

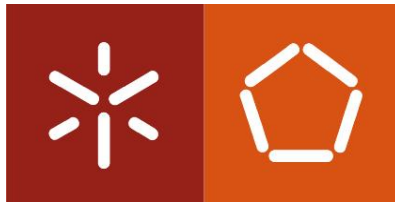
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Catarina Isabel Pacheco Gonçalves

**Reabilitação térmica e acústica de um
edifício da década de 1980 utilizando
cortiça**

janeiro de 2018



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Catarina Isabel Pacheco Gonçalves

**Reabilitação térmica e acústica de um
edifício da década de 1980 utilizando
cortiça**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

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

janeiro de 2018

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais pelo apoio dado durante todos estes anos e principalmente nesta fase final, sem eles não era possível. Ao meu namorado pelo apoio incondicional e pelas palavras de motivação quando mais precisava.

A todos os membros da minha família, pois são o maior alicerce da minha vida.

Os meus amigos também merecem um grande agradecimento pelo apoio e pelo incentivo, em especial a Cristina Barroso pelo apoio e pela ajuda, Sara Costa por sempre estar presente mesmo estando longe. Um agradecimento ainda maior para a minha amiga e “companheira de luta”, Cláudia Santos, pelo apoio, compreensão, pelas horas infinitas na universidade, pela ajuda essencial na conclusão desta dissertação e por ser uma excelente amiga e companheira.

Quero também agradecer ao mais recente grupo de amigos pelo incentivo, amizade e apoio, sendo eles Andreia Gomes, Flávia Pereira, Jorge Ramalho e Nuno Ferreira.

Agradeço a professora Sandra Silva pela orientação e apoio.

E por fim agradeço a todos as pessoas que me ajudaram na conclusão do curso ao longo destes anos e a todos que me colocaram uma pedra no caminho, ajudando-me a crescer e a seguir em frente mesmo que o caminho seja difícil.

RESUMO

O envelhecimento do parque habitacional, as crescentes necessidades de conforto e o abrandamento da construção nova, têm impulsionado o sector da construção, mais propriamente a reabilitação de edifícios.

Ao longo dos anos, tem se tornado cada vez mais importante garantir o conforto térmico e acústico, bem como assegurar o melhor desempenho energético dos edifícios. Tendo em conta que, ainda existe um considerável número de habitantes, que se sentem desconfortáveis dentro das suas próprias habitações e que por isso, conduzem a maiores gastos energéticos, a reabilitação torna-se cada vez mais relevante.

A escolha dos materiais é um ponto essencial para garantir estes parâmetros, pois as suas qualidades influenciam o comportamento do edifício.

Assim, este trabalho consiste no estudo da cortiça como material isolante, de modo a perceber as suas qualidades em termos térmicos e acústicos.

Para isso foi utilizado como caso de estudo, um edifício multifamiliar construído no ano de 1980, onde foram propostas medidas de reabilitação utilizando a cortiça e outros materiais, com objetivo de proceder a uma análise comparativa.

Nesta análise, foram utilizados dois programas de simulação dinâmica, Design Builder e Acoubat, sendo que o primeiro permite analisar o edifício em termos térmicos e o segundo em termos acústicos.

Por último, foi efetuada uma análise económica com a finalidade de compreender a relação do custo/benefício das medidas de reabilitação impostas.

Os resultados deste trabalho mostraram que a implementação de medidas de reabilitação melhora o desempenho térmico e o conforto acústico do edifício. A cortiça apresenta boas características para o isolamento térmico e acústico, permitindo o melhoramento do desempenho do edifício e consequentemente, uma melhor qualidade de vida para os seus ocupantes.

Palavras-Chave: Reabilitação, Conforto térmico, Conforto acústico, Simulação dinâmica, Cortiça.

ABSTRACT

The aging housing stock, the growing need for comfort, and the decline in new construction have been leveraging the building sector, specifically the rehabilitation of buildings.

Throughout the years, it has become more and more important to guarantee thermal and acoustic comfort, as well as to ensure more energy-efficient buildings. Considering that there is still a substantial amount of residents who feel uncomfortable in their own homes, which, therefore, leads to higher energy costs, rehabilitation has become increasingly relevant.

The choice of materials is crucial to ensure these parameters, since their qualities influence the building's performance.

Therefore, this project consists of a study of cork as an insulation material, in order to understand its qualities in terms of thermal and acoustic performance.

For that, the study case used was a multi-family building from the 80's, in which rehabilitation measures were proposed using cork and other materials to proceed to a comparative analysis.

For this analysis, there were used two dynamic simulation programs - Design Builder and Acoubat - with the first being able to analyze the building's thermal performance, and the second the acoustic performance.

Lastly, it was performed an economic analysis so as to understand the cost/benefit relationship of the rehabilitation measures imposed.

The results of this work have shown that the implementation of rehabilitation measures improves the thermal performance and acoustic comfort of buildings. Cork has demonstrated good thermal and acoustic insulation characteristics, allowing the improvement of the building performance, and thus a better quality of life for its occupants.

Keywords: Rehabilitation, Thermal comfort, Acoustic comfort, Dynamic simulation, Cork.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura do documento.....	3
CAPÍTULO II.....	5
2. ESTADO DE ARTE	5
2.1. Reabilitação	5
2.2. Parque habitacional português.....	9
2.2.1. <i>Época de construção</i>	9
2.2.2. <i>Número de pisos</i>	10
2.2.3. <i>Número de alojamentos dos edifícios</i>	11
2.2.4. <i>Estado de conservação</i>	11
2.3. Reabilitação de edifícios.....	13
2.4. Conforto térmico	14
2.5. Conforto acústico.....	16
2.6. Utilização da cortiça como isolante térmico e acústico.....	22
2.5.1. <i>Normalização relativa à cortiça na construção</i>	27
2.6.1. <i>A cortiça em Portugal</i>	28
CAPÍTULO III	31
3. METODOLOGIA	31
3.1. Introdução.....	31
3.2. Metodologia Geral.....	31
3.3. Caso de estudo	32
3.4. Programas de simulação de desempenho	37
3.4.1. <i>Design Builder - Simulação térmica</i>	37
3.4.2. <i>Acoubat – Simulação do desempenho acústico</i>	45

3.5.	Medidas de reabilitação	48
3.6.	Análise económica	54
3.6.1.	<i>Investimento inicial</i>	54
3.6.2.	<i>Custo de energia ao longo do tempo</i>	54
CAPÍTULO IV		57
4.	RESULTADOS	57
4.1.	Introdução	57
4.2.	Edifício – Situação atual	57
4.2.1.	<i>Desempenho térmico</i>	57
4.2.2.	<i>Desempenho acústico</i>	58
4.3.	Medidas de reabilitação	59
4.3.1.	<i>Avaliação do desempenho térmico</i>	59
4.3.1.1.	<i>Análise dos resultados</i>	63
4.3.2.	<i>Avaliação do desempenho acústico</i>	65
4.3.2.1.	<i>Análise de resultados</i>	67
4.3.3.	<i>Análise global</i>	68
4.4.	Análise económica	70
4.4.1.	<i>Investimento inicial</i>	71
4.4.2.	<i>Custo da energia ao longo do tempo</i>	73
CAPÍTULO V		75
5.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	75
5.1.	Conclusões	75
5.2.	Trabalhos Futuros	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79
ANEXO		83
ANEXO I – INQUÉRITOS E ANÁLISE		85
ANEXO II - LEI DA MASSA		91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Número de edifícios segundo o estado de conservação.....	5
Figura 2 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios nos países da União Europeia	7
Figura 3 - Fogos construídos: Construção nova vs Reabilitação	8
Figura 4 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção	9
Figura 5 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o número de pisos, por época de construção	10
Figura 6 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos, por número de pisos.....	11
Figura 7 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção	12
Figura 8 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por número de pisos	12
Figura 9 - Patamares de conforto térmico	16
Figura 10 - Percentagem de população com queixas do ruído dos vizinhos e da rua, em 2016	17
Figura 11 - Sons de condução aérea (esquerda); Sons de percussão (direita)	18
Figura 12 - Placas de aglomerado de cortiça.....	24
Figura 13 – Exemplos de edifícios com cortiça	27
Figura 14 - Área de montado em Portugal por região em %	29
Figura 15 - Mapa de localização do montado.....	29
Figura 16 - Exportações portuguesas por país de destino em 2015	30
Figura 17 - Principais produtos exportados (milhões de euros)	30
Figura 18 - Planta e divisão das zonas da garagem	33
Figura 19 - Planta e divisão das zonas do rés-do-chão.....	34
Figura 20 - Planta e divisão das zonas dos restantes andares	34
Figura 21 - Planta da cobertura.....	35

Figura 22 - Pormenor e características da parede exterior.....	35
Figura 23 - Pormenor e características da parede entre frações e zonas não úteis	36
Figura 24 - Pormenor e características do pavimento.....	36
Figura 25 - Pormenor e característica da cobertura.	37
Figura 26- Introdução dos dados relativos à localização do edifício	38
Figura 27 - Modelo geométrico do edifício em estudo.....	39
Figura 28 - Divisão das zonas do R/Chão.....	39
Figura 29 - Divisão das zonas dos restantes andares.	40
Figura 30 - Exemplo de uma adição de um novo elemento construtivo ao Design Builder.....	41
Figura 31 - Introdução de dados relativos às aberturas no Design Builder.	42
Figura 32 - Introdução dos dados relativos a iluminação no Design Builder	42
Figura 33 - Introdução dos dados referente ao sistema AVAC, no Design Builder	43
Figura 34 - Exemplo de um horário (<i>Schedule</i>) no Design Builder.....	44
Figura 35 - Exemplo de apresentação dos resultados obtidos através do Design Builder.....	44
Figura 36 - Escolha da geometria no Acoubat.	45
Figura 37 - Geometria para análise entre frações e exterior no Acoubat.....	46
Figura 38 -Geometria para análise entre zona útil e zona não útil no Acoubat	46
Figura 39 - Exemplo de adição de um novo material. a) Criação do novo material; b) Introdução valores referentes ao índice de redução sonora	47
Figura 40 - Exemplo de um resultado obtido de uma análise no Acoubat.	48
Figura 41 - Pormenor e constituintes da parede exterior com ETICS	49
Figura 42 - Pormenor e constituintes do pavimento na solução de reabilitação 1	50
Figura 43 - Pormenor e constituintes da cobertura na solução de reabilitação 1	51
Figura 44 - Pormenor e constituintes da parede entre frações e zonas não úteis da solução de reabilitação 1.....	51
Figura 45 - Pormenor e constituintes do pavimento da solução de reabilitação 2.....	52
Figura 46 - Pormenor e constituintes da parede entre frações da solução de reabilitação 2....	53
Figura 47 - Previsão da evolução do custo de energia.....	55
Figura 48 - Reduções totais das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) da solução de reabilitação 1.....	68
Figura 49 - Reduções totais das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) para a solução de reabilitação 2.....	69
Figura 50 – Reduções totais das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) da solução de reabilitação 3.....	70

Figura 51 - Investimento inicial por m²..... 71

Figura 52 - Investimento inicial em euros 72

Figura 53 - Investimento inicial em euros da solução de reabilitação 3..... 72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de avaliação da gravidade da anomalia	13
Tabela 2 - Escala de conforto térmico	15
Tabela 3 - Requisitos para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior	19
Tabela 4 - Requisitos para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da envolvente interior	19
Tabela 5 - Requisitos do índice de isolamento sonoro a sons de percussão.....	20
Tabela 6 - Características médias do aglomerado expandido de cortiça, em termos térmicos	24
Tabela 7 - Características médias do aglomerado expandido de cortiça, em termos acústicos	25
Tabela 8 - Características de isolamentos.....	26
Tabela 9 - Espaços e áreas do edifício em estudo	33
Tabela 10 - Características da parede exterior com ETICS	49
Tabela 11 -Características do pavimento na solução de reabilitação 1	50
Tabela 12 - Características da cobertura na solução de reabilitação 1	51
Tabela 13 - Características da parede entre frações na solução de reabilitação 1	52
Tabela 14 - Características do pavimento da solução de reabilitação 2	52
Tabela 15 - Características da parede entre frações da solução de reabilitação 2	53
Tabela 16 - Constituição do envidraçado para a Reabilitação 3.....	54
Tabela 17 - Resultados totais do edifício, situação atual, no <i>Design Builder</i>	57
Tabela 18 - Comparação dos resultados com o RRAE	59
Tabela 19 – Resultados térmicos da solução de reabilitação 1, isolamento com 4 cm	60
Tabela 20 – Resultados térmicos da solução de reabilitação 1, isolamento com 6 cm	60
Tabela 21 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 2, com isolamento de 4cm	61
Tabela 22 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 2, com isolamento de 6cm	61
Tabela 23 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 3, com introdução de envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2.....	62
Tabela 24 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 3, com introdução de envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2, sem intervenção na fachada	62

Tabela 25 - Redução das necessidades energéticas após a implementação da solução de reabilitação 1.....	63
Tabela 26 - Redução das necessidades energéticas após a implementação da solução de reabilitação 2.....	64
Tabela 27 - Redução das necessidades energéticas após a implementação da solução de reabilitação 3.....	64
Tabela 28 - Análise dos resultados acústicos da solução de reabilitação 1	65
Tabela 29 - Análise dos resultados acústicos da solução de reabilitação 2	66
Tabela 30 - Áreas dos elementos construtivos a reabilitar.....	71
Tabela 31 - Custos previstos da energia.....	73
Tabela 32 - Custos previstos de energia e poupança total	74

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Em Portugal, grande parte dos edifícios foram construídos antes de 1990, pelo que os edifícios apresentam deficiências de qualidade térmica e acústica. [1]. Estas deficiências refletem a inexistência de regulamentação térmica, até 1990, e da regulamentação acústica, que apenas foi implementada em 1987 [2][3]. Por outro lado, os edifícios encontram-se sujeitos ao desgaste natural da sua qualidade inicial. Portanto, todos estes fatores contribuem para um aumento significativo das necessidades de conforto térmico, acústico e qualidade do ar, potenciando um aumento dos consumos energéticos.

As necessidades energéticas dos edifícios são responsáveis pelo consumo de cerca de 30% da energia total consumida em Portugal e de 40% na Europa. Deste modo, a implementação de medidas que permitam melhorar a eficiência energética poderá acarretar uma redução de 50% destes consumos [4].

O consumo energético de um edifício é influenciado pelas necessidades energéticas requeridas pelos habitantes, em detrimento de um maior conforto térmico. Algumas das características do edifício determinam estas necessidades energéticas, nomeadamente [5]:

- Ausência ou insuficiência de isolamento, e a existência de pontes térmicas, que permitam uma maior permeabilidade dos elementos;
- Baixo desempenho dos vãos envidraçados e falta de proteção solar adequada, proporcionam uma maior troca de calor e som;
- Ventilação não controlada ou ventilação insuficiente.

Para minimizar o impacto destas características é fundamental ter em conta o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), como do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), que estabelece requisitos, parâmetros e metodologias [4].

A reabilitação de um edifício implica uma abordagem abrangente, em que vários fatores devem ser considerados, entre os quais, a inter-variabilidade entre os edifícios, pois cada edifício apresenta as suas próprias exigências.

Por outro lado, o setor da construção é uma das atividades que mais contribui para os problemas ambientais, pelo que se torna crucial selecionar materiais provenientes de matérias-primas renováveis ou com baixo impacto ambiental. Esta seleção e os métodos de aplicação, poderão minimizar os aspetos negativos que este setor acarreta.

A cortiça é um material que apresenta qualidades em termos ambientais, pois é um material 100% natural, renovável e reciclável [6]. A ter em conta é a grande área de sobreiro existente, árvore da qual é extraída a cortiça, tornando um fator favorável em relação ao ambiente [6].

Já em termos económicos a cortiça é um material que implica inúmeras exportações, tornando assim Portugal como o país que mais exporta este tipo de material [6].

