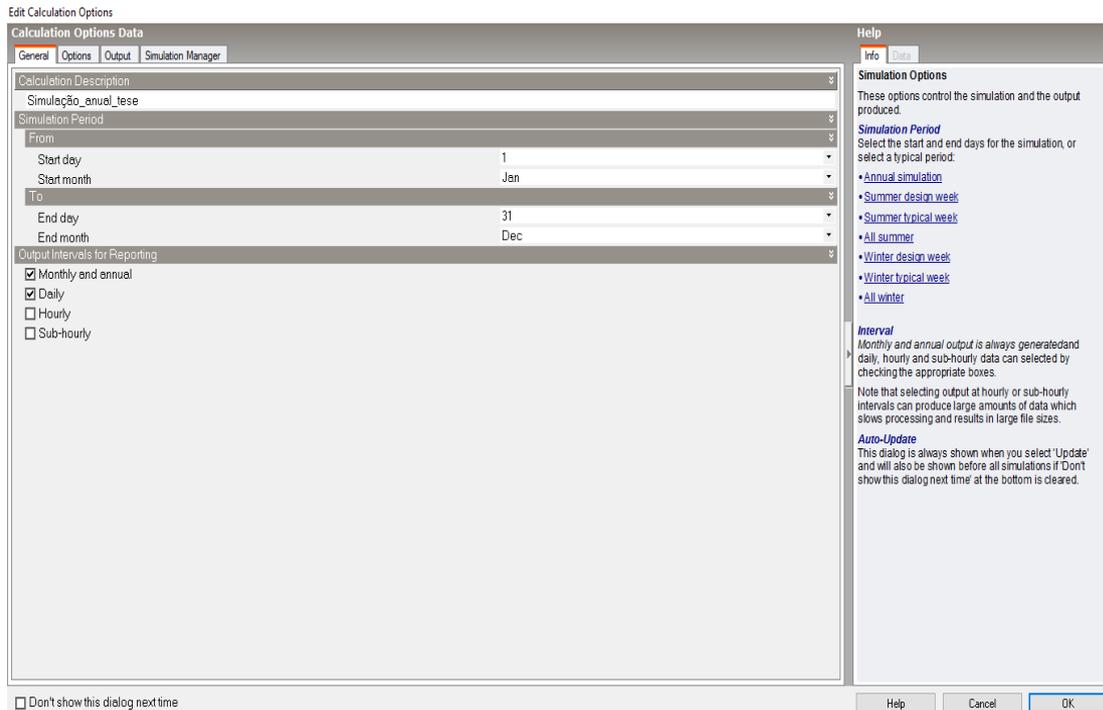


Figura 67 - Período de tempo pretendido para a simulação

No final de cada simulação o *DesignBuilder* 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 também disponibilizado um relatório final que apresenta os principais aspetos do desempenho energético do edifício permitindo uma análise mais generalizada.

3.3.2 Software de simulação – Acoubat Sound

O *Acoubat Sound* é um programa de previsão acústica desenvolvido pelo Centre Scientifique e Technique du Bâtiment (CSTB), em França, que permite efetuar o cálculo do isolamento sonoro no domínio da frequência entre espaços, quer para sons de condução área, quer para sons de percussão e modelar em conformidade com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [45] e com o disposto na Norma EN 12345:1999 [35], relativa ao cálculo do desempenho acústico dos edifícios, com base no desempenho acústico dos elementos de construção.

Para a realização do cálculo de estimativa do comportamento acústico (sons aéreos e de percussão), o modelo recorre a uma base de dados, integrada no mesmo, onde constam as características de comportamento acústico de várias soluções de compartimentação.

A Figura 68 apresenta um exemplo da base de dados do programa *Acoubat Sound* onde é possível identificar a curva de isolamento sonoro para os diferentes elementos de compartimentação.

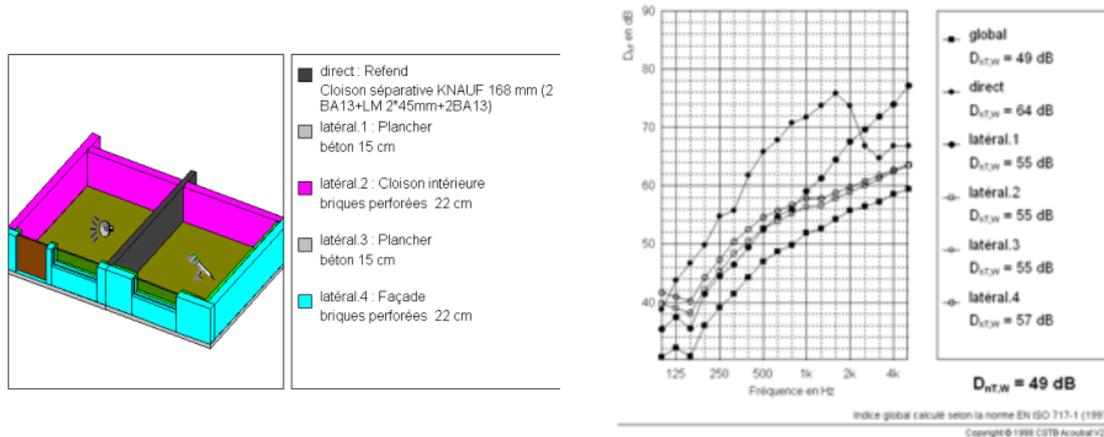


Figura 68 - Exemplo de ficheiro do *Acoubat Sound* com geometria e valores de isolamento sonoro

Este programa não permite a modelação dos espaços de acordo com a geometria exata do edifício, permitindo apenas a utilização de espaços retangulares. Desta forma foi criado um espaço com uma geometria simples, constituído por uma zona independente. Após a definição da geometria do compartimento, aos quais o programa atribui soluções construtivas por defeito, é necessário redefinir estas soluções de acordo com a opção estudada.

3.4 Simulação da qualidade do ar interior

Uma vez que as concentrações dos poluentes podem ter dimensões inferiores aos limites de deteção do aparelho de medição e mesmo assim haver qualidade do ar insatisfatória, na avaliação da qualidade do ar interior irá se recorrer ao modelo analítico - Metodologia de Fanger, na qual a perceção da qualidade do ar interior é determinada através da percentagem de pessoas descontentes (PPD) com a mesma e da perceção que os habitantes têm da qualidade do ar interior ao entrarem no compartimento [30].

Deste modo, a Equação 1 e Equação 2 permite calcular o PPD em função da taxa de ventilação para uma pessoa padrão.

$$PPD = 395 \times e^{-1,83 \cdot q^{0,25}} \quad \text{para } q \geq 0,32 \text{ l/s/olf} \quad (1)$$

$$PPD = 100\% \quad \text{para } q < 0,32 \text{ l/s/olf} \quad (2)$$

O Comité Europeu de Normalização (CEN) estabeleceu três níveis de qualidade do ar que refletem sucessivamente 15%, 20% e 30% de insatisfação aceitável para um dado espaço, correspondendo a graus de exigência de qualidade do ar progressivamente menores.

A curva obtida no gráfico da Figura 69 é descrita pela fórmula da Equação 1, mostrando, por exemplo, que para uma taxa de ventilação de 10 l/s/olf^{-1} espera-se 15% de insatisfação. Estes resultados também podem ser usados para prever os caudais de ventilação correspondentes a outras atividades para um determinado PPD, multiplicando-se os caudais de ventilação obtidos a partir da Figura 69 ou Equação 1 pelo número de olfs produzidos por ocupantes em diferentes atividades, como apresentado na Tabela 9.

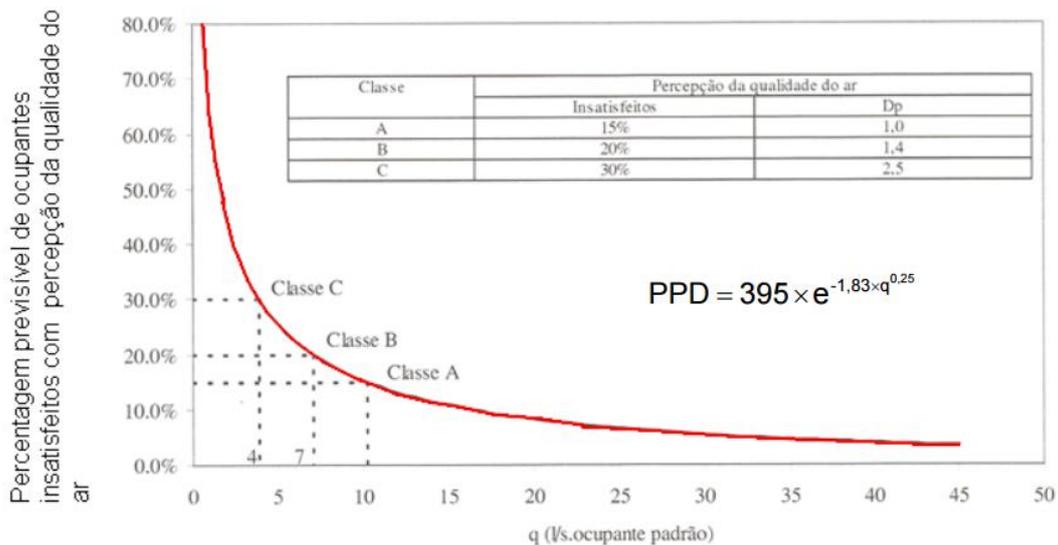


Figura 69 – Percepção da qualidade do ar [31]

Onde:

PPD – percentagem previsível de ocupantes insatisfeitos com a qualidade do ar;

q – caudal de ventilação por unidade de carga poluente sensorial;

1 olf – é definido como a poluição gerada por uma pessoa padrão.

Na Tabela 8 é apresentada uma correlação entre a percentagem de insatisfeitos (PPD) e a taxa de ventilação em $\text{ls}^{-1}\text{olf}^{-1}$.

Tabela 8 - Níveis de Qualidade do Ar

Categoria	Percepção da qualidade do ar (insatisfação)	Caudal de ventilação [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{pessoa padrão}$]	Caudal de ventilação [$\text{l/s} \cdot \text{pessoa padrão}$]
A	15%	36	10
B	20%	25,2	7
C	30%	14,4	4

De seguida, na Figura 70, é apresentada a percentagem previsível de ocupantes insatisfeitos em função da concentração de CO_2 para as três classes de conforto relacionadas com a percepção da qualidade do ar.