Além disso a cortiça apresenta boas características de isolamento térmico e acústico, tem combustão lenta e é impermeável a líquidos e gases. Portanto, torna-se uma mais valia para aplicação na construção [6].

1.2. Objetivos

A reabilitação de um edifício tem como finalidade a redução dos consumos energéticos e o aumento das qualidades, acústica e térmica, através da: substituição de envidraçados, reforço de isolamento térmico e acústico, redução de infiltrações, entre outras.

A presente dissertação tem como objetivos analisar o desempenho térmico e acústico da cortiça, num edifício representativo do parque habitacional português, por isso foi escolhido uma habitação multifamiliar localizada na cidade de Braga da década de 80. Foi selecionado o edifício em questão devido às suas características e a falta de conforto térmico e acústico.

Pretende-se deste modo, avaliar a qualidade da cortiça comparativamente a outros materiais e verificar se asseguram um maior conforto térmico e acústico, com reduzidos consumos energéticos.

Paralelamente, dada a importância do fator económico, será efetuada uma análise económica das medidas de reabilitação estudadas para o edifício, através da realização da estimativa da poupança energética e o custo do investimento, de modo a avaliar se é justificável ou não, a implementação destas medidas.

1.3. Estrutura do documento

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos, que expõem as etapas efetuadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

No capítulo introdutório é efetuado o enquadramento geral da dissertação e são definidos os objetivos deste trabalho, bem como a estrutura do mesmo.

O segundo capítulo aborda o estado de arte, onde se trata dos temas abordados nos capítulos seguintes.

O terceiro capítulo é composto pelo caso de estudo, as metodologias utilizadas para o estudo, descrição dos programas informáticos utilizados para prever o desempenho térmico e acústico e a apresentação das medidas de reabilitação.

No capítulo quarto, encontram-se os resultados do estudo e a análise económica.

Por último, o capítulo cinco, apresenta as conclusões do trabalho efetuado e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

ESTADO DE ARTE

2.1. Reabilitação

O Regime jurídico de Reabilitação Urbana, Decreto Lei n.º307/2009, de 23 de Outubro e revogado pela Lei n.º32/2012, de 14 de agosto, define a reabilitação de edifícios como «[...] a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva ... com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados, podendo compreender uma ou mais operações urbanísticas». Deste modo, a reabilitação, através da criação de condições de habitabilidade, permite a manutenção do património e possibilita a conservação da história [7].

De acordo com os Censos 2011, o parque habitacional português encontra-se em bom estado de conservação, em que cerca de 71% dos edifícios não precisam de reabilitação. No entanto, cerca de 24% dos edifícios carecem de pequenas e médias reparações (ver Figura 1) [8].

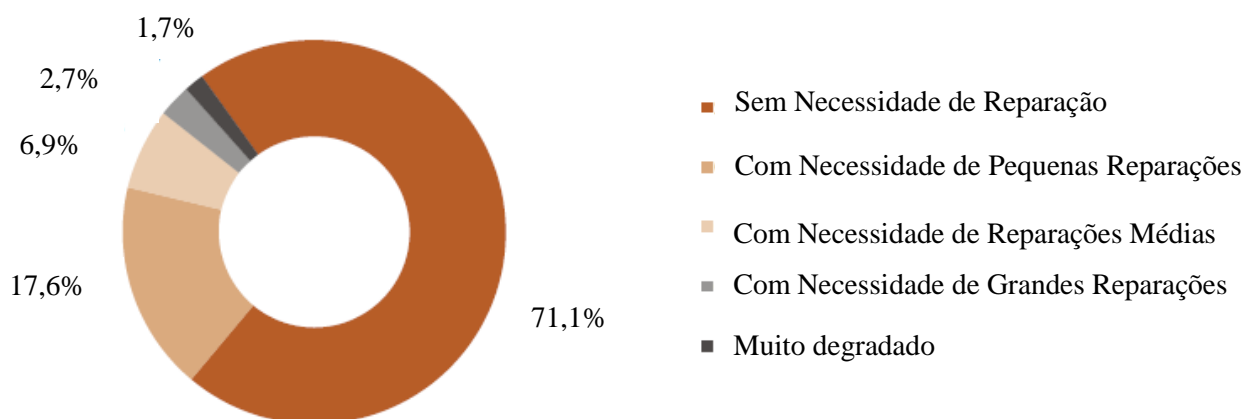


Figura 1 - Número de edifícios segundo o estado de conservação (Adaptado: [8])

De ressaltar, que muitos dos edifícios que, aparentemente, não possuem necessidades de reabilitação, porque não apresentam degradação visível, não detêm condições adequadas de conforto térmico e acústico. Além disso, apresentam desempenho energético desadequado.

A inexistência de conforto térmico e acústico, pode acarretar consequências económicas e sociais, tais como: doenças do foro físico e psicológico, perda de anos úteis da população e consumos energéticos elevados [9]. Deste modo, torna-se pertinente reabilitar o parque habitacional.

Esta falta de conforto, principalmente térmico, contribuí para que Portugal, permaneça como um dos países europeus com maior taxa de mortalidade de inverno [10].

Nesse sentido, a reabilitação insurge-se com o objetivo de aprimorar a qualidade de vida, o conforto térmico e o conforto acústico dos edifícios. No entanto, os aspetos económicos não devem ser descorados, uma vez que 28% da população portuguesa encontra-se numa situação de pobreza energética, ou seja, gasta mais de 10% do seu rendimento para manter a sua habitação aquecida [11].

A necessidade de reabilitação tem ganho fôlego ao longo dos anos, tanto em Portugal como na Europa, impulsionada pela crise económica.

Desde 2008, que a Europa tem sido abalada por uma crise económica, que tem afetado praticamente todos os setores, inclusive o setor da construção. Entre o primeiro semestre de 2008 e o primeiro semestre de 2010, foi registada uma quebra na produção de cerca de 20% no sector da construção. Estes valores já não eram registados desde 1999 [12].

Em Portugal, o decréscimo da construção nova, proporcionou o aumento de 1,8% de alojamentos reabilitados em 2001, para 15,6% em 2011 [13].

De acordo com a 79ª conferência da Euroconstruct, em 2014 verificou-se uma diminuição na recessão da economia europeia, como consequência da “queda nos preços do petróleo”, “queda do euro “(tornando-se mais fraco) e “baixas taxas de juros para financiamento” [12]. Esta melhoria, contribuiu para que em 2015, o sector da construção crescesse cerca de 1,6%, no entanto, o crescimento foi mais baixo do que o previsto no ano anterior (1,9%) nos países da

Euroconstruct¹ [14]. A quota de reparações, renovações e manutenção, atingiu 60% do mercado residencial total [14].

Em novembro de 2017, a Euroconstruct concluiu que o crescimento do setor da construção subiria cerca de 3,5%, atingindo o valor mais elevado desde 2006 [15]. Este aumento reflete o aumento do crescimento económico das famílias e das finanças públicas, entre outros fatores. Os países com maior aumento serão: Hungria (+25%), Irlanda (+15%), Suécia de (+10%) e Polónia (+9%) [15].

No próximo anos, prevê-se a continuação deste crescimento, com um aumento de 6% até 2020 [15]. De salientar, os crescimentos significativos de países como a Hungria e Irlanda (ambos de 28%), Polónia (25%) e a República Checa e Portugal (ambos de 15%) [15].

As recuperações económicas têm potenciado a aposta na reabilitação de edifícios. No entanto, em Portugal, a produtividade do segmento de reabilitação atinge apenas os 26,1%, valores abaixo da média europeia (Ver Figura 2) [13]. A construção nova ainda é preferida em detrimento da reabilitação (Figura 3) [16].

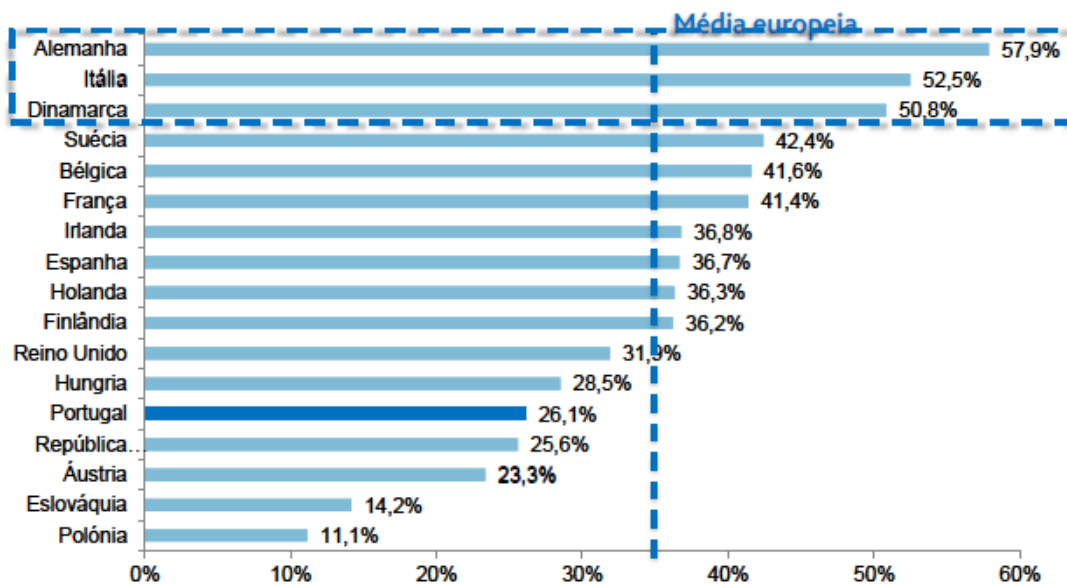


Figura 2 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios nos países da União Europeia [13]

¹ Países da Euroconstruct: Áustria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Hungria, Irlanda, Itália, Países Baixos, Noruega, Polónia, Portugal, Eslováquia, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido.

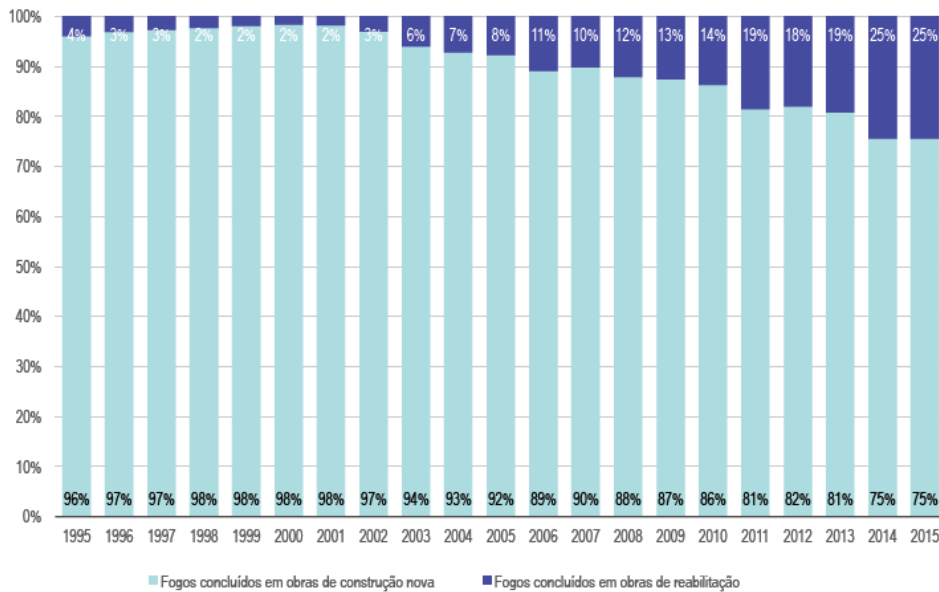


Figura 3 - Fogos construídos: Construção nova vs Reabilitação [16]

Porém, em dezembro de 2017, foi registado um aumento de cerca de 11,3% ao nível da reabilitação e as previsões apontam para a continuação do crescimento [17].

O governo em parceria com a União Europeia, têm proposto alguns incentivos à reabilitação através da criação de fundos de investimento [18].

O fundo Jéssica, consiste num investimento sustentável em áreas urbanas, com o apoio do Banco Europeu de Investimento. Este apoio perfaz um total de cerca de 132,5 milhões de euros, sendo 102,5 milhões de euros provenientes do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional e 30 milhões de euros, da Direção Geral do Tesouro e Finança [18].

O Fundo Nacional de Reabilitação do Edificado (FNRE), pretende reabilitar 1 000 000 m² de edifícios (800 000 m² de habitação e 200 000 m² de comercio/serviços), entre 2017 e 2026 [16].

O programa PROHABITA tem como finalidade resolver o problema dos agregados familiares que se encontram em graves carências habitacionais e apresenta novas soluções de apoio à reabilitação em áreas de reabilitação urbana, previsto pelo Decreto Lei n° 5647/2007 [19]. Além disso, fornece um conjunto de benefícios fiscais, nomeadamente ao nível do: Imposto Municipal (IMI), Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA), Imposto sobre o Rendimento Singular (IRS) e entre outros [20].

Em 2017, o Banco Europeu de investimento (BEI) concebeu um empréstimo de 300 milhões de euros, para financiar a reabilitação e revitalização urbana [21].

Através do Instrumento financeiro de reabilitação e revitalização urbana (IFRRU 2020), Portugal conta com cerca de 1.400 milhões de euros, sendo 80 milhões de euros do Banco de Desenvolvimento do Conselho da Europa. Pelo que, tem permitido um melhoramento significativo do ambiente urbano [21].

Perante os incentivos à reabilitação e tendo em conta que, em 2011 existiam, em Portugal, cerca de um milhão de edifícios com necessidades de intervenção, torna-se preponderante a reabilitação do parque habitacional português para conceber as condições de funcionalidade, segurança e conforto do parque edificado [13].

2.2. Parque habitacional português

Ao longo dos anos, transversalmente em todo o país, tem-se verificado que o crescimento do número de alojamentos familiares clássicos (73,2%) é superior ao crescimento do número de famílias clássicas (38,3%), existindo em média cerca de 1,45 alojamentos por família [1].

2.2.1. Época de construção

Segundo os Censos de 2011, a maior parte dos edifícios existentes (63,1%), correspondem a construções posteriores a 1971 (Figura 4) [1].

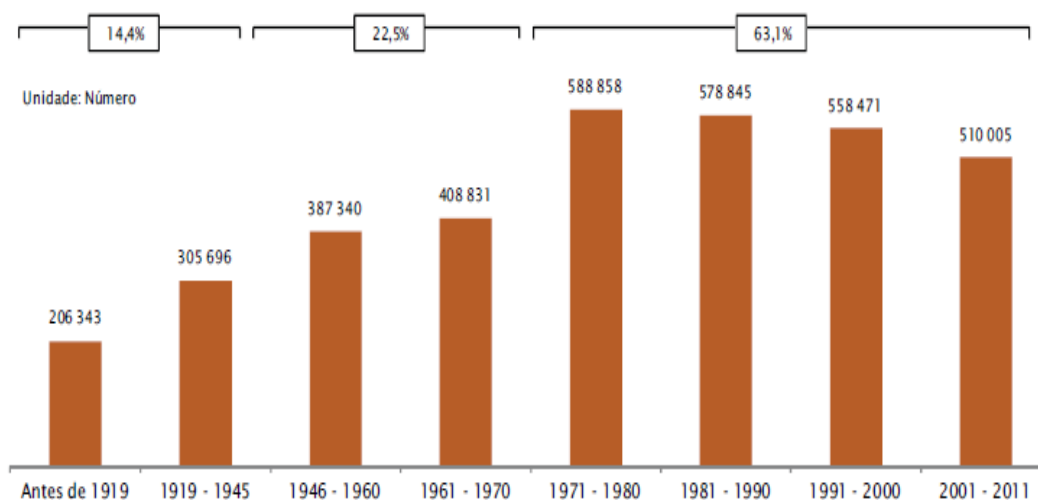


Figura 4 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção [1]

Além disso, tem-se verificado um decréscimo do número total de edifícios. Os edifícios construídos antes de 1919 diminuíram cerca de 68%, os de 1919 a 1945 reduziram cerca de 37%, os de 1946 a 1971 decresceram cerca de 3,25% e os de 1991 a 2001 diminuíram cerca de 19,4%. Estes decréscimos poderão corresponder às demolições, alteração do uso ou reclassificação da época de construção devido a obras de reconstrução [1].