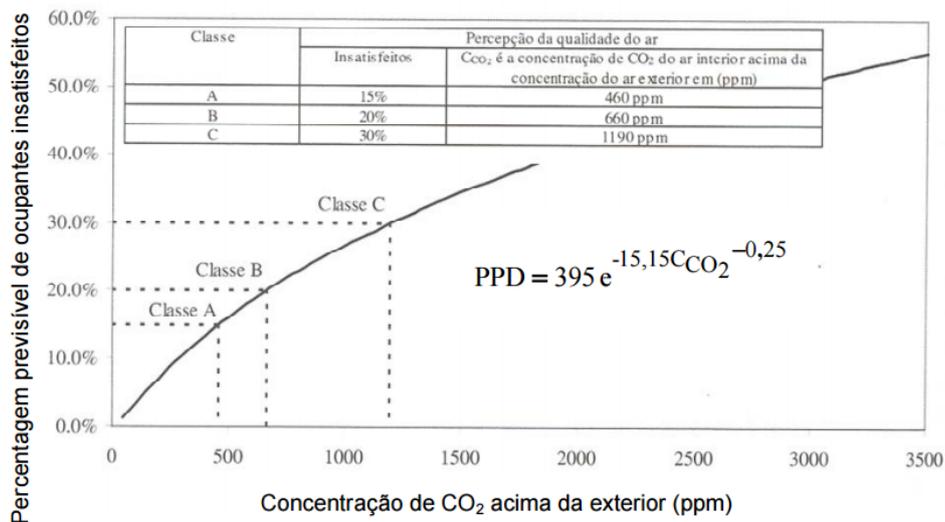


Figura 70 - Percentagem previsível de ocupantes insatisfeitos em função da concentração de CO_2 [31]

A percentagem de pessoas descontentes é obtida pela Equação 3.

$$PPD = 395 e^{-15,15 \cdot C_{\text{CO}_2}^{-0,25}} \quad (3)$$

Na Figura 71 e nas Equações 4 e 5, são apresentadas a relação entre a percentagem de pessoas descontentes (PPD) e a percepção da qualidade do ar interior (C_i).

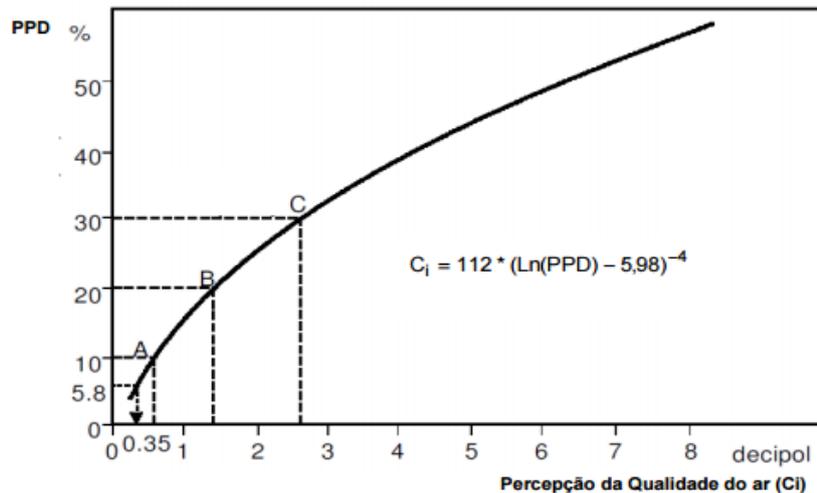


Figura 71 - Relação entre a percepção de ar interior e a percentagem de pessoas descontentes [31]

$$PPD = e^{5,98 - (112/C_i)^{0,25}} \quad (4)$$

$$C = 112 (\ln(PPD) - 5,98)^{-4} \quad (5)$$

Na Tabela 9, apresenta-se a emissividade olfativa de pessoas e alguns materiais.

Tabela 9 - Emissão olfativa de alguns elementos [30]

Pessoa/objeto	Emissão olfática (olf)
Pessoa sentada (1 met)	1 olf
Pessoa ativa (4 met)	5 olf
Pessoa ativa (6 met)	11 olf
Fumador (sem estar a fumar)	6 olf
Fumador	25 olf
Atleta	30 olf
Mármore	0,01 olf/m ²
Linóleo	0,2 olf/m ²
Fibra sintética	0,4 olf/m ²
Borracha	0,6 olf/m ²

A qualidade do ar no interior pode ser melhorada através da eliminação e redução das fontes poluentes e pela ventilação. A ventilação do espaço pode ser geral, sendo o controlo dos poluentes efetuados por diluição ou, por sua vez, utilizar um sistema de ventilação local para extração local dos poluentes.

A carga de poluição sensorial num espaço pode ser obtida através da adição das cargas sensoriais das diversas fontes existentes, englobando os ocupantes e materiais do edifício, e cargas de poluentes negativos, no caso dos sistemas de ventilação.

Na Tabela 10 e Tabela 11 são apresentadas as cargas poluentes sensoriais e química emitida pelos ocupantes e pelos materiais de um edifício [31].

Tabela 10 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes [30]

Atividade	Carga de poluição sensorial [olf/ocupante]	CO ₂ [l/h.ocupante]	CO [l/h.ocupante]	Vapor de água [g/h.ocupante]
Sedentária (1 a 1,2 met)				
0% Fumadores	1	19		50
20% Fumadores	2	19	11 x 10 ⁻³	50
40% Fumadores	3	19	21 x 10 ⁻³	50
Exercício físico				
Fraco (3 met)	4	50		200
Médio (6 met)	10	100		430
Alto (10 met)	20	170		750
Crianças (infantário e escola)				
3 a 6 anos (2,7 met)	1,2	18		90
14 a 16 anos (1 a 1,2 met)	1,3	19		50

Tabela 11 - Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício [30]

	Carga sensorial de poluição olf/m ² pavimento	
	Valor médio	Gama de valores
Edifícios existentes		
Escritórios	0,6	0 a 3
Escolas (sala de aula)	0,3	0,12 a 0,54
Infantários	0,4	0,2 a 0,74
Auditórios	0,3	0,13 a 1,32
Edifícios novos (sem fumadores)		
Edifício com materiais pouco poluentes (low-polluting)	0,1	
Edifícios não low-polluting	0,2	

Para avaliar o conforto em locais com ocupação frequente, é necessário determinar a taxa de ventilação para conforto que pode ser calculada através da Equação 6.

$$Q_c = 10 \times \frac{G_c}{C_{c,i} - C_{c,0}} \times \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (6)$$

Em que,

Q_c – Taxa de ventilação (l/s);

G_s – Carga sensorial dos poluentes (olf);

$C_{c,i}$ – Percentagem da qualidade do ar interior pretendida (dp);

$C_{c,0}$ – perceção da qualidade do ar exterior nas aberturas de admissão de ar do sistema de ventilação (dp);

ε_v - eficácia da ventilação.

CAPÍTULO 4 | CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO DO EDIFÍCIO

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas, no que respeita a previsão dos consumos energéticos do edifício e das condições de conforto térmico no seu interior. A previsão do isolamento acústico dos elementos da envolvente é também aqui apresentada.

Esta previsão foi realizada de forma a verificar se o edifício cumpre os requisitos e recomendações definidos na regulamentação nacional e internacional aplicável a cada uma e também identificar as melhores soluções de reabilitação.

4.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Através da simulação dinâmica efetuada usando o *DesignBuilder* é apresentado de seguida o diagnóstico energético do edifício em estudo.

Com o modelo do edifício devidamente definido é possível obter o respetivo desempenho energético, 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.

Todos os valores apresentados referem-se à área total útil, 179,89 m², do edifício em estudo.

4.1.1 Necessidades energéticas

A Tabela 12 apresenta os valores das necessidades energéticas globais do edifício no seu estado atual, referente a uma simulação dinâmica para um período de 1 ano.

Tabela 12 – Diagnóstico energético global

Simulação	Energia Total [kWh/ano]	Energia por Área Total de Construção [kWh/m ² .ano]
Diagnóstico Energético	12673,73	70,45

A Tabela 13 apresenta as necessidades energéticas em relação às diferentes finalidades de utilização de energia, nomeadamente necessidades de arrefecimento, de aquecimento e outros usos, bem como, iluminação, AQS, equipamentos, etc..

Tabela 13 – Necessidades de aquecimento, arrefecimento e outros usos de energia

	Energia Total [kWh/ano]	Energia por Área Condicionada [kWh/m ² .ano]	Necessidades globais (%)
Necessidades de aquecimento	8119,42	45,13	64,07
Necessidades de arrefecimento	13,59	0,08	0,11
Outros usos	4541,71	25,24	35,82
Global	12673,73	70,45	100%

Segundo os valores apresentados na Tabela 13, quase cerca de 64% das necessidades energéticas do edifício dizem respeito as necessidades de aquecimento, e cerca de 0,1% a necessidades de arrefecimento. Os restantes 36% dizem respeito a outras finalidades, nomeadamente iluminação, equipamentos (eletrodomésticos) e sistemas de águas quentes sanitárias (AQS).

4.1.2 Ganhos térmicos internos

Através da simulação dinâmica para um período de um ano é possível obter a energia total correspondente aos ganhos térmicos internos do edifício (ganhos brutos), relativamente ao edifício no seu estado atual, nomeadamente devido à iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solares através dos vãos envidraçados.

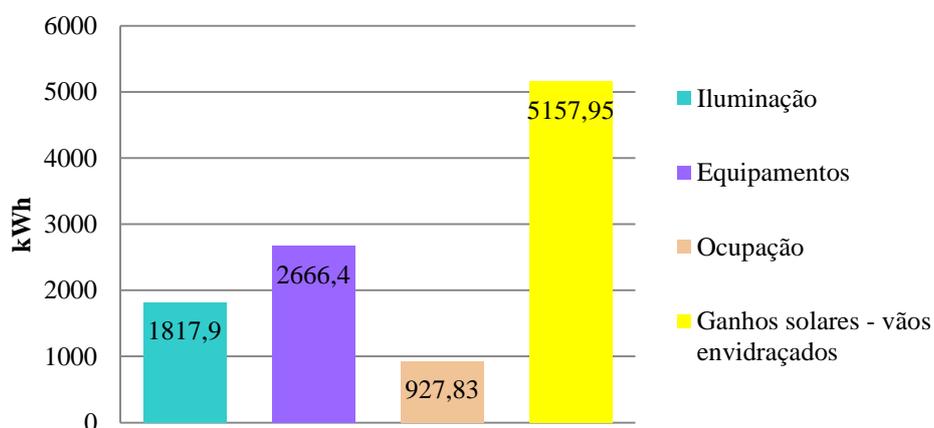


Figura 72- Ganhos térmicos

É possível observar na Figura 73 que os responsáveis pela maior parte dos ganhos térmicos internos do edifício são os ganhos solares.

4.1.3 *Produção de CO₂*

Tendo em conta que o objetivo da reabilitação visa não só a redução do consumo energético como também a diminuição do impacto ambiente, é importante ter em consideração também a produção de dióxido de carbono (CO₂) pois diz respeito ao desempenho ambiental do edifício em estudo.

A quantidade de CO₂ produzido anualmente pelo edifício em estudo, determinado através do *DesignBuilder*, é de 4285,68 kg/ano.

4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO EDIFÍCIO PARA AS NOVAS MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Esta secção destina-se à aplicação das medidas de reabilitação energética referidos no Capítulo 2, e a sua aplicação ao presente caso de estudo.

Apesar da habitação em estudo ser relativamente recente, apresenta algumas anomalias ao nível de isolamento/construção que agravam as suas necessidades energéticas. Com o intuito de minimizar essas deficiências irão ser aplicadas as seguintes medidas de reabilitação:

- Reforço do isolamento térmico das paredes exteriores;
- Reforço do isolamento térmico na laje de esteira da cobertura;
- Melhoria das características dos vãos envidraçados.

4.2.1 *Isolamento térmico nas paredes exteriores*

Esta medida de intervenção pode ser feita tendo em conta três diferentes tipos de aplicação, nomeadamente, o reforço do isolamento térmico pelo interior, pelo exterior ou na caixa-de-ar de paredes duplas.

Para este caso de estudo optou-se pelo reforço do isolamento térmico pelo exterior, não só por ser de fácil aplicação mas também por ser considerado mais eficaz. Assim sendo,

dentro deste tipo de reforço foi considerada a solução que consiste em sistemas compostos de isolamento térmico pelo exterior, conhecidos como “ETICS” (ver subsecção 2.9.4).

Desta forma, foram alteradas as características construtivas das paredes exteriores para efetuar a análise desta medida de reabilitação. Na Figura 73 está apresentada a tipologia construtiva das paredes após a alteração.

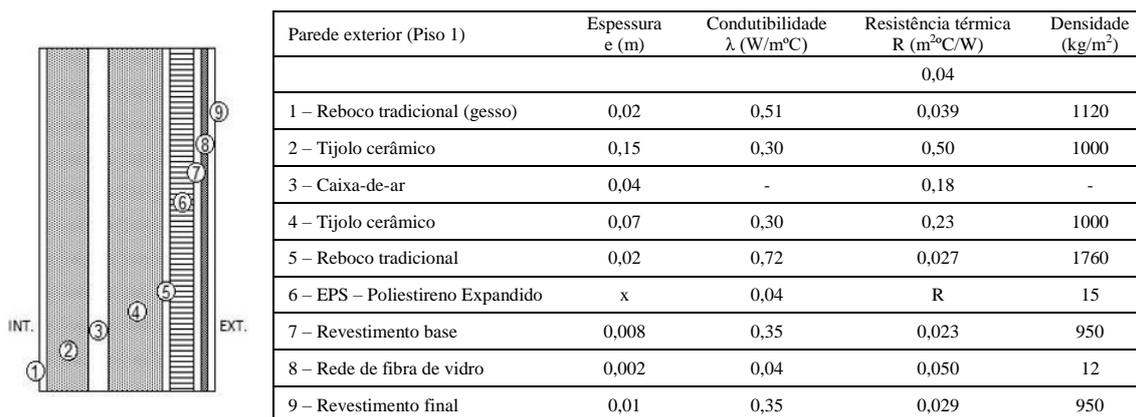


Figura 73 - Pormenor e características das paredes exteriores do piso 1 com reforço de isolamento térmico (sistema ETICS)

De forma a analisar o impacto que esta solução irá ter aplicando diferentes espessuras de isolamento térmico, o estudo foi efetuado para quatro situações distintas, correspondendo cada uma delas a uma espessura de isolamento térmico diferente.

A Tabela 14 apresenta as diferentes espessuras de poliestireno expandido utilizadas na simulação e os valores da resistência térmica R (m²°C/W) e coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C) da nova parede.

Tabela 14 - 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 °C/W)	2,252	2,752	3,252	3,752
Coefficiente de transmissão térmico - U (W/m ² .°C)	0,444	0,363	0,308	0,267

De notar, que a designação dada a cada simulação é alusiva ao tipo de medida de reabilitação e à espessura de isolamento térmico que esta contém. Ou seja, no caso da

simulação PE04, as letras “PE” significa “Paredes Exteriores” e os algarismos “04” indicam uma espessura de isolamento térmico de 4cm.

Após as análises feitas ao edifício são obtidas os resultados das quatro simulações dinâmicas que estão apresentadas na Tabela 15, na qual apresenta as necessidades energéticas após a intervenção de reabilitação no edifício.

Tabela 15 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquecimento [kWh/m ² .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	Outros usos [kWh/m ² .ano]	Total [kWh/m ² .ano]
PE04	39,95	0,08	25,21	65,24
PE06	39,23	0,08	25,21	64,52
PE08	38,73	0,09	25,21	64,01
PE10	38,34	0,09	25,21	63,63

Na Tabela 15 é possível observar que 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 o aumento da energia necessária para arrefecimento é menor do que a tendência para a diminuição das necessidades de aquecimento, o que resulta numa redução das necessidades energéticas globais.

As necessidades energéticas são apresentadas na Tabela 16 indicando a variação da energia total e da energia utilizada para o arrefecimento e aquecimento do edifício antes (situação inicial) e após a intervenção.

Tabela 16 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m ² .ano]	Variação	Total [kWh/m ² .ano]	Variação
PE04	40,03	-11,46%	65,24	-7,4%
PE06	39,31	-13,04%	64,52	-8,42%
PE08	38,81	-14,16%	64,01	-9,14%
PE10	38,43	-15,00%	63,63	-9,68%

Tal como se verifica nos valores apresentados na Tabela 16, a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores originou uma diminuição até cerca de 15% das necessidades de aquecimento e arrefecimento, correspondendo a uma diminuição de cerca 10% nas necessidades energéticas globais.

Verificou-se também que quanto maior for a espessura do isolamento aplicado nas paredes exteriores, maior é a redução das necessidades energéticas, contudo, a partir de um certo ponto, independentemente da espessura que se aumente, os valores das reduções energéticas permanecerão inalteráveis.

Na Tabela 17 foi apresentado o desempenho ambiental do edifício, expondo os valores da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) produzido após a aplicação do isolamento e a respetiva variação relativamente à atual produção de CO₂ de 4285,68 kg/ano.

Tabela 17 - Quantificação e variação da produção de CO₂ após intervenção de reabilitação das paredes exteriores

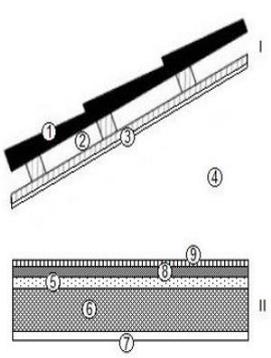
Simulação	Produção de CO ₂ [kg/ano]	Variação
PE04	4107,79	-4,151%
PE06	4083,43	-4,719%
PE08	4066,35	-5,118%
PE10	4053,61	-5,415%

Quanto aos resultados verificados na Tabela 17, pode-se observar que quanto maior é a espessura do isolamento aplicado, maior é a redução de CO₂ no edifício, podendo resultar numa diminuição até cerca de 5,4%.

4.2.2 Isolamento térmico na cobertura

O edifício em estudo apresenta uma cobertura do tipo inclinada, pelo que, nestas situações pode proceder-se de duas diferentes formas, aplicação do isolamento térmico na esteira horizontal ou isolamento das vertentes. Sendo este um desvão não-habitável, ou seja, não é destinado à habitação ou lazer, e este faz parte da envolvente da zona útil considera-se mais indicado a aplicação do isolamento na esteira horizontal.

Desta forma, foram alteradas as características construtivas da cobertura para efetuar a análise desta medida de reabilitação. Na Figura 74 está apresentada a tipologia construtiva da cobertura após a alteração.



	Cobertura	Espessura e (m)	Condutibilidade λ (W/m°C)	Resistência térmica R (m ² C/W)	Densidade (kg/m ³)
I	1 Telha cerâmica	0,025	1,00	0,025	2000
	2 Espaço de ar	0,02		0,180	
	3 Revestimento	0,01	0,19	0,053	960
	4 Desvão – não habitável				
II	7 Reboco tradicional	0,02	0,35	0,057	950
	6 Laje aligeirada	0,18	0,38	0,474	1200
	5 Camada de regularização	0,05	1,00	0,050	1800
	8 Lã de rocha	x	0,038		40
	9 Revestimento superior (madeira)	0,02	0,15	0,13	560

Figura 74 - Pormenor e características da cobertura após intervenção de reabilitação

Para este caso foram realizadas também quadro simulações, sendo cada uma delas feita para uma espessura de isolamento diferente.

A Tabela 18 apresenta os valores considerados em cada simulação, tais como, os valores da espessura (m), resistência térmica R (m²C/W) e coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C).

Tabela 18 - Designação e características das diferentes simulações para reforço do isolamento térmico das paredes exteriores

	Designação da simulação	CH08	CH10	CH12	CH14
	Espessura Lã de Rocha (m)	0,08	0,10	0,12	0,14
I	Espessura total (m)	0,055	0,055	0,055	0,055
II	Espessura total (m)	0,35	0,37	0,39	0,41
I	Resistência térmica total - R (m ² C/W)	0,398	0,398	0,398	0,398
	Coeficiente de transmissão térmico - U (W/m ² .°C)	2,515	2,515	2,515	2,515
II	Resistência térmica total - R (m ² C/W)	2,959	3,486	4,012	4,538
	Coeficiente de transmissão térmico - U (W/m ² .°C)	0,338	0,287	0,249	0,220

De notar, que a designação dada a cada simulação é alusiva ao tipo de medida de reabilitação e à espessura de isolamento térmico que esta contém. Ou seja, no caso da simulação CH04, as letras “CH” significam “Cobertura (esteira horizontal)” e os algarismos “04” indicam uma espessura de isolamento térmico de 4cm.

Após as análises feitas ao edifício são obtidas os resultados das quatro simulações dinâmicas que estão apresentadas na Tabela 19, na qual apresentam as necessidades energéticas após a intervenção de reabilitação no edifício.

Tabela 19 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquecimento [kWh/m ² .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	Outros usos [kWh/m ² .ano]	Total [kWh/m ² .ano]
CH08	41,67	0,04	25,44	67,15
CH10	41,49	0,04	25,44	66,98
CH12	41,37	0,04	25,44	66,86
CH14	41,28	0,04	25,44	66,77

Na Tabela 19 é possível observar que o reforço do isolamento térmico na reabilitação da esteira horizontal da cobertura resulta numa redução das necessidades energéticas globais.

As necessidades energéticas são apresentadas na Tabela 20 indicando a variação da energia total e da energia utilizada para o arrefecimento e aquecimento do edifício antes e após a intervenção.