2.2.2. Número de pisos

Relativamente ao número de pisos, em 2011, o parque habitacional era constituído maioritariamente por edifícios de baixa altura, apresentando 39,4% um piso e 45,5% dois pisos. Na última década, os edifícios com mais de dois pisos sofreram um acréscimo de 20% [1].

Comparando as épocas de construção quanto ao número de pisos, observa-se uma diminuição na percentagem de edifícios com um piso, ao longo das épocas de construção, pelo que em 2001-2011, atingiu-se uma percentagem de 25,2 [1].

Por outro lado, houve um aumento do número de edifícios com dois ou mais pisos. De salientar, que apesar deste aumento, a maioria dos edifícios possui um ou dois pisos, pelo que ambos contabilizam uma percentagem superior a 75% (Figura 5) [1].

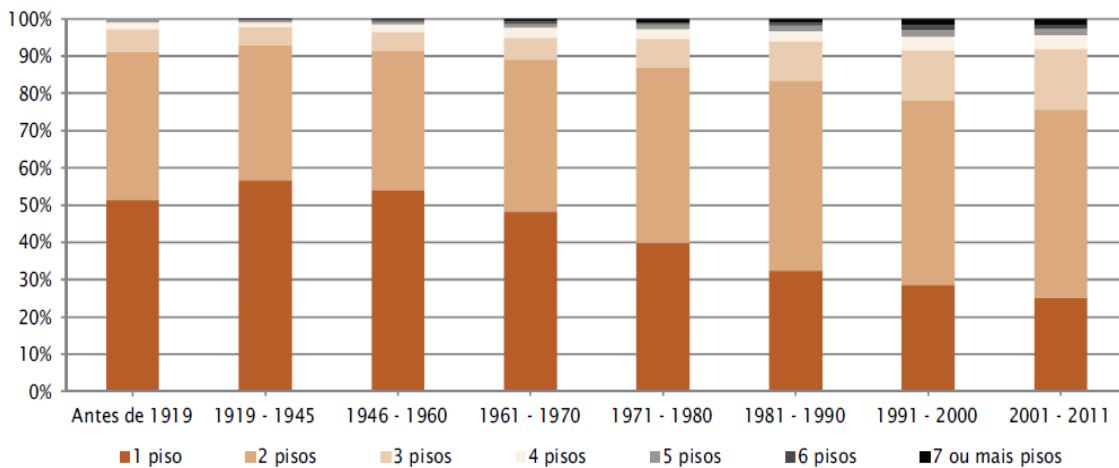


Figura 5 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o número de pisos, por época de construção [1]

2.2.3. Número de alojamentos dos edifícios

Dos 3,5 milhões de edifícios, em 2011, existentes em Portugal cerca de 87,2% só tinham 1 alojamento, os restantes 12,8% continham 2 ou mais alojamentos [1]. A percentagem de edifícios com apenas um alojamento é a mais significativa em todas as épocas de construção.

Analisando o número de alojamentos e o número de pisos, constata-se que a maioria dos edifícios com apenas 1 piso, apresenta apenas um alojamento. No entanto, o aumento do número de pisos é acompanhado do aumento do número de alojamentos (Figura 6) [1].

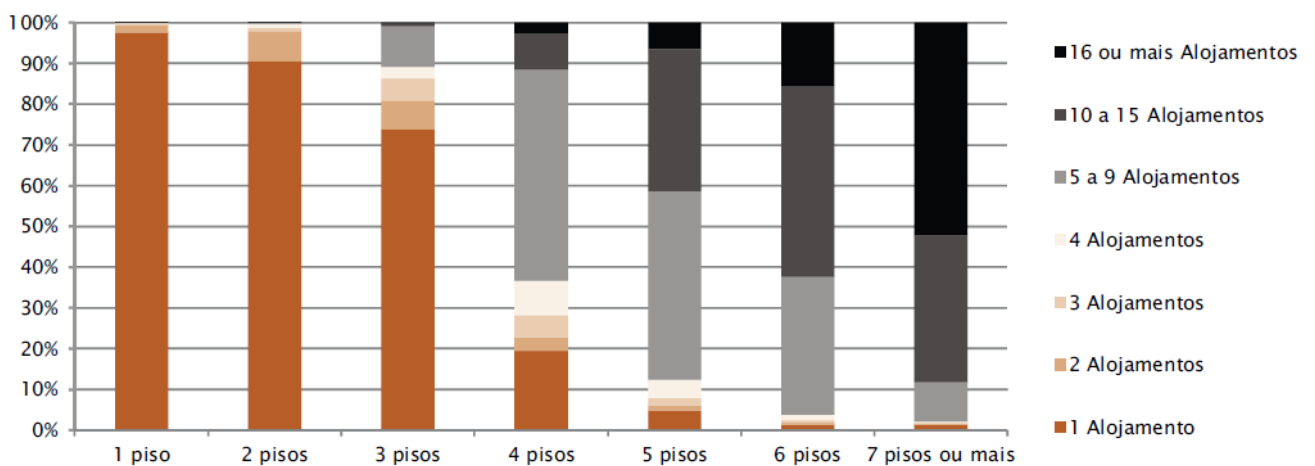


Figura 6 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos, por número de pisos [1]

2.2.4. Estado de conservação

Entre 2001 e 2011 constatou-se uma melhoria no estado de conservação do edificado português, verificou-se um aumento de 34,8% dos edifícios sem necessidades de reparação e uma redução nos edifícios que necessitam de reparações. Apesar disto, ainda existe um número considerável de edifícios que necessitam de reabilitação [1].

Por outro lado, constata-se que quanto mais recente for a época de construção melhor é o estado de conservação do edificado. Os edifícios sem necessidade de reparação chegam a atingir os 95%, entre 2001 e 2011 (Figura 7) [1].

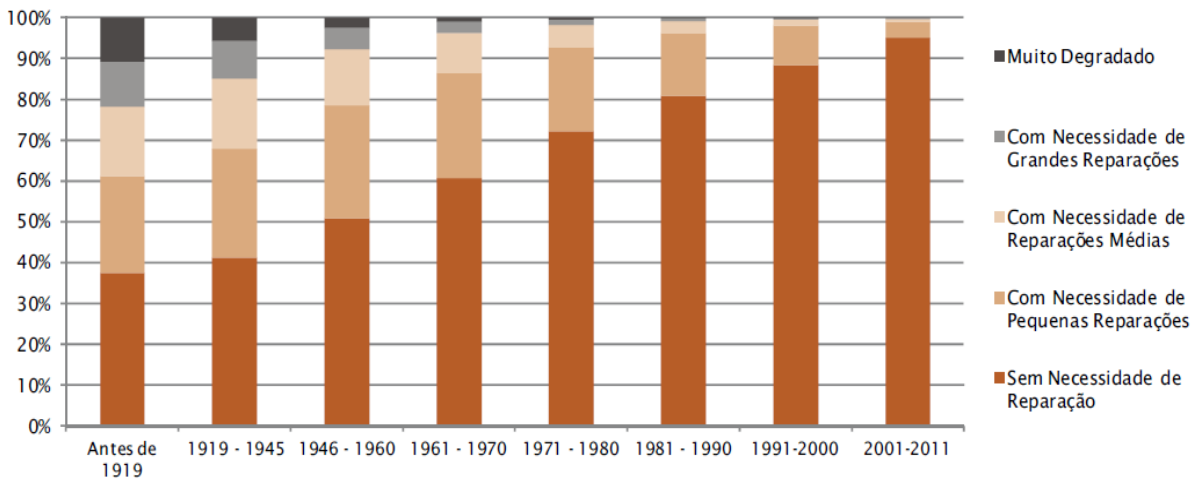


Figura 7 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção [1]

Comparando o número de pisos quanto ao estado de conservação, verifica-se que o aumento do número de pisos é acompanhado do aumento do estado de conservação, ou seja, do acréscimo de edifícios sem necessidade de reparação. Nos edifícios com um piso, 62,8% não apresentam necessidades de reparação e nos edifícios com dois ou mais pisos, esta percentagem acresce para valores superiores aos 70%. Paralelamente, os edifícios classificados como muito degradados, diminuem significativamente com o aumento de pisos, pelo que não atingem o 1% nos edifícios com sete ou mais pisos (Figura 8) [1].

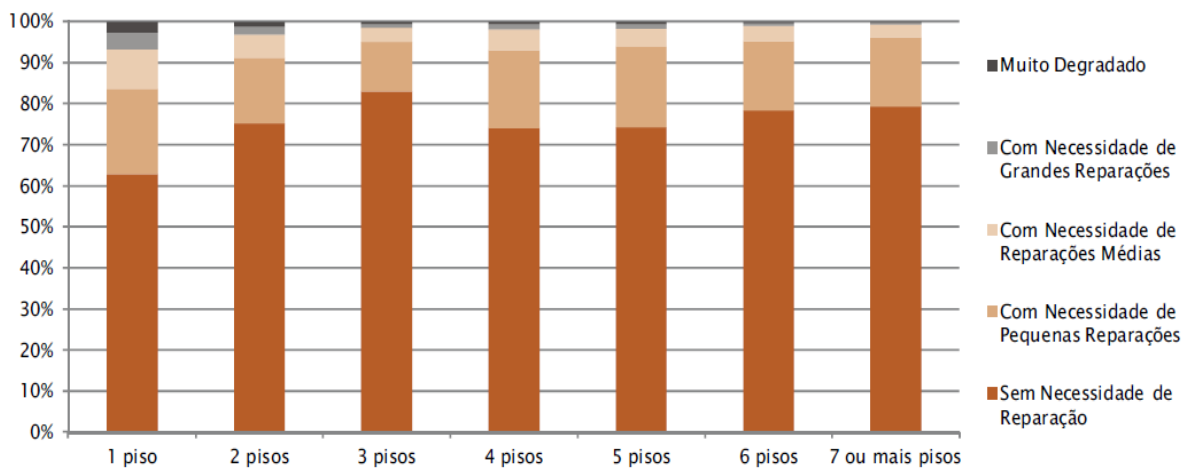


Figura 8 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por número de pisos [1]

Assim, verifica-se que ainda existe edifícios com necessidades de reparações, que colocam em causa o conforto dos habitantes. Torna-se fulcral a implementação de reparações, de forma a melhorar o parque habitacional português nestes parâmetros.

2.3. Reabilitação de edifícios

A presença de edificado com necessidade de reparações em Portugal, torna a reabilitação de edifícios uma mais valia. Ela permitirá o aumento dos padrões de qualidade e consequentemente do conforto, e por outro lado preservará a identidade, os valores culturais e tradicionais.

Vários fatores deverão ser considerados aquando da reabilitação de um edifício, nomeadamente: condições do edifício, envolvente em geral ao edifício, legislação em vigor e fatores económicos.

Antes de qualquer implementação de reabilitação é necessário verificar a necessidade de reabilitação do edifício, ou seja, quais anomalias inerentes e qual o seu grau de gravidade. Estas poderão ser classificadas como anomalias sem significado, anomalias ligeiras, anomalias médias e anomalias graves (Tabela 1) [22].

Tabela 1 - Critérios de avaliação da gravidade da anomalia (Adaptado: [22])

	Critérios
Anomalias sem significado	Ausência de anomalias ou anomalias sem significado
Anomalias ligeiras	Anomalias que prejudicam o aspeto
Anomalias médias	Anomalias que prejudicam o uso e/ou o conforto
Anomalias graves	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança

A partir desta classificação consegue-se determinar a extensão da intervenção e da sua complexidade, de forma a conceber-lhe as condições de habitabilidade.

Para além dos fatores supramencionados, é necessário identificar o local do edifício, de modo a determinar se este se encontra abrangido em certas obrigações. Obrigações estas que se encontram no Plano Diretor Municipal (PDM), que impõe regras de ocupação, uso e transformação do território.

Se a reabilitação se enquadrar na reabilitação urbana, deverá ser consultado e o Instituto de Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU), que tem como objetivo garantir o cumprimento das políticas exigidas pelo governo relativamente às áreas de habitação e da reabilitação urbana, de forma a salvaguardar o património e a sua evolução.

A reabilitação tem como finalidade garantir as qualidades necessárias aos edifícios, de modo a assegurar todas as condições de habitabilidade e de conforto. As condições de habitabilidade

atingem-se após o cumprimento de todas as exigências de segurança, higiene, saúde e conforto [22].

As exigências de segurança estão relacionadas com a proteção física e psicológica, garantir tranquilidade e confiança aos habitantes. Esta divide-se em segurança estrutural, segurança contra incêndios e segurança na ocupação e uso do espaço [22].

As exigências de higiene, saúde e conforto têm o objetivo de garantir a higiene, saúde e conforto aos habitantes. Estas são influenciadas pela salubridade, qualidade do ar, proteção contra humidade/estagnidade, conforto visual, conforto acústico, conforto térmico e economia de energia [22].

Tudo isto com o objetivo de garantir maior qualidade do edifício e o maior conforto aos habitantes, de modo a proporcionar a melhor segurança e conforto.

2.4. Conforto térmico

Segundo a norma EN ISO 7730:2005 o conforto térmico é “*um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa (nem quente nem frio)*” [23]. Este estado é obtido quando existe equilíbrio entre o ser humano e o ambiente que o rodeia, conservando a temperatura do corpo de $37^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ [24].

O conforto térmico é uma sensação subjetiva e que não tem uma temperatura exata, pois depende de aspetos individuais (biológicos, físicos e emocionais dos ocupantes) e aspetos ambientais (humidade, temperatura do ar, velocidade do ar e entre outros). Pelo que, não se torna possível satisfazer todos os ocupantes com uma determinada condição térmica [24].

Uma vez que o conforto térmico é subjetivo, Fanger desenvolveu um método, representado na norma EN ISO 7730:2005, que calcula o voto médio das várias pessoas que se encontram no local (Voto Médio Previsível – PMV) segundo a sensibilidade humana ao frio e ao calor, e a Percentagem de Pessoas Descontentes (PPD) [24]. O PMV é quantificado numa escala de sete patamares, que classifica o conforto térmico em 7 níveis: desconfortável devido ao frio, satisfeito e desconfortável devido ao calor (Tabela 2).

Tabela 2 - Escala de conforto térmico [24]

-3	Muito Frio	Desconfortável devido ao frio
-2	Frio	
-1	Ligeiramente frio/fresco	Satisfeito
0	Neutro/Confortável	
1	Ligeiramente quente/morno	
2	Quente	Desconfortável devido ao calor
3	Muito quente	

Como referido anteriormente, a avaliação do conforto térmico depende de vários fatores, nomeadamente, do espaço em que se encontram os ocupantes, ou seja, dos edifícios. Estes últimos, devem ser construídos de forma a promover um microclima que permita assegurar condições térmicas aceitáveis, independentemente das condições exteriores.

De modo a garantir as condições aceitáveis intervém-se essencialmente na qualidade da envolvente exterior e interior do edifício, ou seja, paredes, pavimentos, coberturas, portas e janelas. Sem nunca descorar o Regulamento de Desempenho Energético de Habitação (REH), que impõe os seguintes requisitos para assegurar o melhor desempenho do edifício [25]:

- na envolvente, limites relativamente ao coeficiente de transmissão térmica dos elementos e ao fator solar dos envidraçados;
- na ventilação, relativamente à taxa de ventilação;
- nos valores das necessidades nominais de energia útil;
- nos sistemas técnicos, requisitos ao nível da qualidade e eficiência, para o cálculo do seu contributo para o edifício.

Para além da envolvente do edifício existem outros fatores que determinam o conforto, tais como: a localização do edifício, a sua orientação, a exposição solar, os materiais que o constituem, iluminação e sistemas técnicos e de climatização.