Tabela 20 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação da cobertura

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m ² .ano]	Variação	Total [kWh/m ² .ano]	Variação
CH08	41,70	-7,76%	67,15	-4,68%
CH10	41,54	-8,12%	66,98	-4,93%
CH12	41,42	-8,39%	66,86	-5,10%
CH14	41,33	-8,59%	66,77	-5,22%

Através da análise da Tabela 19 e Tabela 20 é possível verificar que ocorrem reduções até cerca de 8,6% caso seja aplicado isolamento térmico na cobertura a nível das necessidades de aquecimento e arrefecimento, ou seja, uma redução de cerca 5,2% das necessidades energéticas globais.

Comparando esta solução à solução de isolamento térmico aplicado às paredes exteriores, é possível observar que ambas apresentam reduções muito semelhantes, contudo considerando que aplicação de isolamento térmico na cobertura apresenta menor área de intervenção, esta torna-se uma medida mais eficiente.

Na Tabela 21 está apresentado o desempenho ambiental do edifício, expondo os valores da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) produzido após a aplicação do isolamento e a respetiva variação relativamente à atual produção de CO₂ de 4285,68 kg/ano.

Tabela 21 - Quantificação e variação da produção de CO₂ após intervenção de reabilitação da cobertura

Simulação	Produção de CO ₂ [kg/ano]	Varição
CH08	4187,11	-2,300%
CH10	4181,32	-2,435%
CH12	4177,03	-2,535%
CH14	4173,71	-2,613%

Os resultados apresentados na Tabela 21, mostram que quanto maior é a espessura do isolamento aplicado, maior é a redução da produção de CO₂ no edifício, podendo resultar numa diminuição até cerca de 2,6%. Neste caso a solução mais indicada seria a colocação de 14 cm de isolamento na cobertura.

4.2.3 Vãos envidraçados

Esta medida de intervenção foi definida tendo em conta a qualidade e desempenho das janelas existentes no edifício. Uma vez que as janelas existentes no edifício não são as mais eficazes, considerou-se a sua substituição por outras de melhor eficiência de modo a melhorar o desempenho energético do edifício.

Neste caso de estudo optou-se pela escolha de diferentes tipos de envidraçados e verificar o impacto que cada um deles tem no edifício.

As características dos vãos envidraçados selecionados serão apresentados na Tabela 22 bem como os valores da transmissão solar e do coeficiente de transmissão térmica, U (W/m².°C).

Tabela 22 - Tipo e características dos vãos envidraçados selecionados para análise

Tipo	Camadas	Transmissão solar	Coefficiente de transmissão térmico U (W/m ² .°C)
Duplo	Vidro – incolor – 6 mm	0,7	3,094
	Ar – 6 mm		
	Vidro – incolor – 6 mm		
Triplo	Vidro – incolor – 3 mm	0,682	2,178
	Ar – 6 mm		
	Vidro – incolor – 3 mm		
	Ar – 6 mm		
	Vidro – incolor – 3 mm		

Para esta análise foi também utilizado um tipo de vidro designado por “Best Practice”, ou seja, um envidraçado duplo com dois vidros de características diferentes e uma maior camada de ar (Tabela 23). Esta é uma solução que o *software* de simulação dinâmica *Design Builder* apresenta como mais adequada, em relação ao custo/benefício da sua aplicação no modelo em estudo e consoantes as necessidades energéticas do edifício.

Tabela 23 - Tipo e características do vão envidraçado sugerido pelo *software Design Builder*

Tipo	Camadas	Transmissão solar	Coefficiente de transmissão térmico - U (W/m ² .°C)
Best Practice	Vidro – PYR B incolor – 3mm	0,691	1,96
	Ar – 13 mm		
	Vidro – incolor – 3 mm		

Para estes diferentes tipos de vão envidraçados foi considerada uma caixilharia em alumínio com corte térmico e um sistema de oclusão (estores) instalado pelo exterior.

Contrariamente ao que aconteceu com as medidas de reabilitação em paredes exteriores e coberturas, para os vãos envidraçados foram também analisados os ganhos térmicos internos devido aos ganhos solares que podem existir com esta nova medida de reabilitação, para além das necessidades de aquecimento e arrefecimento e a produção de CO₂.

Efetuada as análises ao edifício foram obtidos os resultados das simulações dinâmicas que estão apresentadas na Tabela 24, na qual apresentam as necessidades energéticas após a intervenção de reabilitação no edifício.

Tabela 24 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquecimento [kWh/m ² .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	Outros usos [kWh/m ² .ano]	Total [kWh/m ² .ano]
Duplo	43,55	0,08	24,59	68,22
Triplo	43,12	0,08	25,49	68,69
Best Practice	42,51	0,08	24,66	67,25

As necessidades energéticas são apresentadas na Tabela 25 indicando-se também a variação da energia total e da energia utilizada para o arrefecimento e aquecimento do edifício antes e após a intervenção.

Tabela 25 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m ² .ano]	Variação	Total [kWh/m ² .ano]	Variação
Duplo	43,63	-3,50%	68,22	-3,17%
Triplo	43,20	-4,45%	68,69	-2,50%
Best Practice	42,59	-5,80%	67,25	-4,54%

Tal como se verifica nos valores apresentados na Tabela 25, é possível concluir que a opção sugerida pelo *Design Builder* é, das soluções testadas, a solução mais eficaz para o edifício, contribuindo de uma forma mais eficaz para o desempenho energético. Este tipo de vão envidraçado resulta uma diminuição das necessidades energéticas globais até cerca de 4,5%.

Na Tabela 26 está apresentado o desempenho ambiental do edifício, expondo os valores da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) produzido após a aplicação dos vãos envidraçados.

Tabela 26 - Quantificação e variação da produção de CO₂ após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados

Simulação	Produção de CO ₂ [kg/ano]	Variação
Duplo	4161,61	-2,895%
Triplo	4144,88	-3,285%
Best Practice	4134,51	-3,527%

Os resultados apresentados na Tabela 26 mostram também que mais uma vez o modelo sugerido pelo *Design Builder* é a solução mais eficaz comparativamente com as outras soluções estudadas apresentando uma redução de CO₂ no edifício até cerca de 3,5%.

Relativamente aos ganhos térmicos do edifício, a aplicação de vidro simples proporciona ganhos solares mais elevados comparativamente aos outros vidros estudados, contudo, devido ao seu elevado coeficiente de transmissão térmica, resulta também num elevado número de perdas energéticas, o que numa forma geral são superiores aos ganhos, sendo preferível a aplicação de outro tipo de vidro.

Os valores dos ganhos térmicos internos do edifício após a intervenção da medida de reabilitação dos vãos envidraçados são apresentados na Figura 75.

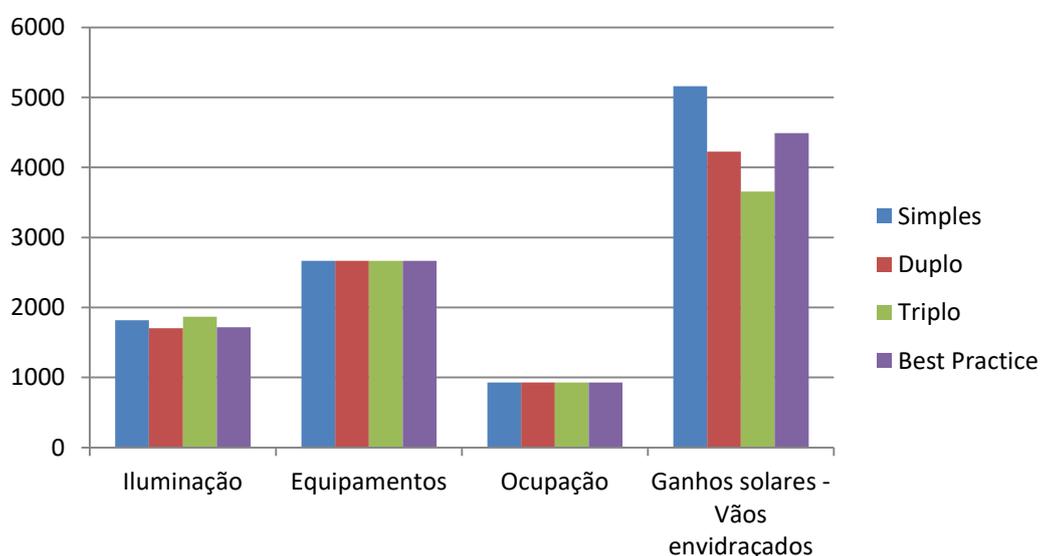


Figura 75 - Ganhos térmicos internos após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados [kWh]

Em relação aos ganhos térmicos internos do edifício no seu estado atual (Figura 76), é possível observar que a aplicação desta medida de reabilitação apresenta ganhos térmicos mais controlados contudo os ganhos solares são menores.

4.2.4 Combinação de medidas de reabilitação

Após ser efetuada a análise individual para cada medida de reabilitação estudada, foi realizada uma análise de diferentes combinações de medidas de forma a avaliar o impacto da sua aplicação em simultâneo.

Assim sendo foram consideradas as soluções da envolvente opaca que apresentam maior e menor impacto no desempenho energético do edifício, ou seja, maior e menor espessura, juntamente com a alteração, ou não, dos vãos envidraçados, sendo que o tipo de envidraçado a ser colocado será o que obteve uma solução mais eficiente (“best practice” – ver subsecção 4.2.3).

Desta forma, a análise divide-se em oito simulações: quatro 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 quantificação das diferentes necessidades energéticas do edifício, tais como necessidade de aquecimento, arrefecimento e outros usos após intervenção de cada combinação são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Quantificação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação (combinações)

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquecimento [kWh/m ² .ano]	Nec. Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	Outros usos [kWh/m ² .ano]	Total [kWh/m ² .ano]
Envolvente Opaca				
PE04 + CH08	36,87	0,05	25,41	62,33
PE04 + CH14	36,51	0,05	25,41	61,97
PE10 + CH08	35,25	0,06	25,40	60,72
PE10 + CH14	34,88	0,06	25,40	60,34
Envolvente Opaca + Envidraçados (ENV)				
PE04 + CH08 + ENV	33,80	0,05	24,82	58,67
PE04 + CH14 + ENV	32,42	0,05	24,82	58,28
PE10 + CH08 + ENV	32,08	0,077	24,81	56,95
PE10 + CH14 + ENV	31,67	0,06	24,80	56,53

A comparação das necessidades energéticas é apresentada na Tabela 28 indicando a variação da energia total e da energia utilizada apenas para aquecimento e arrefecimento para a situação do edifício antes e após reabilitação.

Tabela 28 - Variação das necessidades energéticas após intervenção de reabilitação das paredes exteriores

Necessidades Energéticas				
Simulação	Nec. Aquec. + Arref. [kWh/m ² .ano]	Variação	Total [kWh/m ² .ano]	Variação
Envolvente Opaca				
PE04 + CH08	26,92	-18,35%	62,33	-11,53%
PE04 + CH14	36,56	-19,13%	61,97	-12,04%
PE10 + CH08	35,62	-21,88%	60,72	-13,81%
PE10 + CH14	34,94	-22,71%	60,34	-14,35%
Envolvente Opaca + Envidraçados (ENV)				
PE04 + CH08 + ENV	33,85	-25,13%	58,67	-16,72%
PE04 + CH14 + ENV	33,46	-25,98%	58,28	-17,27%
PE10 + CH08 + ENV	32,14	-28,90%	56,95	-19,16%
PE10 + CH14 + ENV	31,73	-29,82%	56,53	-19,76%

Tal como se verifica nos valores apresentados na Tabela 28, é possível concluir que a aplicação de várias medidas de reabilitação torna-se mais eficaz do que na aplicação de apenas uma medida, podendo, no caso das combinações, reduções até cerca de 30% a nível das necessidades de aquecimento e arrefecimento, traduzindo-se numa diminuição nas necessidades globais do edifício de cerca 20%.

Na Tabela 29 está apresentado o desempenho ambiental do edifício, expondo os valores da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) produzido após a aplicação das combinações de medidas de reabilitação no edifício.

Tabela 29 - Quantificação e variação da produção de CO₂ após intervenção de reabilitação dos vãos envidraçados

Simulação	Produção de CO ₂ [kg/ano]	Variação
Envolvente Opaca		
PE04 + CH08	4022,27	-6,146%
PE04 + CH14	4009,65	-6,441%
PE10 + CH08	3967,86	-7,416%
PE10 + CH14	3954,62	-7,725%
Envolvente Opaca + Envidraçados (ENV)		
PE04 + CH08 + ENV	3853,66	-10,081%
PE04 + CH14 + ENV	3839,93	-10,401%
PE10 + CH08 + ENV	3795,72	-11,432%
PE10 + CH14 + ENV	3781,18	-11,772%

Com os resultados apresentados na Tabela 29, pode-se observar também que mais uma vez a aplicação de várias medidas de reabilitação no edifício é a solução mais eficaz. A aplicação de 10 cm de isolamento nas paredes exteriores, 14 cm na cobertura e a troca do vão envidraçado apresenta uma redução de CO₂ no edifício até cerca de 12%. Contudo, apesar da combinação de medidas de reabilitação apresentarem resultados benéficos para o desempenho energético dos edifícios, estas podem não ser as medidas mais económicas e justificáveis, pelo que é necessário realizar uma análise económica das soluções estudadas.

4.3 ANÁLISE ECONÓMICA

Nesta secção é apresentada a análise económica efetuada para as intervenções de reabilitação estudadas.

Desta forma, inicialmente torna-se necessário conhecer os custos dos materiais relativos à aplicação das diferentes medidas de intervenção bem como os custos associados ao consumo energético de modo a determinar o custo de investimento e a poupança de energia relativa a cada intervenção.

4.3.1 Custo de investimento

Através de uma sondagem feita ao mercado, foram previstos os custos dos materiais de isolamento utilizados na aplicação das medidas de reabilitação estudadas, designadamente a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores (sistema ETICS), a aplicação de isolamento térmico na cobertura (lã de rocha) e a substituição dos vãos envidraçados, apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Custo dos materiais de isolamento utilizados nas medidas de reabilitação

Designação	Custo (€/m ²)
Fachada – Sistema ETICS:	
40 mm	31.04
60 mm	33.42
80 mm	36.50
100 mm	40.35
Cobertura:	
80 mm	6.95
100 mm	7,45
120 mm	8,19
140 mm	9.58
Envidraçados:	
Duplo: Vidro incolor 6 mm + Ar 6 mm + Vidro incolor 6 mm	191.43
Tripla: Vidro incolor 3 mm + Ar 6 mm + Vidro incolor 3 mm + Ar 6 mm + Vidro incolor 3 mm	216.95
Best Practice: Vidro PYR B incolor 3 mm + Ar 13 mm + Vidro incolor 3 mm	204,20

De acordo com os dados apresentados na Tabela 30, pode-se determinar o custo de investimento para cada medida de reabilitação através da área das superfícies a serem estudadas. Neste caso a área das paredes exteriores, a área da cobertura e a área de vãos envidraçados são respetivamente, 220,73 m², 172,60 m² e 16,90 m².

Desta forma o custo do investimento de cada medida de reabilitação é apresentado na Tabela 31, bem como, os valores das necessidades energéticas antes e após a reabilitação e também a variação das necessidades energéticas após cada intervenção.

Tabela 31 - Custo do investimento das medidas de reabilitação

Designação	Nec. Energéticas [kWh/m ² .ano]	Nec. Energéticas [kWh/ano]	Variação	Custo de investimento [€]
Edifício atual	70,45	12673,72	-	-
PE04	65,24	11736,46	-7,40%	6851,46
PE06	64,52	11606,93	-8,42%	7376,80
PE08	64,01	11515,19	-9,14%	8056,65
PE10	63,63	11446,82	-9,68%	8906,46
CH08	67,15	12080,06	-4,68%	750,81
CH10	66,98	12049,48	-4,93%	1199,57
CH12	66,86	12027,89	-5,10%	1356,64
CH14	66,77	12011,70	-5,22%	1653,51
Duplo	68,22	12272,55	-3,17%	3235,17
Triplo	68,69	12357,10	-2,50%	3666,46
Best Practice	67,25	12098,05	-4,54%	3450,98

De acordo com os dados apresentados na Tabela 31 é possível concluir que a medida mais é a aplicação de isolamento térmico na cobertura. Esta medida para além de conduzir a reduções nas necessidades energéticas muito próximas às reduções das restantes medidas, é a solução que apresenta o custo de investimento inferior.

No caso das combinações de medidas de reabilitação, os dados obtidos estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Custo do investimento das combinações de medidas de reabilitação

Designação	Nec. Energéticas [kWh/m ² .ano]	Nec. Energéticas [kWh/ano]	Variação	Custo de investimento [€]
Edifício atual	70,45	12673,72	-	-
Envolvente opaca				
PE04 + CH08	62,33	11212,96	-11,53%	7602,27
PE04 + CH14	61,97	11148,20	-12,04%	8504,97
PE10 + CH08	60,72	10923,33	-13,81%	9657,27
PE10 + CH14	60,34	10854,96	-14,35%	10559,96
Envolvente Opaca + Envidraçados (ENV)				
PE04 + CH08 + ENV	58,67	10554,54	-16,72%	11053,25
PE04 + CH14 + ENV	58,28	10484,38	-17,27%	11955,95
PE10 + CH08 + ENV	56,95	10245,12	-19,16%	13108,25
PE10 + CH14 + ENV	56,53	10169,56	-19,76%	14010,94

Relativamente à combinação de medidas de reabilitação, a combinação da envolvente opaca juntamente com a substituição dos vãos envidraçados, é a solução que apresenta uma maior diminuição nas necessidades energéticas do edifício, contudo apresentam um custo de investimento mais elevado.

De forma a compreender qual a melhor a relação entre o desempenho energético do edifício e o custo do investimento que as novas medidas de reabilitação podem provocar, é necessário observar 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 conseguida com cada solução.

4.3.2 *Custo da energia ao longo do tempo*

De modo a determinar os custos associados aos consumos energéticos, 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), pode-se observar que o preço médio de aquisição de energia elétrica para consumidores domésticos é de 0,158 €/kWh para o ano de 2016. A evolução do preço de energia elétrica é estimada admitindo um crescimento médio anual de 2,5%, conforme a Figura 76.

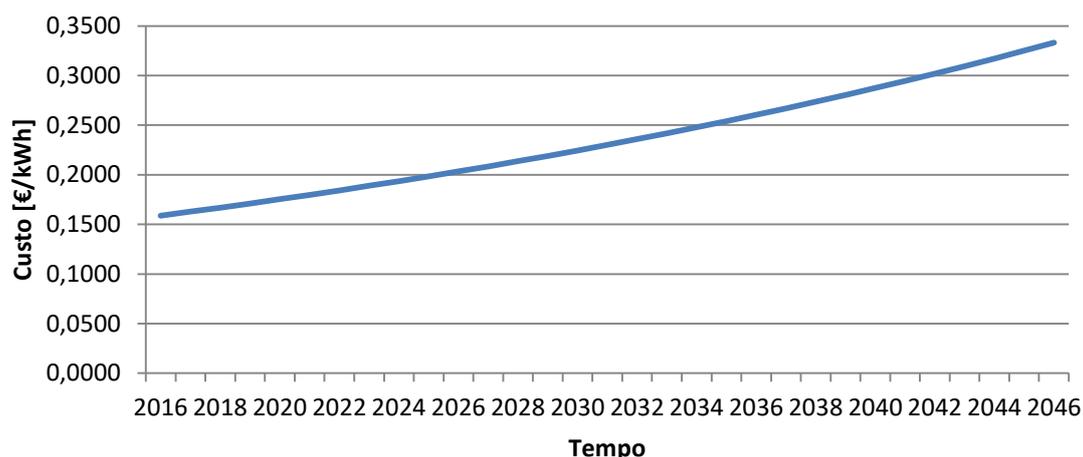


Figura 76 - Previsão da evolução do custo de energia

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 ano para a duração do edifício reabilitado (Tabela 33 e Tabela 34).

A Tabela 33 apresenta a poupança expectável em termos económicos da implementação de cada medida e combinação de medidas de reabilitação.