Se considerarmos todos estes fatores, é possível atingir o conforto térmico e ao mesmo tempo garantir necessidades energéticas baixas, ou seja, gastar o mínimo de energia para obter os valores de conforto térmico aceitáveis.

Em Portugal, apenas um em cada cem portugueses, considera a sua habitação confortável em termos térmicos [26]. Para conseguirem atingir o conforto térmico, cerca de 35% dos

portugueses recorre tanto a mais equipamentos como a mais roupa, cerca de 21% usa só mais equipamentos e cerca de 20% usam apenas mais roupas [26].

Este desconforto, acarreta maiores gastos de energia com o aquecimento e arrefecimento das habitações, tal como demonstrado na Figura 9.

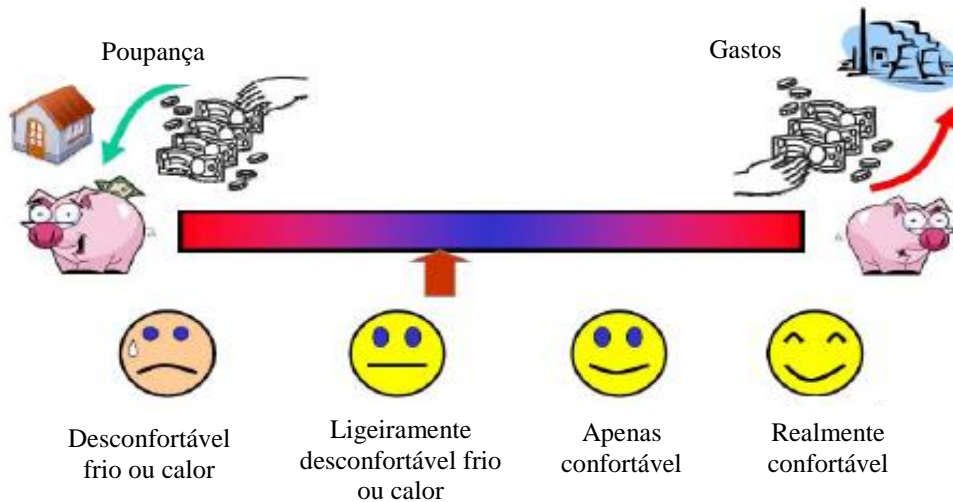


Figura 9 - Patamares de conforto térmico [27]

Portanto, os edifícios habitacionais necessitam de garantir um conforto térmico, para por um lado assegurarem melhores condições de habitabilidade e por outro lado, permitir a melhor eficiência energética possível.

2.5. Conforto acústico

O conforto acústico é a sensação de conforto em relação ao ambiente acústico da habitação. Tal como o conforto térmico, apresenta variabilidade interpessoal, pois os ocupantes possuem diferentes sensibilidades e reagem de maneira diferente.

Este parâmetro é analisado através do som, que constitui um fator importante no quotidiano habitacional. O som pode tornar-se desagradável e indesejável, isto é, passa a chamar ruído. No entanto, como já referido, é uma sensação subjetiva, pois por exemplo, há música que para uns é agradável e que para outros passa a ser ruído [28].

Os ocupantes lidam diariamente com o ruído, tanto nas suas habitações como nos locais de trabalho, estes locais apresentam ruídos de fundo de cerca de 25 a 45dB(A)². Por exemplo, numa cozinha podem ser atingidos os 60 a 70dB(A). De salientar, que os valores recomendados para repouso variam entre 25 a 30dB(A) [28].

Os ruídos que provocam o desconforto acústico enquadram-se em dois grandes grupos, sons provenientes do exterior e sons interiores (devidos à utilização do edifício). A sua presença causa repercussões em vários níveis do quotidiano do ocupante, nomeadamente: ao nível do foro psicológico, perda de concentração, perturbações no sono, irritação permanente, entre outros e efeitos físicos, como perda auditiva, dores de cabeça, fadiga, etc... [28]. Deste modo, torna-se imperativo a preservação e correção das habitações de forma a proporcionar condições de conforto acústico.

Portugal, é o quarto país da Europa, com maiores percentagens de queixas do ruído dos vizinhos e da rua (23,1%), valores acima da média europeia (17,9%) (Figura 10) [29].

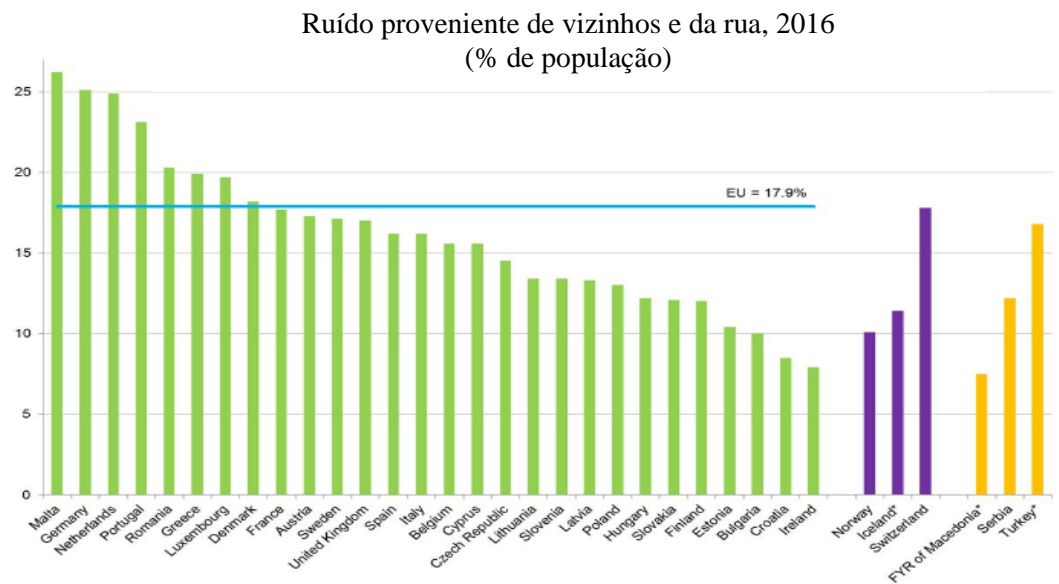


Figura 10 - Percentagem de população com queixas do ruído dos vizinhos e da rua, em 2016 [29]

² DeciBel (dB) é a expressão da unidade de um nível sonoro o deciBel ponderado A (dB(A)) é a expressão da unidade de um nível sonoro que tem em conta diferentes sensações provocadas pelas diferentes frequências.

Nesse sentido, torna-se pertinente a reabilitação de edifícios em termos acústicos, de modo a assegurar um maior conforto acústico dos habitantes. Para tal, prende-se a introdução de isolamento a sons de condução aérea e sons de percussão.

Os sons de condução aérea propagam-se devido à vibração do ar contido no espaço por impulso de uma dada fonte, por exemplo circulação rodoviária proveniente do exterior e uma televisão proveniente do interior. Já os sons de percussão ocorrem devido à vibração de elementos sólidos por ação direta de uma fonte, por exemplo a queda de um objeto no pavimento (Figura 11) [28].

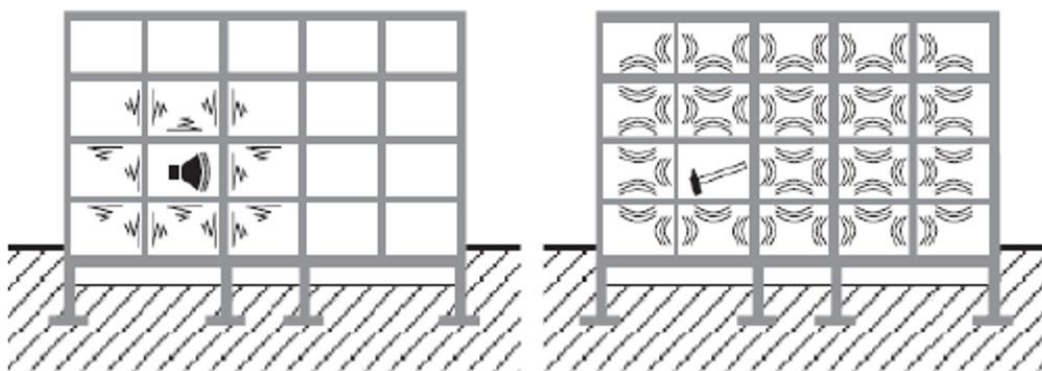


Figura 11 - Sons de condução aérea (esquerda); Sons de percussão (direita) [28]

Para se garantir o conforto a estes sons é necessário intervir nos elementos da envolvente exterior e da envolvente interior, de uma forma criteriosa, visto que o isolamento sonoro depende dos seguintes aspetos [28]:

- frequência da onda sonora,
- ângulo de incidência da onda sonora;
- massa superficial do elemento construtivo;
- porosidade da parede;
- rigidez do elemento construtivo;
- amortecimento interno do elemento construtivo;
- dimensões do elemento construtivo.

Para que o conforto acústico seja garantido, os aspetos supramencionados têm de ser considerados aquando da seleção de materiais. Nesse sentido, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) apresenta requisitos relativos ao isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão. Relativamente, aos elementos da envolvente, este

regulamento impõe requisitos referentes ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea³ ($D_{2m,nT,w}$) entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar de outros fogos (Tabela 3) [30].

Tabela 3 - Requisitos para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior [30]

	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$ (dB)
Zonas sensíveis ⁴	≥ 28
Zonas mistas ⁵	≥ 33

O regulamento impõe também requisitos para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$) para a envolvente interior, entre outros fogos (zona útil), entre locais de circulação comum (zonas não úteis) e locais destinados a outros fins (Tabela 4) [30].

Tabela 4 - Requisitos para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da envolvente interior [30]

Emissor	Recetor – Quartos ou zonas de estar dos fogos $D_{nT,w}$ (dB)
Compartimentos de outro fogo (quartos ou zonas de estar)	≥ 50
Locais de circulação comum	≥ 48
Caminho de circulação vertical (com ascensor)	≥ 40
Parqueamento automóvel	≥ 50
Locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão	≥ 58

Para além dos sons de condução aérea o regulamento apresenta requisitos para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão aérea⁶ ($L'_{nT,w}$), entre outros fogos, locais de circulação comum e locais destinados a outros fins (Tabela 5) [30].

³ Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea é a capacidade de um elemento construtivo isolar o meio emissor do meio recetor a sons de condução aérea, expresso em dB.

⁴ Zonas sensíveis – área definida no Plano municipal de ordenamento do território para uso habitacional, escolas, hospitais, espaços de lar, existentes ou previstos, podendo ser rodeados por pequenas unidades de comércio e de serviços destinados a servir a população local, encerrando na parte noturna (RGR).

⁵ Zona mista – área definida no Plano municipal de ordenamento de território, onde a ocupação seja para outros usos, para além dos referidos na definição de zonas sensíveis (RGR).

⁶ Índice de isolamento sonoro a sons de percussão é a capacidade de um elemento construtivo isolar o meio emissor do meio recetor a sons de percussão, expresso em dB.

Tabela 5 - Requisitos do índice de isolamento sonoro a sons de percussão [30]

Emissor	Recetor – Quartos ou zonas de estar dos fogos $L'_{nT,w}$ (dB)
Pavimentos de um fogo	≤ 60
Locais de circulação comum	≤ 60
Locais destinados a comércio, indústria, serviço ou diversão	≤ 50

O estudo do comportamento acústico depende de vários fatores que vão desde da constituição das paredes (simples ou dupla, tipos de materiais ...), à rigidez do elemento, à existência de pontos fracos em termos acústicos até aos constituintes do espaço (pessoas, móveis, outros elementos construtivos), implicando assim uma análise bastante detalhada.

No que toca à verificação do comportamento acústico do edifício, os métodos de previsão são cada vez mais indispensáveis para as tomadas de decisões. Esses métodos podem consistir em medições “in-situ”, modelos simplificados de previsão e programas de simulação de cálculo automático.

As medições “in-situ” são efetuadas através de equipamentos que permitem a avaliação do isolamento sonoro dos edifícios, de acordo com as metodologias apresentadas nas seguintes normas [27] [31]:

- NP EN ISO 140-4. Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição, in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimento;
- NP EN ISO 140-5. Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, in situ do isolamento sonoro a sons de aéreos de fachada e de elementos de fachada;
- NP EN ISO 717-1. Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea;
- NP EN ISO 140-7. Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, in situ do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão;
- NP EN ISO 717-2. Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro de percussão.

De uma forma mais simplificada ou de uma forma mais exaustiva, os modelos simplificados permitem fazer uma previsão do comportamento acústico dos edifícios. Destacam-se os seguintes [32]:

- Método da norma EN 12354 – “Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements” que se encontra dividido em seis partes e tem como objetivo especificar métodos de cálculo no âmbito da acústica dos edifícios;
- Método de análise modal: consiste no estudo de problemas relacionados com a vibração do sistema estrutural;
- Método dos elementos infinitos: aplica-se ao estudo da propagação de vibrações através de uma malha, não se limitando a elementos simples e permite a análise a sons de condução aérea e percussão;
- Método da análise estatística (SEA): método que se proceda em vários sítios do edifício, provocando ações mecânicas de choque ou uma excitação de uma divisão através de sons de condução aérea. Não necessitam de grande especificação dos materiais aplicados e suas dimensões;
- Método analítico “Lei da massa”: Método simplificado mais usado;
 - Modelo gráfico: baseia-se na lei da massa teórica, e estabelece diferença entre elementos simples e duplos e considerando a massa superficial do elemento;
 - Modelo misto: baseia-se na lei da massa teórica e na lei da massa experimental, que tem em conta a massa do elemento, o tipo de elemento (simples, duplo, triplo), modos de vibração por flexão transversal, efeito de coincidência e efeito de ressonância do conjunto.
 - Método elasto-dinâmico: consiste num método de cálculo bastante simplificado que é baseado na Lei da Massa, aplicando apenas a elementos simples e não tem em conta fenómenos de ressonância e coincidência.
 - Método elasto-dinâmico: consiste num método de cálculo bastante simplificado que é baseado na Lei da Massa, aplicando apenas a elementos simples e não tem em conta fenómenos de ressonância e coincidência.

Dada à importância do conforto acústico, os programas informáticos foram evoluindo, permitindo obter uma análise cada vez mais exaustiva. Esta evolução, tem permitido a

introdução do edifício e das suas características, de modo a obter uma análise mais concreta, como por exemplo o programa Acoubat Sound, CAED 1.02, entre outros.

Conclui-se assim que, a reabilitação acústica implica um estudo pormenorizado dos materiais e de toda a envolvente, para que haja um conforto acústico aceitável. Atualmente, existem diversos métodos que permitem determinar o conforto acústico dos edifícios.

2.6. Utilização da cortiça como isolante térmico e acústico

A seleção dos materiais a utilizar na reabilitação é um fator de extrema importância, visto que são os materiais os responsáveis pelo isolamento do edifício. A escolha deve ser efetuada de uma forma criteriosa, de modo a garantir o conforto térmico e acústico.

A cortiça satisfaz estas exigências e oferece múltiplas vantagens em termos de impacto ambiental (ser natural e reciclável) e versatilidade. Este material tem sido utilizado desde há milhares de anos, tendo servido para a construção de objetos do quotidiano, criação de utensílios náuticos pelos egípcios, e construção de equipamentos militares na II Guerra Mundial [33]. A partir do século XX, observou-se um grande desenvolvimento na utilização da cortiça em novos produtos e aplicações, nomeadamente aglomerados à base de cortiça na indústria da construção [33].

Atualmente, o setor da cortiça apresenta um papel fundamental em diversos sectores da sociedade civil, sobretudo ao nível ambiental, económico e social. Pelo que, um número elevado de pessoas depende, direta ou indiretamente, deste setor. A nível ambiental, as florestas de sobreiros (árvore da qual é extraída a cortiça) representam cerca de 2.2 milhões de hectares na bacia do mediterrâneo ocidental [33]. De referir, que para além da dimensão do montado⁷, cada sobreiro tem a capacidade de ser descortiçado 17 vezes ao longo da sua vida, impedindo assim o seu abate [33].