Tabela 33 - Custo do consumo energético ao longo do tempo

Medidas	Energia [kWh/ano]	Consumo Energético [€/ano]			Poupança Energética [€]
		Ano 0	Ano 30	Total	
Diagnóstico	12673,72	1916,27	4019,50	88148,78	-
PE04	11736,46	1774,55	3722,24	81629,91	6518,87
PE06	11606,93	1754,97	3681,16	80728,99	7419,79
PE08	11515,19	1741,10	3652,07	80090,92	8057,86
PE10	11446,82	1730,76	3630,38	79615,39	8533,39
CH08	12080,06	1826,51	3831,22	84019,73	4129,05
CH10	12049,48	1821,88	3821,52	83807,04	4341,74
CH12	12027,89	1818,62	3814,67	83656,87	4491,91
CH14	12011,70	1816,17	3809,54	83544,27	4604,51
Duplo	12272,55	1855,61	3892,27	85358,54	2790,24
Triplo	12357,10	1868,39	3919,08	85946,61	2202,17
Best Practice	12098,05	1829,23	3836,92	84144,85	4003,93

Tabela 34 - Custo do consumo energético ao longo do tempo (combinações)

Medidas	Energia [kWh/ano]	Consumo Energético [€/ano]			Poupança Energética [€]
		Ano 0	Ano 30	Total	
Diagnóstico	12673,72	1916,27	4019,50	88148,78	-
Envolvente Opaca					
PE04 + CH08	11212,96	1695,40	3556,22	77988,84	10159,94
PE04 + CH14	11148,20	1685,61	3535,68	77538,42	10610,36
PE10 + CH08	10923,33	1651,61	3464,36	75974,39	12174,39
PE10 + CH14	10854,96	1641,27	3442,67	75498,86	12649,92
Envolvente Opaca + Envidraçado (ENV)					
PE04 + CH08 + ENV	10554,54	1595,85	3347,40	73409,37	14739,41
PE04 + CH14 + ENV	10484,38	1585,24	3325,14	72921,39	15227,39
PE10 + CH08 + ENV	10245,12	1549,06	3249,26	71257,28	16891,50
PE10 + CH14 + ENV	10169,56	1537,64	3225,30	70731,74	17417,04

Era de prever que a solução que apresentaria maiores poupanças energéticas seria a solução já obtida no item 4.3.4, ou seja, a aplicação de isolamento nas paredes exteriores, na cobertura e a troca dos vãos envidraçados, uma vez que era combinação que apresentava menores necessidades energéticas. A partir dos dados obtidos na Tabela 33 e Tabela 34 é possível confirmar tal previsão, verificando-se poupanças energéticas acima dos 10.000€ para as medidas de reabilitação ao fim de 30 anos.

Contudo, a combinação de medidas de reabilitação apresentada no tópico 4.3.1 pode apresentar elevadas poupanças energéticas mas não ser a solução mais vantajosa devido aos elevados custos de investimento.

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

4.3.3 Período de retorno do investimento

Nesta secção pretende-se determinar em quanto tempo se irá atingir o valor do custo das medidas de reabilitação através da poupança energética do edifício.

Desta forma, através dos valores obtidos anteriormente do custo de investimento e da poupança energética (secção 4.3.1 e 4.3.2) foi calculado o período de retorno do investimento de cada medida e de cada combinação das medidas de reabilitação (Tabela 35).

Tabela 35 - Retorno do investimento das medidas de reabilitação

Medidas	Custo de investimento [€]	Poupança Energética [€/30anos]	Retorno do investimento [anos]
PE04	6851,46	6518,87	32
PE06	7376,80	7419,79	30
PE08	8056,65	8057,86	30
PE10	8906,46	8533,39	32
CH08	750,81	4129,05	6
CH10	1199,57	4341,74	9
CH12	1356,64	4491,91	10
CH14	1653,51	4604,51	11
Duplo	3235,17	2790,24	35
Triplo	3666,46	2202,17	50
Best Practice	3450,98	4003,93	26

As soluções mais eficazes para o edifício, tendo em conta a vida útil, são as medidas de reabilitação que apresentem um período de retorno de investimento inferior a 30 anos, sendo os benefícios superiores aos custos de intervenção. Contudo as mais indicadas são as que tem um período de retorno de investimento entre 8 a 10 anos.

Conforme os dados obtidos na Tabela 335, é possível concluir que a aplicação de isolamento térmico na cobertura é a solução que demora menos tempo a obter o investimento feito na reabilitação quando consideramos apenas a aplicação de uma medida de reabilitação. Quanto à aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores, uma vez que este apresenta um período de retorno de investimento semelhante à vida útil do edifício acaba por não ser uma solução vantajosa do ponto de vista económico. No caso dos vãos envidraçados, apenas a aplicação do vidro “Best Practice” é considerada uma solução aceitável devido ao seu período de retorno ser inferior a 30 anos.

O período de retorno para o caso das combinações de medidas de reabilitação é apresentado na Tabela 36.

Tabela 36 - Retorno do investimento da combinação de medidas de reabilitação

Medidas	Custo de investimento [€]	Poupança Energética [€/30anos]	Retorno do investimento [anos]
Envolvente Opaca			
PE04 + CH08	7602,27	10159,94	23
PE04 + CH14	8504,97	10610,36	25
PE10 + CH08	9657,27	12174,39	24
PE10 + CH14	10559,96	12649,92	26
Envolvente Opaca + Envidraçado			
PE04 + CH08 + ENV	11053,25	14739,41	23
PE04 + CH14 + ENV	11955,95	15227,39	25
PE10 + CH08 + ENV	13108,25	16891,50	24
PE10 + CH14 + ENV	14010,94	17417,04	25

Na Tabela 36 é possível observar que todas as combinações de medidas de reabilitação apresentam um período de retorno de investimento próximo de 30 anos, ou seja, devido ao elevado de número de anos que é necessário para obter o custo do investimento acabam por ser soluções pouco atrativas. Apesar disto, as soluções que focam na aplicação do isolamento térmico na cobertura são as que apresentam melhores resultados.

A combinação da reabilitação da envolvente opaca juntamente com a alteração dos vãos envidraçados apesar de não conduzir à melhor relação custo/benefício é a medida que apresenta maiores poupanças energéticas.

Por fim, o tipo de reabilitação a ser efetuada só depende do consumidor, podendo optar por uma solução energeticamente mais eficiente ou podendo optar por uma reabilitação economicamente mais vantajosa.

4.4 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO

A simulação do comportamento acústico foi efetuada com base no programa *Acoubat Sound*. Os compartimentos em análise foram o quarto e a sala, uma vez que são os espaços que requerem mais silêncio por serem destinados ao descanso e à concentração.

4.4.1 Simulação do desempenho do edifício na situação atual

Para a criação do modelo de estudo foi definida a geometria do edifício. Uma vez que este *software* apenas permite definir compartimentos retangulares, optou-se por analisar os compartimentos com uma geometria simples nos compartimentos em que dois são horizontais e dois verticais (Figura 77). Desta forma o volume do compartimento e dimensões das paredes foram mantidas.

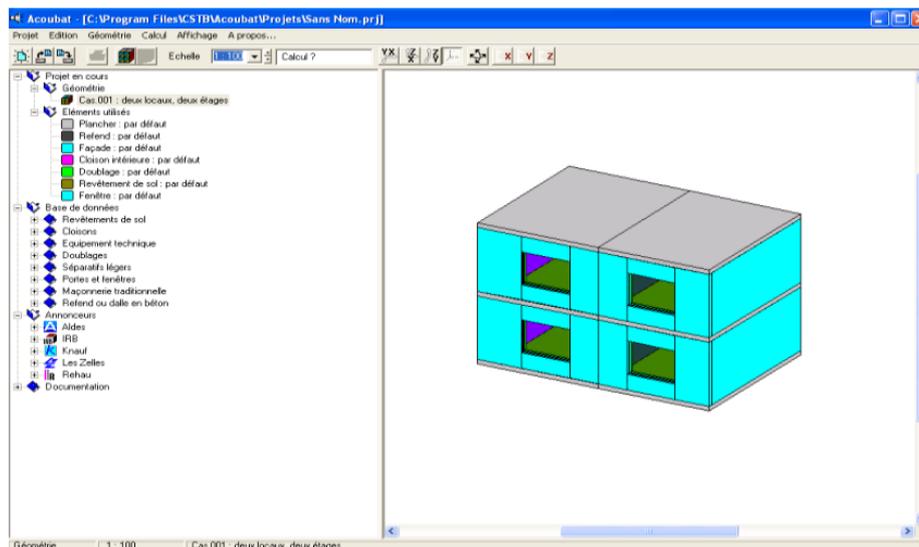


Figura 77 - Geometria dos compartimentos para avaliação do comportamento acústico
Para os edifícios em estudo foi analisada a capacidade da fachada exterior isolar os sons de condução aérea e de percussão padronizado ($D_{nT,w}$ e $L'_{nT,w}$).

Na Figura 78 e Figura 79 são apresentados os valores obtidos do índice de isolamento sonoro para os sons de condução aérea na sala e no quarto para a situação existente.