A cortiça “é constituída por uma colmeia de células microscópicas que têm um gás idêntico ao ar e revestidas sobretudo por suberina e lenhina” [6]. A suberina é uma mistura de ácidos orgânicos e que constituem as paredes das células da cortiça, fornecendo-lhe a capacidade de

⁷ Montado é a área de povoamento mais aberta (típica paisagem alentejana) que faz lembrar a savana e cuja espécie dominante é o sobreiro.

impermeabilidade aos gases e a água. Por sua vez, a lenhina é o componente de ligação. A cortiça contém ainda: 12% de polissacáridos, componente das células que permite definir a textura; 6% de taninos, polifenol responsável pela cor, 5 % de ceroides, hidrófilo que garante a impenetrabilidade; e 4% de água mineral e glicerina [6].

Portanto, este material natural apresenta as seguintes características [6]:

- impermeável a líquidos e a gases, fornece resistência à humidade e a possibilita de envelhecer sem se deteriorar;
- elástico e compressível, pois as suas células são constituídas por uma mistura gasosa semelhante ao ar e estanques, ou seja, quando é comprimido volta à forma inicial e se for comprimido num dos lados o outro não sofre alterações;
- bom isolante térmico e acústico;
- resistente ao desgaste;
- material leve, cerca de 60% do seu volume são elementos gasosos;
- combustão lenta;
- hipoalergénico, não permite a absorção do pó.

O conjunto destas características, tornam a cortiça um material muito versátil, uma vez que permite a sua adaptação aos diversos processos de transformação e às diversas aplicações, desde o vestuário até à construção [6].

Na construção a cortiça pode ser utilizada de diversas formas, nomeadamente [6]:

- como isolamento térmico e acústico, no preenchimento das caixas-de-ar;
- nas juntas de dilatação;
- revestimento de paredes e pisos;
- coberturas de tubagens de aquecimento e ar condicionado;
- isolamento anti vibratório.

Para ser utilizada para estes fins, a cortiça virgem (cortiça natural retirada pelo descortiçamento) é sujeita a transformações, originando os aglomerados compostos e os aglomerados expandidos (Figura 12). Os aglomerados compostos são utilizados para os revestimentos, decoração e juntas de dilatação. Os expandidos têm como finalidade o isolamento e surgem pelo processo

de aglutinação de granulados de cortiça virgem, maioritariamente falca⁸ (que não é utilizada noutras indústrias) [6].



Figura 12 - Placas de aglomerado de cortiça [32]

Para garantir todas as qualidades térmicas, o material escolhido deve apresentar: baixo coeficiente de condutibilidade térmica, não absorver a humidade, uma adequada resistência térmica, boa trabalhabilidade, resistência ao fogo, ausência de cheiro, não permitir ser atacado por roedores e durabilidade. O aglomerado expandido confere todas estas características (Tabela 6), permite deste modo a redução das perdas de energia, fornece proteção contra as amplitudes térmicas e reduz as condensações superficiais da humidade nas paredes e tetos [6].

Tabela 6 - Características médias do aglomerado expandido de cortiça, em termos térmicos (Adaptado: [6])

Características térmicas	
Massa volúmica	100 - 140 kg/m ³
Calor específico (a 20°C)	1,7 – 1,8 kJ/kg.°C
Coeficiente de expansão térmica (20°C)	25 – 50 x 10 ⁻⁶
Pressão máxima em condições elásticas	50 kPa
Coeficiente de poisson	0-0,02
Permeabilidade ao vapor de água	0,002-0,006 g/m.h.mmHg

Em termos acústicos, o material deve possuir um coeficiente de absorção adequado, durabilidade, aparência, resistência ao fogo, peso e método de aplicação. O aglomerado de cortiça cumpre quase a globalidade de todos os requisitos, permitindo a correção acústica por

⁸ Falca – provenientes das operações da poda dos ramos do sobreiro. É considerada cortiça virgem crua que não foi submetida a nenhum tratamento depois da extração.

absorção e em determinados ambientes, possibilita a redução do tempo de reverberação⁹ (Tabela 7) [6].

Tabela 7 - Características médias do aglomerado expandido de cortiça, em termos acústicos (Adaptado: [6])

Características acústicas	
Massa volúmica	$\leq 100 \text{ kg/m}^3$
Coeficiente de absorção acústica (500-1500 c/s)	0,33-0,8
Coeficiente de condutibilidade térmica ($\theta_m=23^\circ\text{C}$)	0,037-0,042 W/m. $^\circ\text{C}$
Permeabilidade ao vapor de água	0,004-0,010 g/m.h.mmHg

Resumidamente, o aglomerado de cortiça detém as seguintes características [34]:

- matéria-prima natural e renovável;
- processo industrial sem utilização de aditivos;
- bom coeficiente de condutibilidade térmica;
- bom isolamento acústico;
- boas propriedades mecânicas;
- boa estabilidade dimensional;
- bom comportamento ao fogo, em caso de combustão não há libertação de gases tóxicos;
- excelente durabilidade;
- totalmente reciclável e reutilizável.

Para além disto, comparativamente a outros isolamentos, a utilização da cortiça exhibe valores satisfatórios relativamente aos níveis de energia incorporada associados, às emissões de CO₂ e quantidade de água utilizada para a sua produção [34].

⁹ Tempo de reverberação é o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado reduza significativamente relativamente ao valor inicial.

Tabela 8 - Características de isolamentos (Adaptado: [34])

Isolamento	PEC – MJ/Kg	EC kg CO₂/kg	Água l/kg	Durabilidade	Reutilização	Reciclagem
Cortiça	4	0,19	24	Alta	Sim	Sim
Lã de vidro	28	1,35	1360	Média	-	Sim
Lã de rocha	16,8	1,05	1360	Média	-	Sim
Poliestireno expandido	88,6	2,5	-	Média/Baixa	-	Sim
Espuma de poliuretano	95	3	18900	Média/Baixa	-	-
Poliestireno extrudido	88,6	2,5	-	Média/Baixa	-	Sim

Em 1996 efetuou-se um estudo da condutibilidade térmica em aglomerado de cortiça em demolições de edifícios com 50 anos (câmara frigorífica) e com 30 anos (edifícios e laboratórios) de existência e observaram-se valores idênticos aos dos aglomerados novos e o aspeto também se manteve idêntico [6].

Todas as características técnicas, ambientais e potencialidades criativas, tornam a cortiça um material de mais valia no setor da construção. Pelo que, atualmente, tem sido utilizada na construção de inúmeros edifícios em diversos países, tais como (Figura 13) [35]:

- confessionário em Turim – espaço de confissão e oração, contem cortiça na cobertura, no interior e no exterior;
- pavilhão do Brasil, Expo Milão 2015 - constituído por aglomerado de cortiça expandida nas fachadas, cerca de 1000 metros de cortiça;
- pavilhão de Portugal na Expo 2010 em Xangai, China – todas as fachadas foram revestidas a aglomerado de cortiça;
- observatório do Sobreiro e da cortiça, Coruche, Portugal – as fachadas e paredes interiores encontram-se revestidas por aglomerado negro de cortiça;
- EcorkHotel, Évora, Portugal – hotel de 4 estrelas, totalmente revestido a cortiça, elemento predominante no edifício e que contribui para a certificação de eco-hotel.



Figura 13 – Exemplos de edifícios com cortiça [35]

2.5.1. Normalização relativa à cortiça na construção

A cortiça, como material de construção, encontra-se abrangida em normas que asseguram a sua qualidade.

Em termos europeus, o Comité Europeu de Normalização (CEN) desenvolveu normas relativas aos produtos de revestimento e de isolamento térmico, nomeadamente [36]:

- CEN/TC 88 – Materiais e produtos de isolamento térmico;
- CEN/TC 99 – Revestimentos de paredes;
- CEN/TC 134 – Revestimentos para pavimentos resilientes, têxteis e laminados.

A primeira norma supramencionada, aborda: as propriedades requeridas aos materiais de isolamento para as diversas aplicações, os métodos para a determinação das propriedades, os procedimentos, critérios de conformidade, especificações de marcação e rotulagem. A norma CEN/TC 99 refere diversas formas de aplicação dos revestimentos de cortiça. Por sua vez, o CEN/TC 134 menciona definições, requisitos, métodos de ensaio e fornece documentos de orientação e relatórios [37].

A nível nacional encontra-se em vigor o Regulamento (UE) 305/2011 (Regulamento de Produtos de Construção), que implementa as condições ou disponibilização no mercado dos produtos de construção, apresenta regras harmonizadas de forma a garantir as características da

obra e regras sobre a utilização da marcação CE. Neste encontra-se três normas harmonizadas relativas à cortiça [36]:

- EN 13170 – Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios – Produtos manufacturados de cortiça expandida (ICB) – especificação.
- EN14041 – Revestimentos de pisos têxteis, resilientes e laminados – características essenciais.
- EN 15102 – Revestimentos de parede decorativas – produto em rolo e em painel.

O cumprimento das normas anteriormente mencionadas proporciona [36]:

- elimina a variedade desnecessária de produtos;
- reduz os custos operacionais;
- organiza os processos produtivos;
- promove a segurança;
- protege a saúde e o meio ambiente,
- aumenta a produtividade;
- mantém a qualidade;
- elimina barreiras comerciais,

Por outro lado, torna o comércio mais justo e sustentável [36].

2.6.1. A cortiça em Portugal

Portugal é líder mundial de exportações de cortiça, uma vez que possui 61,3% das exportações mundiais da cortiça e exporta para mais de 100 países. Sobreponível a este impacto económico, insurge-se o impacto ambiental, uma vez que Portugal é o país com maior área de montado de sobro, com 84% dos montados no Alentejo (Figura 14) [38].

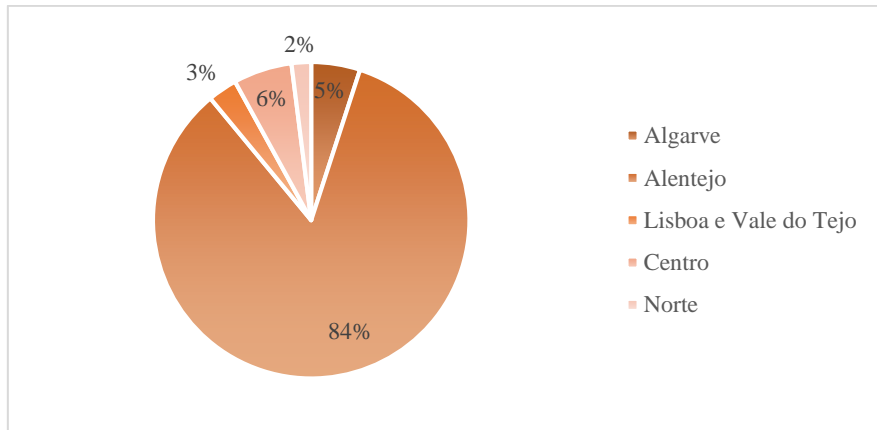


Figura 14 - Área de montado em Portugal por região em % (Adaptado: [38])

Portugal, concentra cerca de 736 mil hectares de montados (34%) da Europa, e é precedido sucessivamente por: Espanha (27%), Marrocos (18%), Argélia (11%), Tunísia (4%) e França e Itália (ambos com 3%). No seu conjunto, perfazem um total de 2 139 942 hectares (Figura 15) [38].

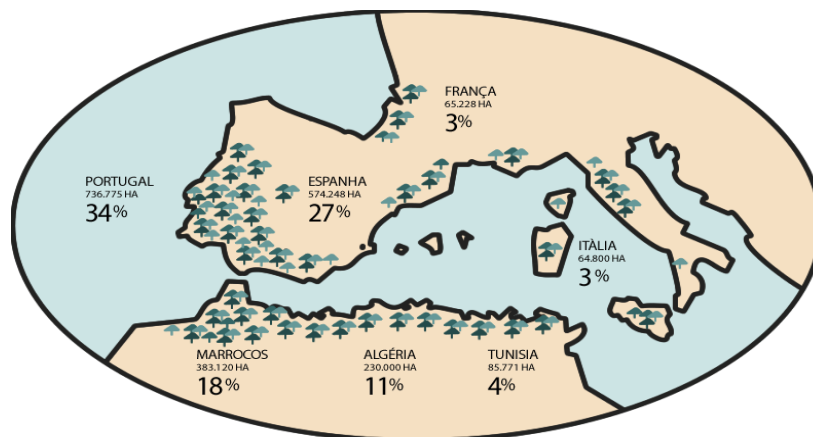


Figura 15 - Mapa de localização do montado [35]

A maior parte das exportações portuguesas têm como destino a Europa, com cerca de 70%, tendo como principais importadores a França (18,1%) e a Espanha (11,2%). Fora da Europa, o maior importador de cortiça portuguesa, são os EUA, correspondendo a cerca de 19,8% das exportações, como mostra a Figura 16 [39].

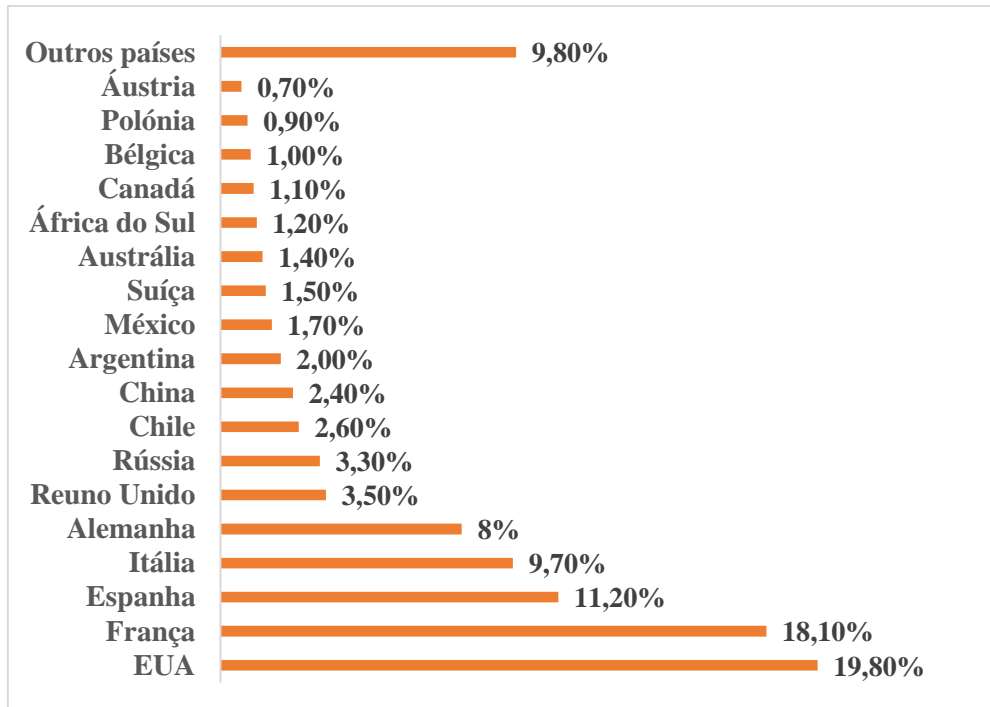


Figura 16 - Exportações portuguesas por país de destino em 2015 (Adaptado: [39])

O principal produto exportado é a rolha, e logo a seguir os materiais de construção, que encaixaram um total de 228 milhões de euros, em 2015. Este valor, reflete o ligeiro aumento das exportações, relativamente aos anos anteriores (Figura 17) [38].