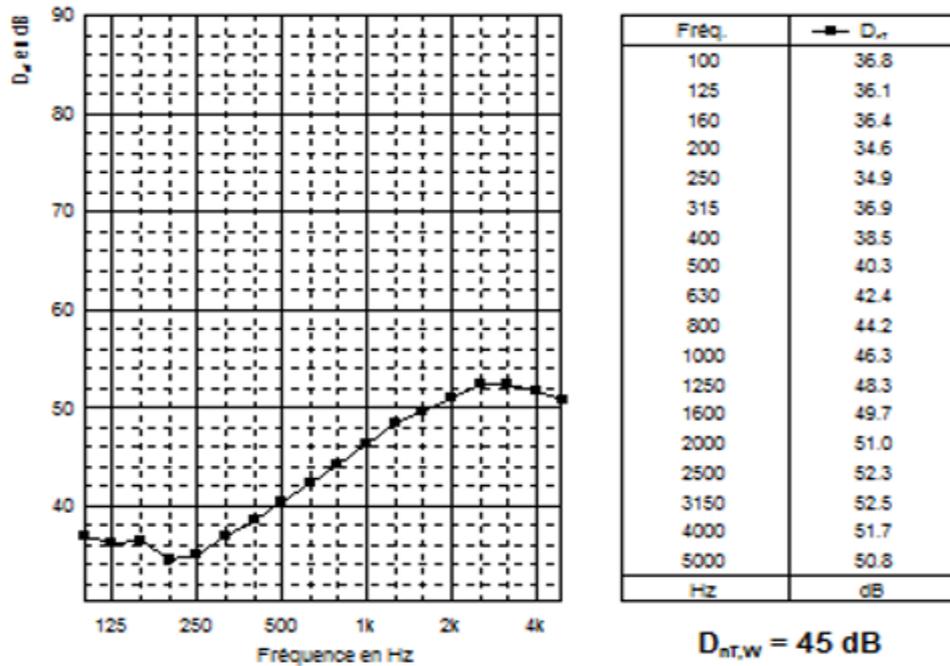


Figura 78 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$) do quarto

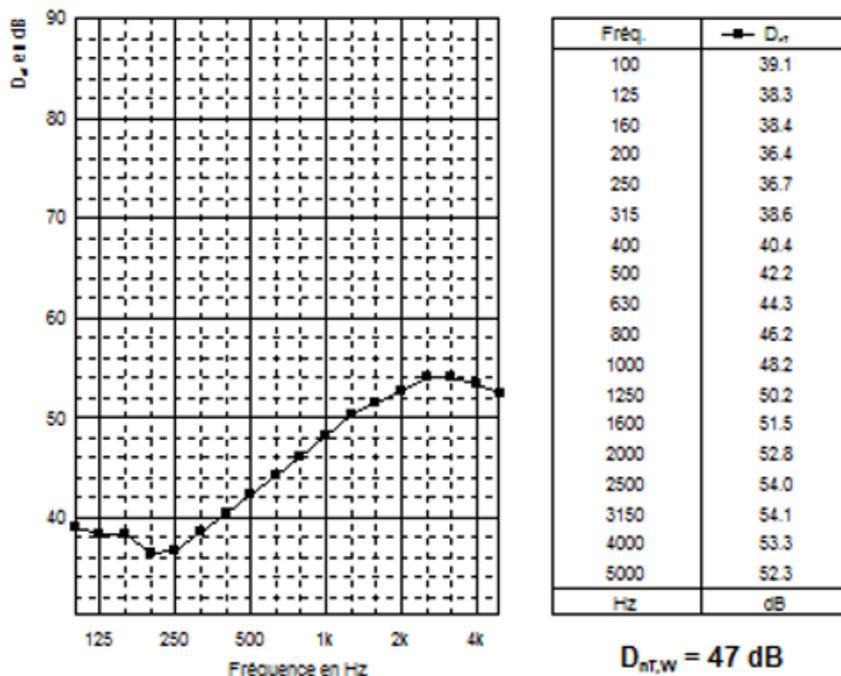


Figura 79 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$) da sala

4.4.2 Simulação do desempenho do edifício para as novas medidas de reabilitação

Nesta secção é efetuada uma nova análise dos valores do índice de isolamento sonoro dos sons de condução aérea e de percussão padronizado ($D_{nT,W}$ e $L'_{nT,w}$) do edifício mas para a situação mais favorável a nível das medidas de reabilitação já estudadas anteriormente (item 4.2).

Assim sendo optou-se por efetuar uma nova análise caso o isolamento térmico seja aplicado nas paredes exteriores da envolvente, uma vez que o programa utilizado é uma versão limitada que não permite efetuar todas as alterações desejadas.

Neste caso, em termos de reabilitação optou-se pela colocação de 80 mm de poliestireno expandido na envolvente da parede exterior e os dados obtidos são apresentados nas Figura 80 e Figura 81, respetivamente.

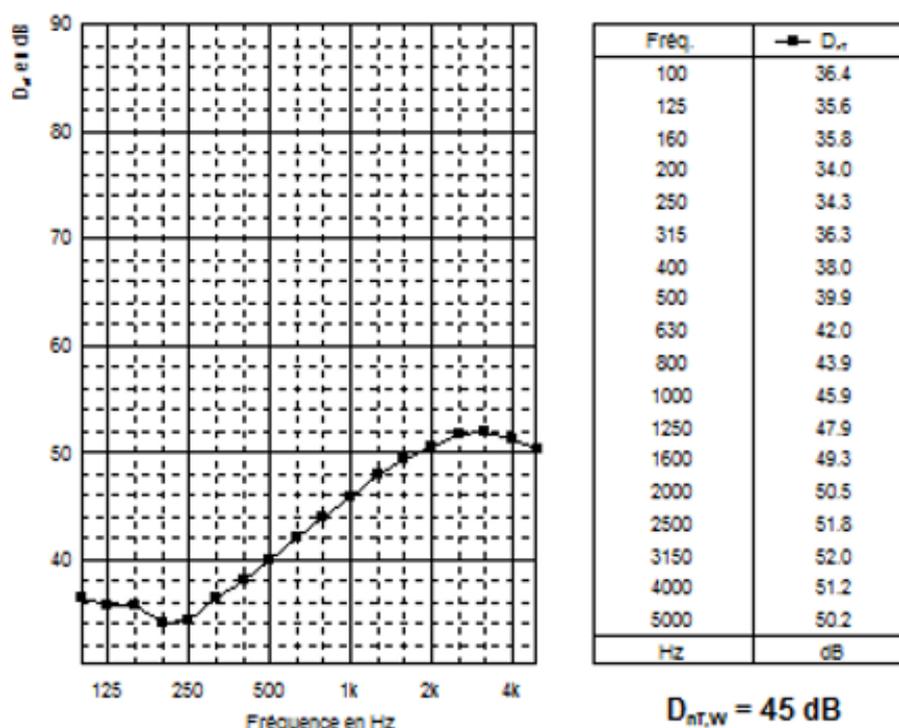


Figura 80 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,W}$) do quarto após reabilitação

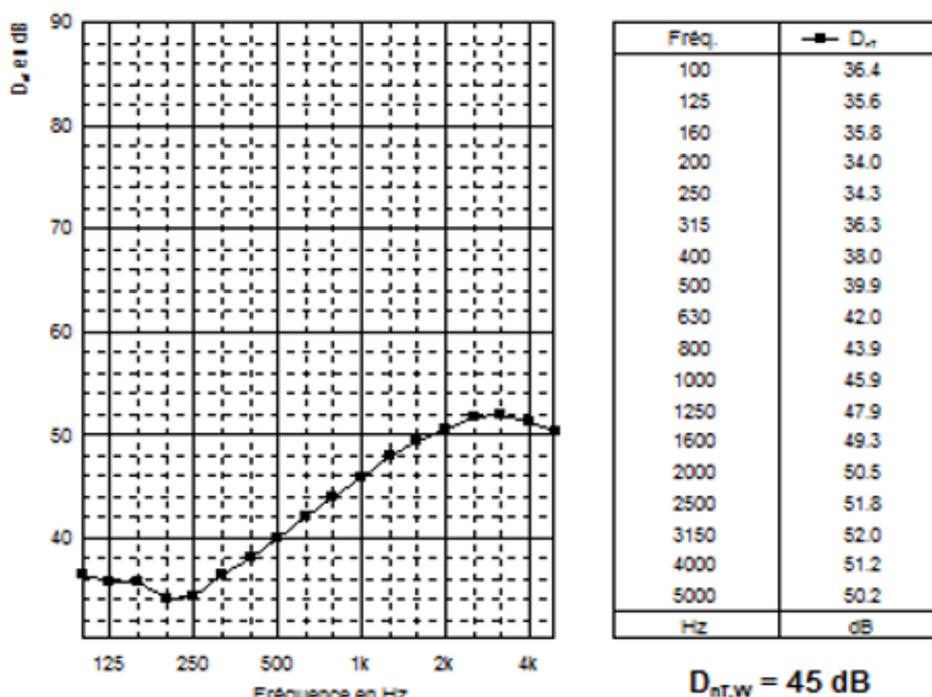


Figura 81 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,W}$) da sala após reabilitação

Desta forma é possível notar que a aplicação de EPS na parede exterior da envolvente apenas irá interferir no desempenho energético do edifício, não apresentando grandes vantagens a nível do isolamento acústico. Neste caso dever-se-ia optar por outros materiais com melhores características acústicas, bem como, lã de rocha ou a cortiça, ou por outras medidas de reabilitação.

Uma das soluções mais eficazes para este caso seria a substituição dos vãos envidraçados contudo, uma vez que o programa utilizado é uma versão limitada que não permite a alteração destes, apenas foi possível perceber a influência que a colocação de isolamento térmico nas paredes exteriores teria no edifício em estudo.

Com os resultados obtidos é possível concluir que o edifício em estudo não necessita de uma intervenção a nível da reabilitação acústica uma vez que os valores obtidos antes e após intervenção são bastante semelhantes.

4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

4.5.1 Simulação do desempenho do edifício na situação atual

O edifício em estudo tem 180,20 m² de área e tem quatro habitantes, todos não fumadores.

Como a habitação em estudo já é um edifício existente é considerado de classe C, sendo assim, o $C_{c,i}$ toma o valor de 2,4. Como se encontra localizado numa vila em que a qualidade do ar exterior é boa, o $C_{c,0} = 0,1$ dp.

Os compartimentos em estudo são providos de janelas que permitem uma boa ventilação, a eficácia de ventilação (ϵv) é 0,7.

A Tabela 37 apresenta o valor da carga sensorial.

Tabela 37 - Valor da carga sensorial

	Carga sensorial (G_c) (olf/m ²)
Ocupantes	$4 \text{ (olf/ocupante)} / (180,20 \text{ m}^2/\text{ocupante}) = 0,022$
Edifício não low-polluting	0,20
Total	0,222

O valor obtido na Equação 7 apresenta o cálculo da taxa de ventilação para assegurar o conforto.

$$Q_c = 10 \times \frac{0,222}{1 - 0,1} \times \frac{1}{0,7} = 3,52 \text{ l/(s.m}^2\text{)} \quad (7)$$

O cálculo da percentagem de pessoas descontentes (PPD) é feito através da Equação 1 do Capítulo 3. Tratando-se de um edifício de Classe C, a concentração de CO₂ acima da concentração do exterior é de 460ppm, obtendo-se o valor apresentado na Equação 8.

$$PPD = 395 \times e^{-15,15 \times 460^{-0,25}} = 14,99\% \quad (8)$$

O cálculo da perceção da qualidade do ar (C_i) é realizado através da Equação 9 do Capítulo 3, obtendo o valor apresentado na Equação 9.

$$C_i = 112 \times (\text{Ln}(14,99) - 5,9)^{-4} = 0,97 \text{ decipol} \quad (9)$$

Para uma taxa de ventilação de 3,52 l/(s.m²), num edifício de classe C, a percentagem de pessoas descontentes é de 14,99% e a relação entre a perceção da qualidade do ar interior é de 0,97 decipol.

CAPÍTULO 5 | CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Os elevados consumos de energia do setor doméstico mostram a necessidade e o interesse em estudar as questões de reabilitação energéticas dos edifícios. Segundo a Diretiva 2010/31/EU, os edifícios deverão ser de balanço energético quase zero (nZEB), ou seja, ter um desempenho energético muito elevado, as necessidades de energia serem quase nulas e cobertas através de energias renováveis produzidas no local ou nas proximidades.

A presente dissertação teve como foco o estudo de medidas de reabilitação energética visando a melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar do edifício. Estas medidas foram essencialmente centradas no reforço do isolamento térmico da envolvente exterior dos edifícios.

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

Devido ao elevado número de edifícios desabitados no parque habitacional português, torna-se necessário proceder a obras de reabilitação estruturais e não estruturais ao invés da construção nova. A reabilitação de edifícios existentes também tem como base diminuir os consumos energéticos, que em muitos casos podem ser demasiado elevado, e aumentar a eficiência energética, tendo em especial atenção a qualidade do ambiente interior.

Deste modo, de forma a avaliar o impacto das diferentes medidas de reabilitação na eficiência energética de um edifício foi selecionado como caso de estudo, uma habitação unifamiliar isolada, com dois pisos, que a nível nacional é o mais representativo (aproximadamente 45,48% do total de edifícios existentes) para proceder

à sua reabilitação, possibilitando definir soluções construtivas mais eficazes e viáveis economicamente.

A metodologia utilizada baseou-se na simulação dinâmica, sendo para tal usado o programa *Design Builder*, onde foi concebido o modelo do edifício, realizadas as alterações convenientes mediante os requisitos das medidas de reabilitação propostas e executadas as respectivas simulações obtendo o diagnóstico energético do edifício antes e após intervenção.

Durante a criação desse modelo foram verificadas algumas deficiências ao nível de construção/isolamento que conduziam ao agravamento das necessidades energéticas do edifício. 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 substituição dos vãos envidraçados, estabelecendo para cada medida diferentes espessuras e/ou tipos de material.

De notar que o diagnóstico energético atual do edifício mostra que as suas necessidades energéticas são relativamente elevadas, com um valor de cerca 71 kWh/m².ano, correspondendo cerca de 65% a necessidades de aquecimento e arrefecimento e os restantes 35% a outros usos, como o caso da iluminação. Verifica-se ainda que a sua produção de CO₂ é de 4285,68 kg/ano.

A partir dos resultados obtidos de cada simulação conclui-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. Conclui-se então que a relação entre a superfície reabilitada e superfície total da envolvente influencia o consumo energético;
- Quanto à produção de CO₂, ambas as medidas de reabilitação na envolvente opaca exterior apresentam reduções semelhantes;
- Em relação aos vãos envidraçados, uma reabilitação baseada apenas nestes não produz reduções significativas no consumo energético. Contudo, optar por envidraçados duplos ou triplos pode-se revelar 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 unicamente pela intervenção a nível da envolvente opaca exterior, a redução do consumo energético é tanto maior quanto maior for a espessura do 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 CO₂.

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

- O custo de investimento de aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores é bastante superior ao custo do investimento das restantes medidas de reabilitação devido à área das paredes exteriores serem superiores em relação à área da cobertura;
- A reabilitação baseada na aplicação de isolamento térmico na cobertura é a solução que apresenta menores custos de investimento e melhor relação custo/benefício. Qualquer uma das restantes medidas de reabilitação, quando aplicadas exclusivamente, não apresentam resultados vantajosos em termos económicos;
- Tendo em conta os custos 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 menor vantagem em relação ao custo/benefício, contudo, apesar de apresentar custos de investimentos mais elevados, é também a solução que mais contribui para a redução dos consumos energéticos.

A nível acústico foi possível perceber que a colocação de isolamento térmico nas paredes, em pouco ou nada alterou, a nível do isolamento sonoro. Ou seja, foi possível concluir que o edifício em estudo não precisaria de uma reabilitação acústica.

Também se poderia ter optado por outra solução, bem como, a alteração dos vãos envidraçados, que se apresenta como uma solução mais eficiente para este tipo de situações. Contudo, devido à versão limitada usada no *Acoubat Sound* não foi possível fazer os cálculos de todas as situações benéficas para o edifício em estudo.

Apesar de o estudo ter sido feito para um edifício representativo no parque habitacional português, é de notar que os resultados apresentados correspondem a um determinado edifício, não devendo ser considerados como uma generalidade, uma vez que cada caso é um caso de estudo diferente, e a reabilitação de edifícios deve ser estudada rigorosamente para cada um deles.

Desta forma pode se concluir que o parque habitacional poderá ter um grande potencial de poupança energética, caso sejam aplicadas as melhores soluções de intervenção nos edifícios, contribuindo significativamente para as metas definidas pela União Europeia de modo a contribuir para o desenvolvimento sustentável.

5.2 PROPOSTAS FUTURAS

Nesta secção pretende-se apresentar propostas de trabalho futuros que visam a continuidade e melhoramento deste trabalho. No âmbito do estudo da reabilitação energética de edifícios é necessário ter em conta:

- O estudo de um maior número de casos práticos, de modo a perceber onde podem incidir as melhores soluções de reabilitação tendo em conta as diferentes características e tipologias dos edifícios;
- Fazer a comparação entre diferentes casos de estudo;
- Estudar novos materiais e soluções de reforço de isolamento térmico para que seja conhecido o comportamento dos diversos materiais a nível térmico e acústico, e assim associar estes materiais a outros edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INE, Censos 2011 Resultados definitivos - Portugal, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.
- [2] *Decreto-Lei n.º 40/1990 de 6 de fevereiro. Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, 1990.
- [3] “Certificação Energética de Edifícios,” [Online]. Available: <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>. [Acedido em 03 março 2015].
- [4] *Directiva - 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro. Desempenho Energético dos Edifícios*, 2002.
- [5] *Directiva - 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio, relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*, 2010.
- [6] Comissão Europeia, “Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões,” 22 janeiro 2014. [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=EN>. [Acedido em 06 março 2015].
- [7] A. Pimentel, *Reabilitação de edifícios tradicionais*, Universidade Fernando Pessoa, 2005.
- [8] A. Vilhena, “Reabilitação habitacional e o setor da construção civil,” em *LNEC*, Lisboa, 2013.
- [9] INE, *Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001-2011*, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.

- [10] INE, O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.
- [11] J. Bernardo, “Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos,” Direção Geral de Energia e Geologia, Lisboa, LNEG, 2015.
- [12] P. Isolani, Eficiência energética nos edifícios residenciais, Lisboa: Viabrand, 2008.
- [13] “Edifícios e Energia,” *Pobreza energética cada vez mais perto das nossas casas*, Março/Abril 2013.
- [14] H. Sacht, L. Bragança, M. Almeida e R. Caram, Estudo do Desempenho Lumínico para um Sistema de Fachada Modular Destinado a Portugal, XIV ENTAC, 2012.
- [15] D.-G. d. E. e. Geologia, Energia em Portugal, 2013.
- [16] M. Almeida, L. Bragança, P. Silva, S. Silva, R. Mateus, J. Barbosa e C. Araújo, “Enquadramento Energético do Sector Residencial Português,” Universidade do Minho, 2012.
- [17] H. Almeida, Análise do Conforto Térmico de Edifícios Utilizando as Abordagens Analítica e Adaptativa, Lisboa: IST, 2010.
- [18] INE & DGGE, Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística I.P. e Direcção-Geral de Energia e Geologia, 2011.
- [19] J. V. Paiva, J. Aguiar e A. Pinho, Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 1^a ed., vol. 1, Lisboa: Instituto Nacional de Habitação, e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [20] S. Camelo, Á. Ramalho, C. Santos, C. Horta, H. Gonçalves e E. Maldonado,

Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, Lisboa, 2006.

- [21] M. Pinto, V. P. Freitas e J. Viegas, “Qualidade do Ambiente Interior em edifícios de habitação,” em *Eficiência energética nos edifícios*, 2007.
- [22] A. Parreiral, Caracterização da Qualidade do Ambiente Interior em Edifício Escolar Recentemente Requalificado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra , 2011.
- [23] S. Silva, A sustentabilidade e o conforto das construções, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.
- [24] Agência Portuguesa do Ambiente, “Ambiente Portugal - Ambição para o futuro,” 2016. [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=319>. [Acedido em 2016 abril 11].
- [25] Franchi, M et al, Towards Healthy Air in Dwellings in Europe - The THADE Report, Brussels, 2004.
- [26] C. D. Ramos, C. M. Dias, E. Paixão, M. M. Cano e M. C. Proença, “Qualidade do Ar Interior em Edifícios de Escritórios e Serviços,” *Edifícios e Energia*, 2016.
- [27] M. Amaral, “Tese de Doutoramento - "Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação",” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, 2008.
- [28] J. Mascarenhas, Sistemas de Construção IX - Contributos para o Cumprimento do RCCTE, Detalhes Construtivos sem Pontes Térmicas, Materiais Básicos (6ª parte): o Betão, 2º ed., Lisboa: Livros Horizonte, 2008.

- [29] V. Zeferina, “Otimização de sistemas de ventilação natural em edifícios,” Universidade de Aveiro, 2010.
- [30] S. Silva, Física das construções, Departamento de Engenharia Civil, 2001.
- [31] A. & Silva, Física das construções, Departamento de Engenharia Civil, 2001.
- [32] P. Heiselberg, HYBVENT: Principles of Hybrid Ventilation, Hybrid Ventilation Center - Aalborg University: Aalborg, Denmark, 2002.
- [33] EN ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.
- [34] ASHRAE 55:2010, Thermal Environmental Conditions for Human, 2010.
- [35] EN 15251, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, 2007.
- [36] F. Moita, Energia Solar Passiva, Argumentum, 2010.
- [37] M. Souza, Patologias Ocasionadas pela Umidade nas Edificações, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- [38] P. Silva, Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VISUALDOE, Faculdade de Engenharia da Universidade do Minho, 2006.
- [39] L. V. Mendonça, “Condensações em Edifícios,” *Arquitectura & Vida*, pp. 71-74, Setembro 2005.

- [40] M. Almeida, *Reabilitação Energética de Edifícios: Perspectiva da Engenharia Civil*, Lisboa, 2012.
- [41] DGEG / IP3E, *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*, Lisboa: Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004.
- [42] F. M. G. Jardim, *Reabilitação Térmica e Energética de Vãos Envidraçados*, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, novembro de 2009.
- [43] L. Dias, *Reabilitação Energética de Edifícios - Sistemas Solares Térmicos*, Instituto Politécnico de Coimbra, 2013.
- [44] “DesignBuilder,” Natural Works, [Online]. Available: <http://www.natural-works.com/db/>. [Acedido em 16 Março 2016].
- [45] *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*, 2008.
- [46] *Decreto-Lei n.º78/2006 de 4 de abril. Aprova o Sistema de Certificação Energética*, 2002.
- [47] *Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril. Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, 2006.
- [48] *Decreto-Lei n.º79/2006 de 4 de abril. Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*, 2006.
- [49] *Decreto-Lei n.º58/2013 de 20 de agosto*, 2013.
- [50] *Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de agosto*, 2013.
- [51] C. F. Reinhart, *Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design*, Ottawa: National Research Council Canada, 2006.

- [52] C. F. Reinhart e O. Walkenhorst, “Validation of dynamic Radiance - based daylight simulations for a test office with external,” em *Energy and Buildings*, 2001, pp. 683-697.
- [53] P. O. Fanger, *Thermal Comfort*, New York: McGraw-Hill, 1972.
- [54] *Regulamento Geral do Ruído*, 2007.
- [55] J. Brito, “Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios,” em *Sistemas de Inspeção e Diagnóstico em Edifícios*, PATORREB, 2009, pp. 13-23.
- [56] I. 50, *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [57] A. Papadopoulos, “State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments,” em *Energy and Buildings*, 2005, pp. 77-86.
- [58] A. Santos, *A iluminação natural na perspectivda da reabilitação das construções*, Guimarães: Curso de Mestrado em Engenharia Civil, 2000.