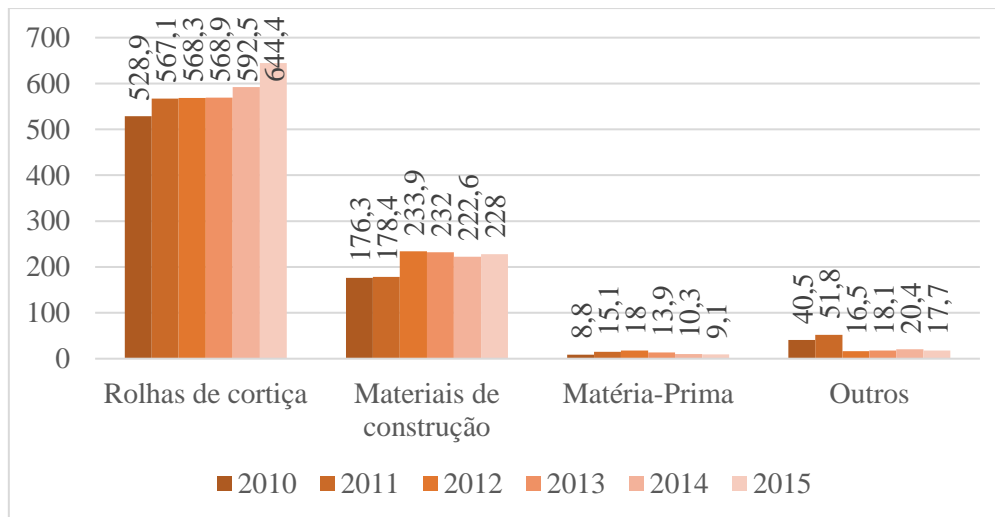


Figura 17 - Principais produtos exportados (milhões de euros) (Adaptado: [38])

Por conseguinte, quando se fala em cortiça, inevitavelmente fala-se em Portugal, pois o país é líder em termos de montado e exportação.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. Introdução

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da presente dissertação. Primeiramente, é efetuada uma breve explicação da metodologia geral utilizada e posteriormente, é apresentado o caso de estudo escolhido e o porquê da escolha deste edifício. Por último, é apresentado o procedimento utilizado nos programas de simulação utilizados (*DesignBuilder* e *Acoubat*) e as medidas de reabilitação escolhidas.

3.2. Metodologia Geral

Para o desenvolvimento do estudo, foi selecionado o edifício para o estudo, tendo em conta as suas características de desempenho térmico e acústico. Após a seleção foi efetuado um inquérito aos habitantes do edifício, para perceber que tipo de anomalias existem e as reparações previamente efetuadas, inquérito este que se encontra apresentado no Anexo I – Inquéritos e análise.

Após a avaliação do edifício e dos os inquéritos foi possível efetuar a análise do desempenho térmico com a utilização do programa de simulação dinâmico *DesignBuilder*, que fornece as necessidades energéticas do edifício. Em termos de desempenho acústico efetuou-se uma análise com o auxílio do programa *Acoubat*, para estudar o índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão dos elementos construtivos.

Com o desempenho térmico e acústico inicial efetuada, procedeu-se o estudo do edifício com as propostas de reabilitação utilizando os mesmos programas, estas propostas tiveram em vista a reabilitação da envolvente interior e exterior do edifício. Analisando três materiais diferentes, a cortiça, poliestireno expandido (EPS) e a lã de rocha.

Por último procede-se a uma análise económica, efetuando uma análise do investimento inicial de cada proposta e o custo de energia.

3.3. Caso de estudo

O edifício escolhido situa-se em Braga, e é um edifício de habitação multifamiliar construído em 1989.

De acordo com o PDM de Braga o edifício situa-se na subcategoria ER4 (com índice de ocupação máxima de $0,75 \text{ m}^2/\text{m}^2$), onde o uso dominante é a habitação, rodeado de estruturas verdes complementares¹⁰. Relativamente ao zoneamento de sensibilidade do ruído encontra-se numa zona mista.

O edifício selecionado apresenta várias anomalias que afetam a qualidade térmica e acústica do edifício, apresentando condensações devido a humidade, falta de isolamento nos envidraçados e falta de isolamento acústico entre habitações e entre as habitações e o exterior. Estes dados que se pode concluir a partir dos inquéritos efetuados.

O edifício possui três fachadas, encontrando-se a fachada que contém a entrada principal orientada a Sudeste, a paralela à anterior encontra-se orientada para Noroeste e a última, que contém a entrada da garagem encontra-se orientada para Nordeste. Este é constituído por rés-do-chão e três andares, possuindo oito habitações, sete do tipo T3 e uma do tipo T2. Sendo compostos por vestíbulo, sala de estar, cozinha, despensa, casa de banho (com e sem chuveiro), corredor e quartos (Tabela 9).

Para além das oito habitações, com uma área útil de $91,5 \text{ m}^2$, T3 e uma área útil de 79 m^2 , T2, existem zonas comuns, como a garagem e o corredor de escadas.

Assim o edifício divide-se em duas zonas, zona útil que é a zona climatizada e a zona não útil que não é climatizada, neste caso classifica-se como zona não útil a caixa de escadas e a garagem, que são os espaços comuns do edifício, e como zona útil cada habitação.

O edifício encontra-se geminado com outro edifício com as mesmas características que o estudado, determinado assim o número de fachadas das habitações do lado direito, ou seja,

¹⁰ Estruturas verdes complementares – Jardins e espaços verdes de enquadramento de edifícios.

apenas apresentam duas fachadas ao contrário das habitações do lado esquerdo que apresentam três fachadas.

Tabela 9 - Espaços e áreas do edifício em estudo

Espaço	Frações T2	Frações T3
Vestíbulo	6,7 m ²	6,7 m ²
Sala de estar	23,9 m ²	23,9 m ²
Cozinha	10,9 m ²	10,9 m ²
Despensa	0,9 m ²	0,9 m ²
Casa de banho com chuveiro	4,8 m ²	4,8 m ²
Casa de banho	2,0 m ²	2,0 m ²
Corredor	4,6 m ²	4,6 m ²
Quarto	12,9 m ²	12,9 m ²
Quarto	12,6 m ²	12,6 m ²
Quarto	-	11,6 m ²
Área total	79,9 m ²	91,5 m ²

Na Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21 são apresentadas as plantas do edifício, planta da garagem, dos andares e cobertura.

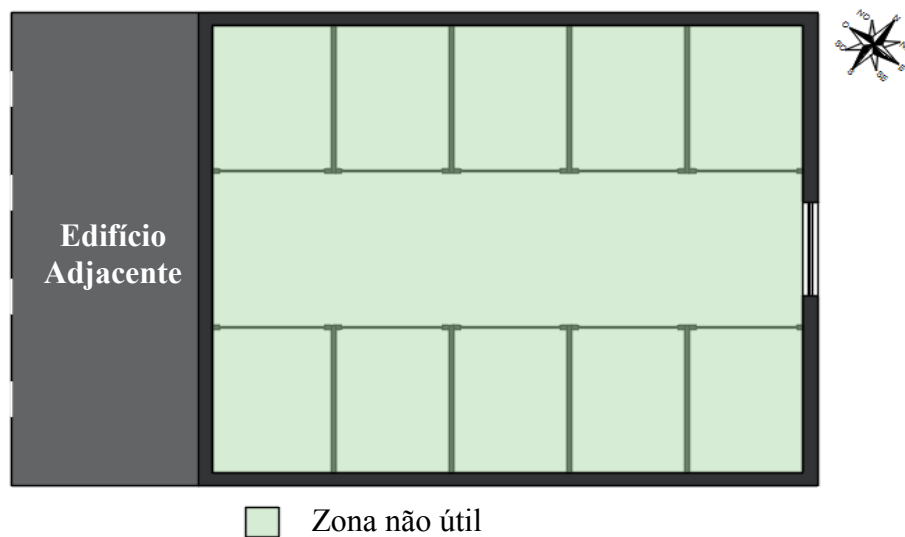


Figura 18 - Planta e divisão das zonas da garagem

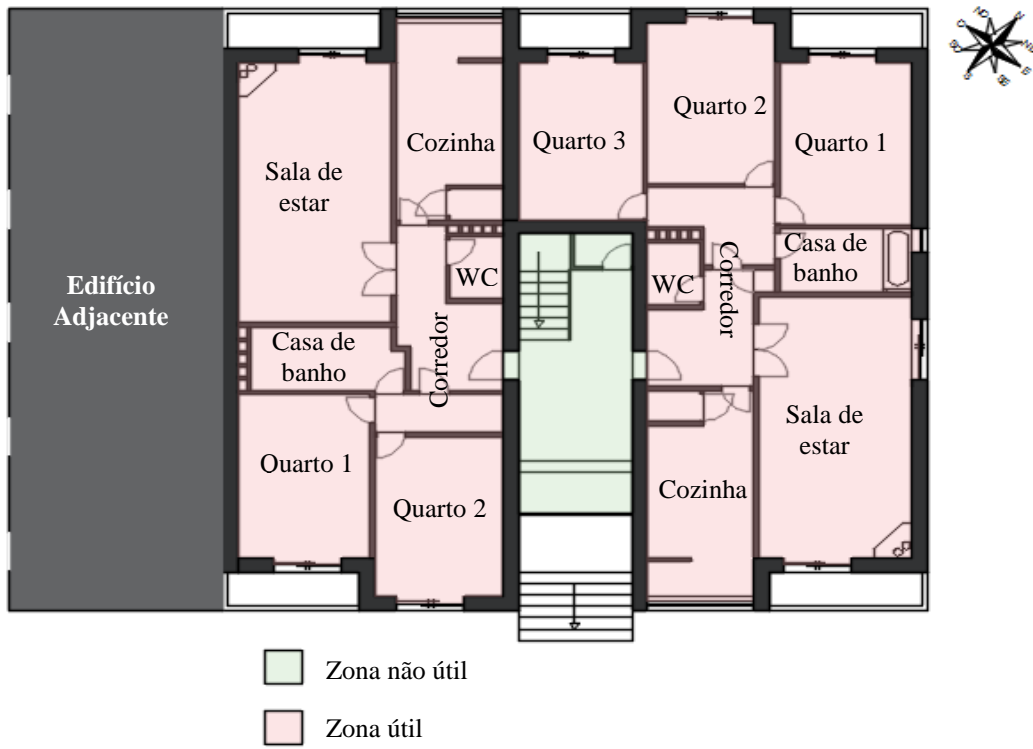


Figura 19 - Planta e divisão das zonas do rés-do-chão

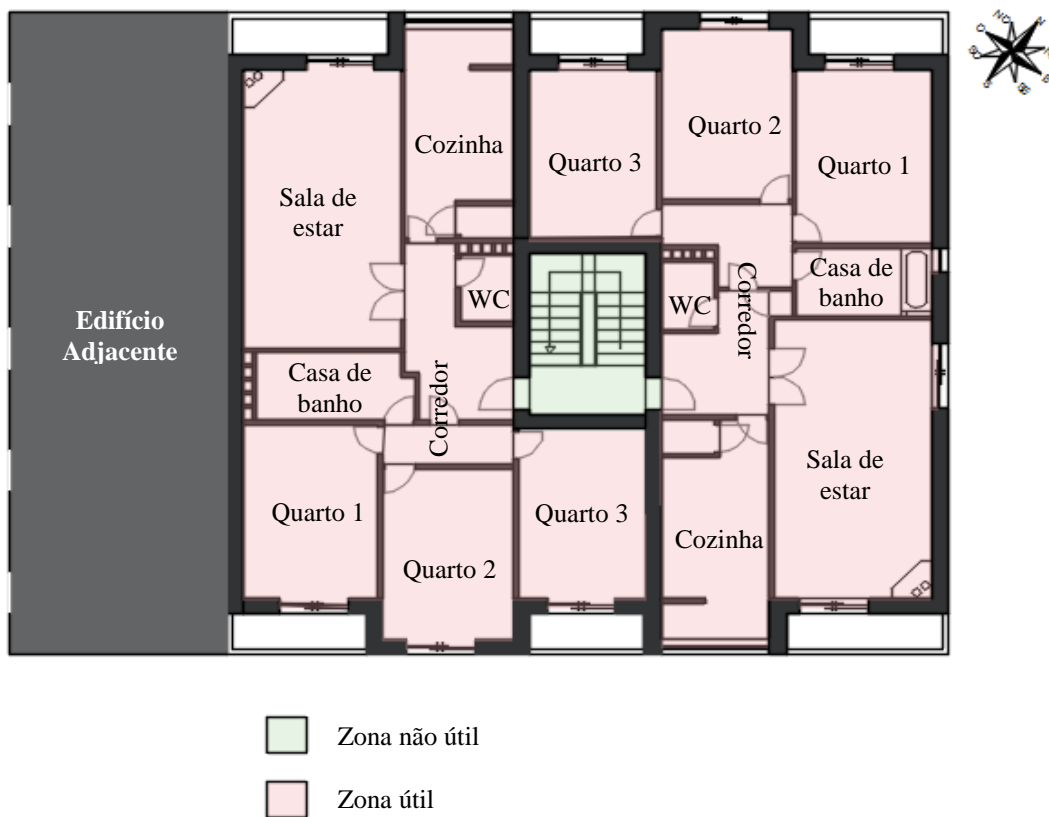


Figura 20 - Planta e divisão das zonas dos restantes andares

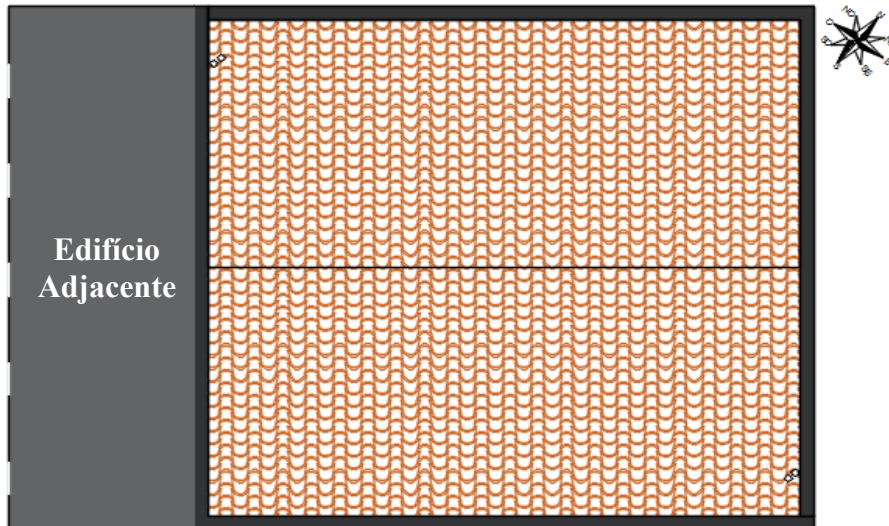


Figura 21 - Planta da cobertura

As soluções construtivas da envolvente do edifício são apresentadas de seguida.

Parede exterior

A parede exterior é uma parede dupla de alvenaria com tijolo furado 11+11 cm com 3cm de poliestireno expandido (XPS), e rebocada em ambas as faces (Figura 22).

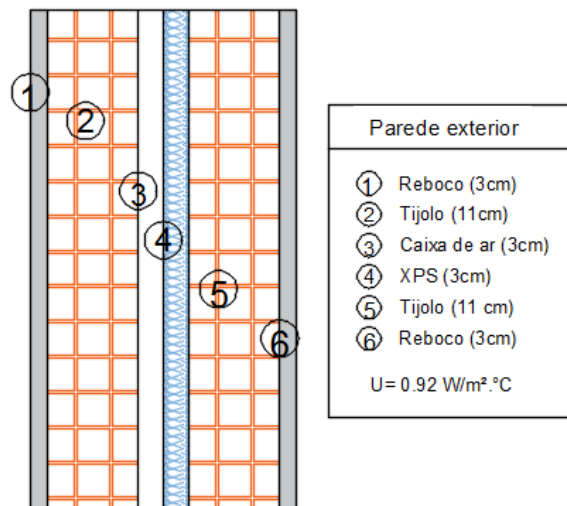


Figura 22 - Pormenor e características da parede exterior

Parede entre frações e zonas não úteis

A parede entre frações e zonas não úteis é uma parede dupla de alvenaria com tijolo furado 11+11 cm com 3cm de poliestireno expandido (XPS), e rebocada em ambas as faces (Figura 23).

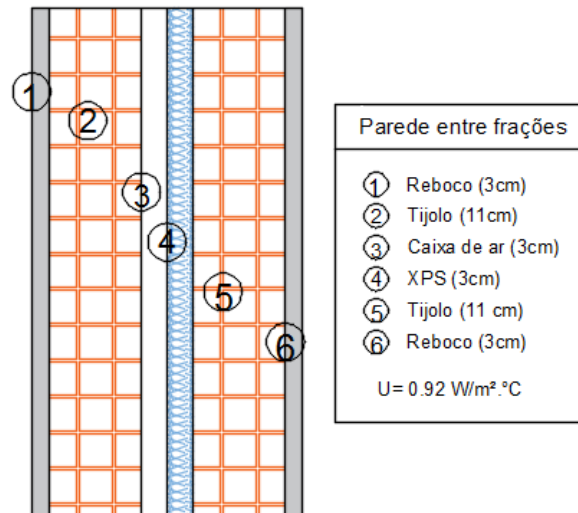


Figura 23 - Pormenor e características da parede entre frações e zonas não úteis

Pavimento

O pavimento é constituído por um revestimento de ladrilho, 4cm de betonilha, 3cm de XPS, laje aligeirada em blocos cerâmicos e revestimento de teto com 2cm em reboco (Figura 24).

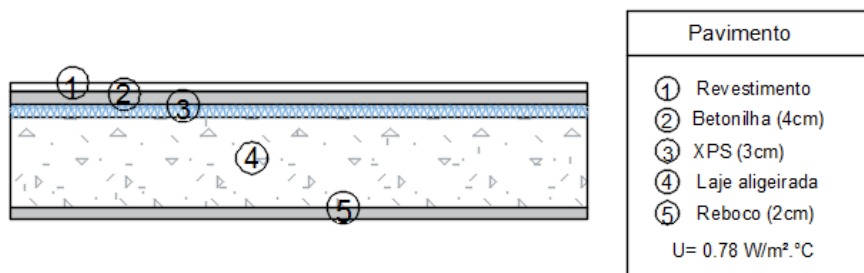


Figura 24 - Pormenor e características do pavimento.

Cobertura

A cobertura é inclinada revestida em telha cerâmica, com 3cm de XPS por baixo da telha, desvão não ventilado, laje aligeirada de blocos cerâmicos e revestimento de teto de 2cm em reboco, sendo possível observar o pormenor na Figura 25.

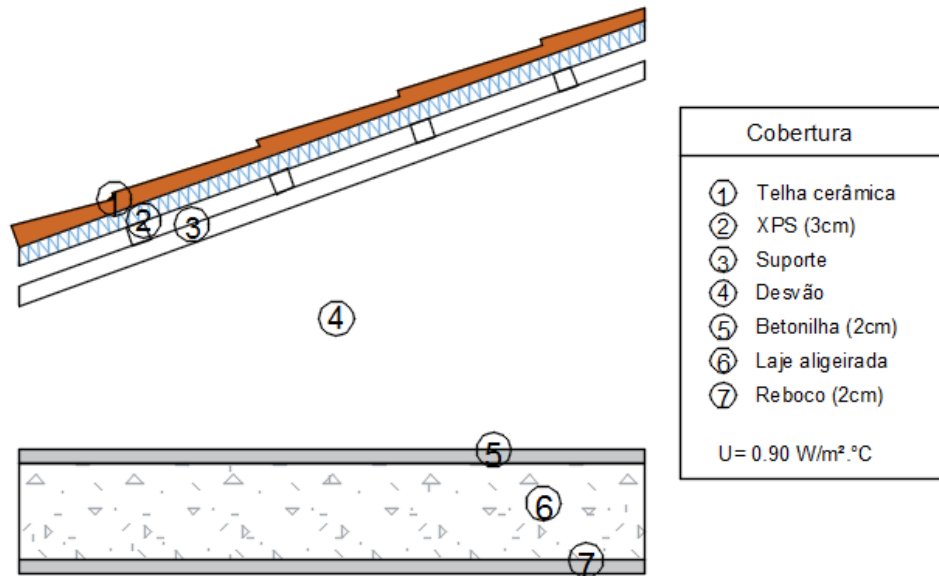


Figura 25 - Pormenor e característica da cobertura.

Envidraçados

Os envidraçados são constituídos por caixilharia metálica, sem corte térmico, de correr, com vidro duplo corrente, com persianas de plástico de cor branca.

Portas

A porta exterior é constituída madeira maciça e as portas interiores por contraplacado de madeira.

3.4. Programas de simulação de desempenho

3.4.1. *Design Builder* - Simulação térmica

O *Design Builder* é um programa de simulação dinâmica que permite modelar um edifício ou uma construção de uma forma fácil. Para a simulação do edifício o programa usa o motor de cálculo, programa de simulação dinâmico *Energy Plus* para obter os dados de desempenho.

Para a modelação do edifício é necessário, em primeiro lugar, a introdução da localização do edifício que se pretende analisar, fator importante devido as características que cada localização impõe ao edifício, clima, orientação e dados geográficos. Para isso o programa dispõe de uma lista de ficheiros climáticos de vários locais de diversos países que podem ser seleccionados. O edifício em estudo situa-se em Braga, porém o programa não disponibiliza do ficheiro climático.

Observando-se a inexistência de dados relativos à localização do edifício foi necessário proceder-se a introdução dos dados relativos à localização e os respetivos dados climáticos. Inserindo-se assim a latitude de 41,55°, longitude de -8,42, altitude de 188 m e o início e o fim do Verão e do Inverno (Figura 26) e a introdução do ficheiro climático respetivo.

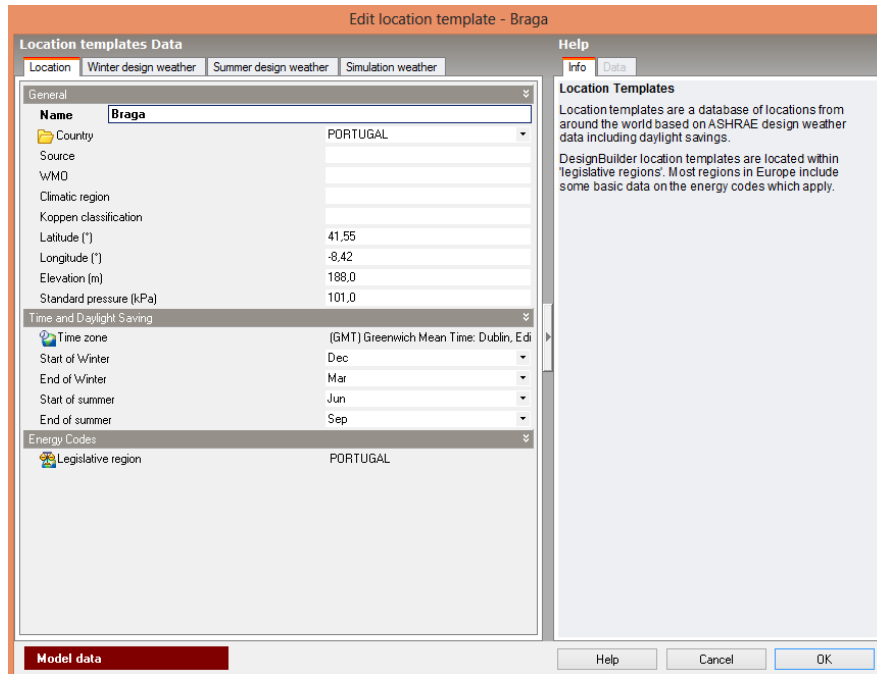


Figura 26- Introdução dos dados relativos à localização do edifício

Com os dados relativos à localização introduzidos, o próximo passo consiste em desenhar o modelo do edifício em estudo, através das ferramentas desenho disponibilizadas pelo programa.

Na Figura 27 está represento o modelo geométrico do edifício. Os elementos que se encontra a cinzento representam os elementos construtivos do edifício, o cinzento escuro representa as paredes, pavimentos e coberturas e cinzento claro representam os elementos envidraçados. Os elementos a roxo correspondem aos elementos complementares que proporcionam sombreamento, os elementos a verde correspondem ao solo e por último os elementos a bordô representam os edifícios adjacentes.

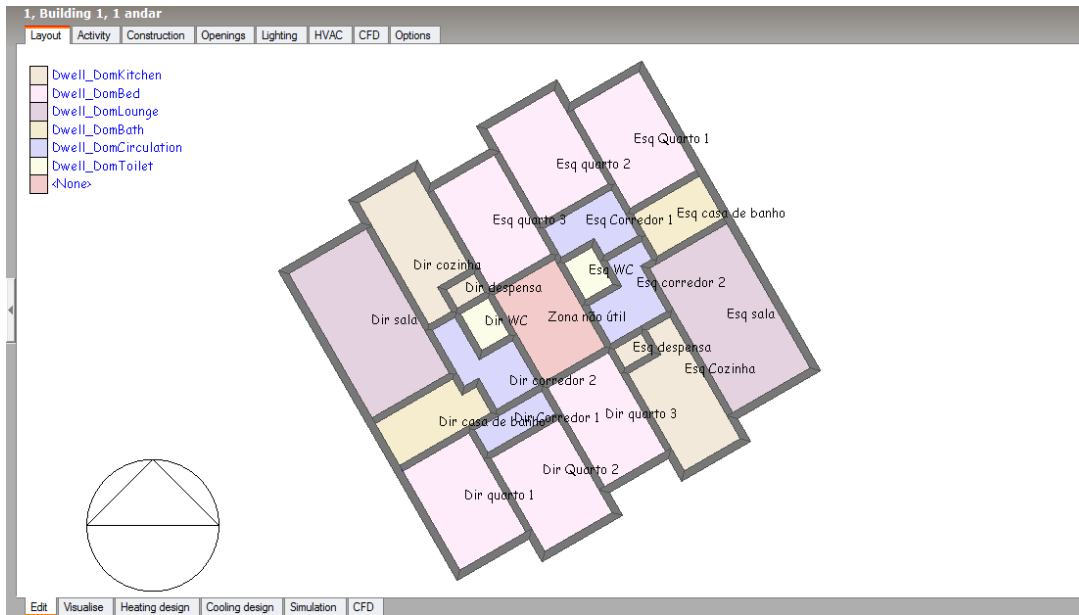


Figura 29 - Divisão das zonas dos restantes andares.

Este processo é de extrema relevância visto que a atribuição das zonas implicará dados relativos a ocupação (pessoas/m²), equipamentos que se encontram no espaço, período de utilização dos espaços, taxa de renovações de ar e iluminação. Dados estes que após definida a atividade são definidos automaticamente pelo programa, contudo estes valores podem ser alterados com o intuito de adequar ao edifício em estudo.

De acordo com o REH o controlo das temperaturas é efetuado da seguinte forma: aquecer o ambiente quando a temperatura descer abaixo de 18°C e arrefecer quando a temperatura ultrapassar os 25°C. Sendo necessário a introdução destes valores no programa.

Com o modelo geométrico criado o passo seguinte é a definição das características do edifício, como os materiais que constituem os elementos construtivos, as aberturas (envidraçados e portas), sistemas iluminação e sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC).

Primeiro atribuem-se os materiais aos elementos construtivos (separador *construction*), conferindo os materiais já existentes no *template* do programa ou introduzindo novos materiais se necessário. No caso em estudo foi necessário a introdução dos diversos elementos construtivos, para isso é necessário a introdução dos materiais que o constituem e as suas respetivas espessuras.

Na Figura 30 é possível observar a introdução da constituição da parede exterior, materiais e espessuras.

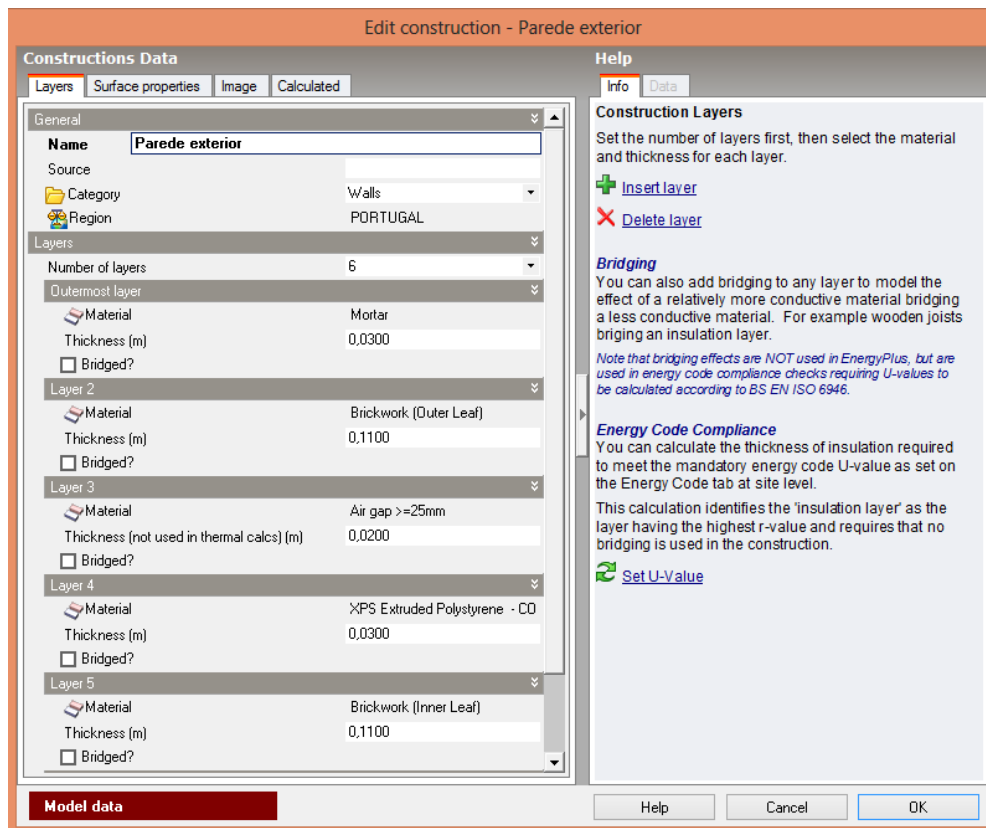


Figura 30 - Exemplo de uma adição de um novo elemento construtivo ao Design Builder

Caso o material que constitui o elemento não exista na base de dados é possível adicioná-lo, inserindo a condutibilidade térmica, coeficiente de transmissão térmica, densidade e resistência térmica.

Passando para a definição dos vãos envidraçados, através do separador *Openings*, é possível definir o tipo de envidraçado, existindo uma base de dados com diversos envidraçados, o tipo de caixilharia e a sua geometria e o tipo do sombreamento existente, caso este não seja fixo é necessário seleccionar o plano de utilização. Assim na Figura 31 é possível observar a definição dos parâmetros anteriores no programa.

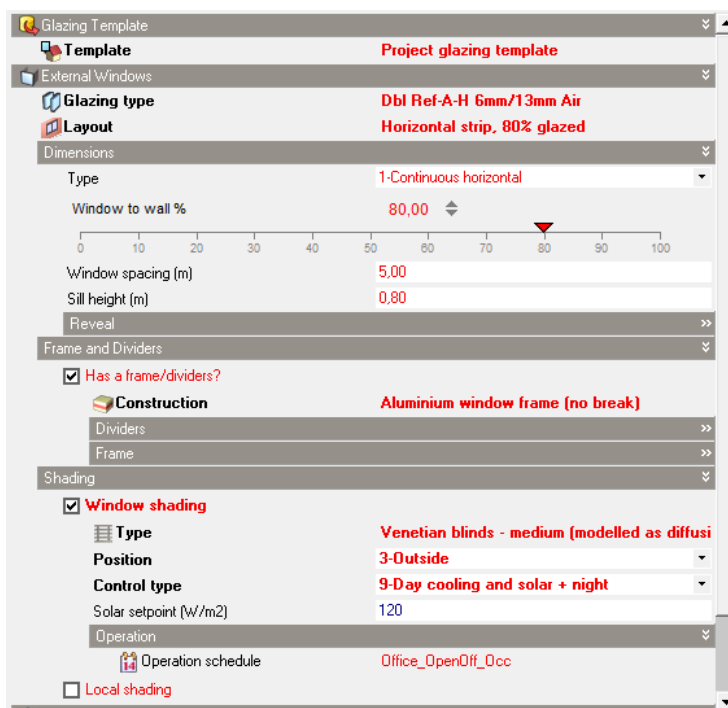


Figura 31 - Introdução de dados relativos às aberturas no Design Builder.

No separador relativo à iluminação (Lighting) o programa dispõe também de uma base de dados que pode ser seleccionada consoante a localização que se destina.

Neste caso foi seleccionada as definições normais para Portugal, existência de iluminação suspensa e que a energia referente à iluminação é de 2 W/m²-100 lux (Figura 32).

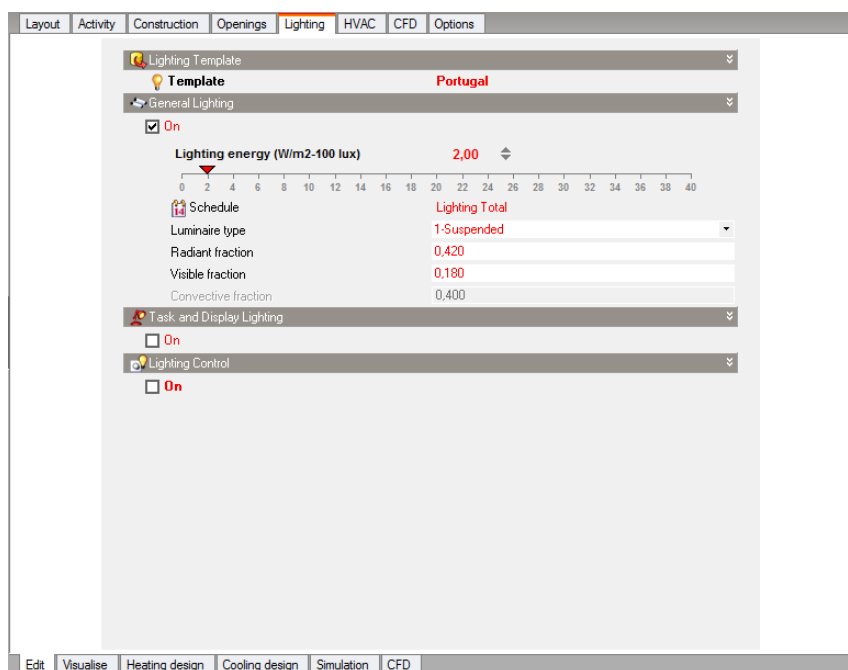


Figura 32 - Introdução dos dados relativos a iluminação no Design Builder

Por último são caracterizados os sistemas AVAC, onde são indicados os parâmetros referentes aos sistemas de aquecimento e de arrefecimento, como é efetuado o aquecimento de águas sanitárias (AQS) e a existência de ventilação natural e mecânica. Tal como os restantes dados o programa também disponibiliza uma base de dados para cada parâmetro.

Relativamente aos sistemas climatização e uma vez que as habitações não possuem sistemas de aquecimento e arrefecimento foram adotados os sistemas de referência definidos no REH [25].

Assim adotou-se um sistema com recurso a eletricidade para o aquecimento e para arrefecimento um sistema de ar condicionado com permuta de ar - ar e com o valor de eficiência mais baixo.

A produção das águas quentes sanitárias processa-se através de um esquentador com recurso a gás natural, com valor igual a 0,82.

A ventilação apenas se efetua por ventilação natural.

Na Figura 33 é possível observar o separador relativo à introdução dos sistemas AVAC, estando representados os tipos de sistemas de climatização e aquecimento de águas sanitárias, como os seus valores.

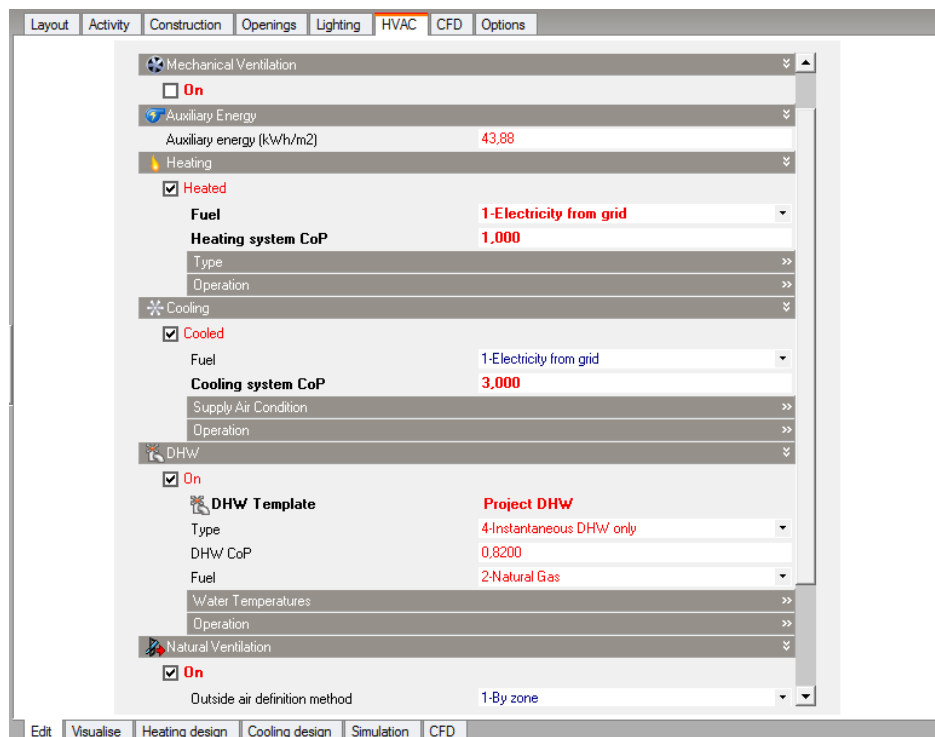


Figura 33 - Introdução dos dados referente ao sistema AVAC, no Design Builder

Para todos estes separadores elaborou-se horário (*Schedule*), onde indica em que alturas cada parâmetro se encontra ativado, ou seja, com valor 0 a atividade em questão se encontra inativa e 1 completamente ativado (Figura 34).

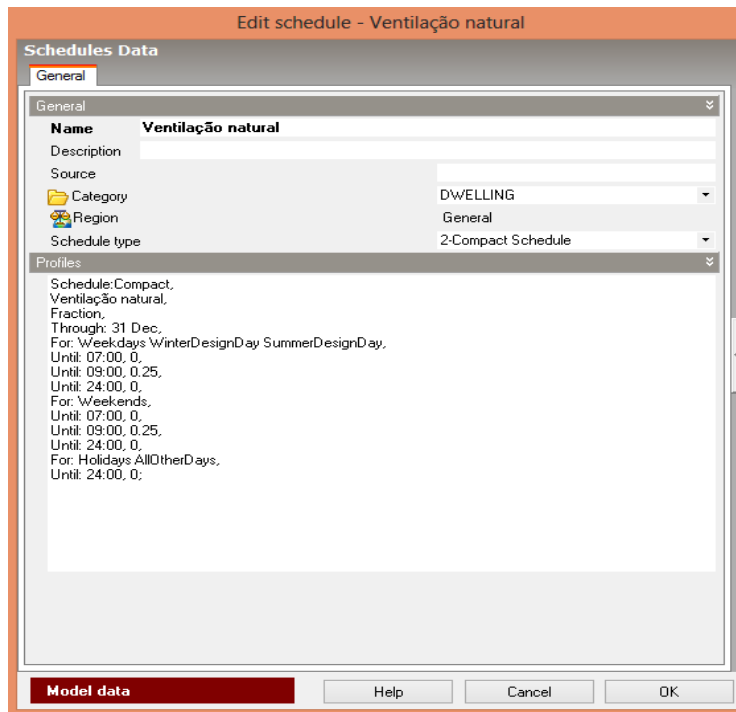


Figura 34 - Exemplo de um horário (*Schedule*) no Design Builder

Para finalizar este processo basta ativar a simulação desejada, neste caso efetuou-se uma simulação para um ano. Obtendo assim os resultados referentes aos consumos energéticos de aquecimento, arrefecimento e ventilação para cada análise. Na Figura 35 encontra-se o exemplo dos resultados obtidos, onde se pode observar todos os dados obtidos e os valores correspondentes para os vários meses do ano.

Room Electricity (kWh/m2)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Room Gas (kWh/m2)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Lighting (kWh/m2)	0,52	0,47	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50
Heat Generation (Electricity) (kWh/m2)	4,83	3,42	2,35	0,86	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,11	4,56
Chiller (Electricity) (kWh/m2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,33	0,22	0,03	0,00	0,00	0,00
DHW (Gas) (kWh/m2)	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
Air Temperature (°C)	15,54	15,98	16,63	17,40	19,11	22,61	24,81	24,60	23,35	20,05	16,73	15,65
Radiant Temperature (°C)	15,33	15,88	16,66	17,56	19,30	22,88	25,22	24,97	23,67	20,39	16,76	15,45
Operative Temperature (°C)	15,43	15,93	16,65	17,48	19,20	22,74	25,02	24,78	23,51	20,22	16,74	15,55
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,00	8,00	10,00	12,00	15,00	18,00	20,00	20,00	18,00	15,00	10,00	8,00
External Infiltration (kWh/m2)	-3,64	-3,19	-3,07	-2,44	-1,90	-1,92	-1,99	-2,04	-2,14	-2,41	-2,87	-3,58
External Vent. (kWh/m2)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,03	-0,05	-0,06	-0,04	-0,00	0,00	0,00
General Lighting (kWh/m2)	0,52	0,47	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50
Miscellaneous (kWh/m2)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Catering Gains (kWh/m2)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Occupancy (kWh/m2)	1,53	1,38	1,52	1,48	1,46	1,24	1,15	1,15	1,20	1,43	1,47	1,55
Solar Gains Exterior Windows (kWh/m2)	0,83	0,61	0,72	0,73	0,72	0,76	0,81	0,83	0,73	0,71	0,58	0,51
Zone Sensible Heating (kWh/m2)	4,83	3,42	2,35	0,86	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,11	4,56
Zone Sensible Cooling (kWh/m2)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,11	-0,74	-0,48	-0,08	0,00	0,00	0,00
Sensible Cooling (kWh/m2)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,11	-0,74	-0,48	-0,08	0,00	0,00	0,00
Total Cooling (kWh/m2)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,17	-0,99	-0,67	-0,10	0,00	0,00	0,00
Zone Heating (kWh/m2)	4,83	3,42	2,35	0,86	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,11	4,56
Aech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,72

Figura 35 - Exemplo de apresentação dos resultados obtidos através do Design Builder.

3.4.2. *Acoubat* – Simulação do desempenho acústico

O programa informático *Acoubat* foi desenvolvido pelo CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), e é utilizado de forma a prever os índices de isolamento sonoro dos casos de estudo. Permite o cálculo do isolamento sonoro a sons de percussão e a sons de condução aérea (transmissão direta, indireta e lateral), baseando os cálculos na norma europeia EN 12354 (parte 1 a 6).

Para o estudo do edifício em avaliação efetuou-se análises de acordo com o definido no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Por isso efetuou-se a análise entre um quarto (zona útil) adjacente as escadas (zona não útil), entre quarto (com maior área de envidraçado em relação à envolvente opaca) e o exterior, entre a cozinha (zona de maior ruído) e o quarto adjacente e entre quarto sobreposto com quarto.

Para se proceder as análises necessárias o primeiro passo consiste em definir as geometrias dos espaços em estudo.

Para iniciar este processo é necessário a criação das geometrias, tendo que se seleccionar os locais que se quer analisar e indicar as dimensões das zonas (Figura 36).

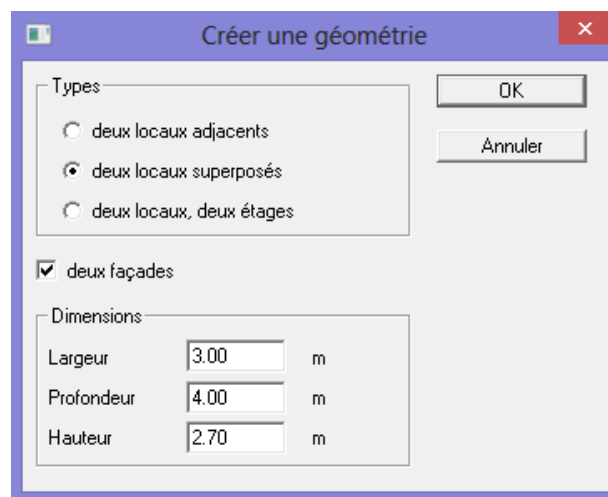


Figura 36 - Escolha da geometria no *Acoubat*.

Definindo assim a geometria desejada é vital modela-la de acordo com o edifício em questão, sendo indicadas as dimensões de cada zona, dimensionar os envidraçados, introduzir as *décalages* (desfasamento entre locais). Com todos estes dados introduzidos é possível obter as geometrias pretendidas.

Na Figura 37 encontra-se a geometria que permite analisar o índice de isolamento a sons aéreos entre cozinha e quarto (fogos diferentes), o índice de isolamento a sons aéreos entre o exterior e o quarto e o índice de isolamento a sons de percussão entre quarto sobreposto com quarto (fogos diferentes). Estas análises efetuaram-se para o último andar (superior), devido a este estar sob a cobertura, e para os restantes andares (inferior).

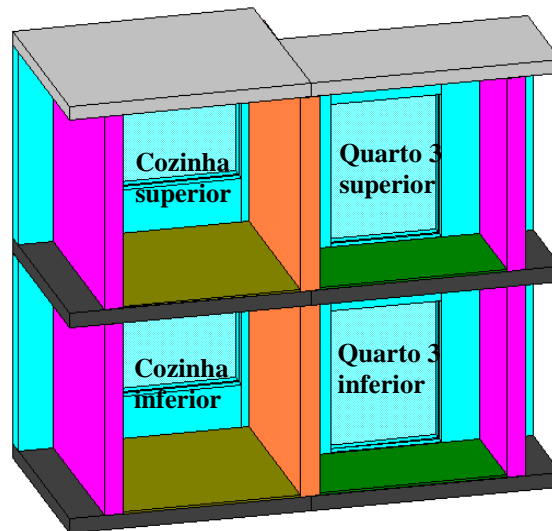


Figura 37 - Geometria para análise entre frações e exterior no Acoubat

Na Figura 38 encontra-se a geometria que permite a análise do índice de isolamento sonoro a sons de condução aéreo entre as escadas e quarto.

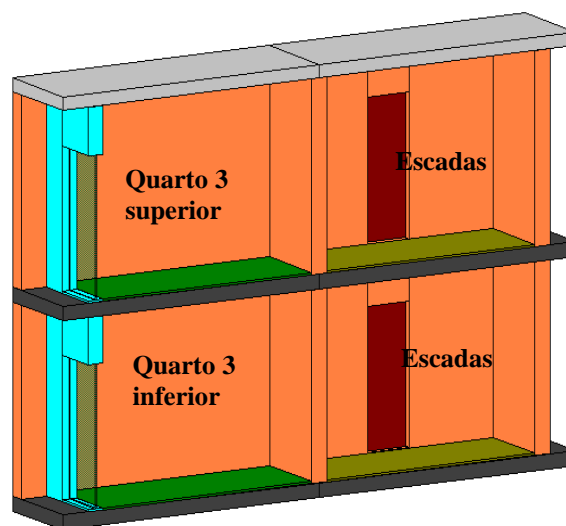


Figura 38 - Geometria para análise entre zona útil e zona não útil no Acoubat

Tal como o Design Builder é necessário associar os materiais aos elementos construtivos e adicionar a base de dados já existentes novos material, caso seja necessário. Deve ser indicada

a espessura, a massa superficial e o índice de redução sonora (R) em banda 1/3 oitava para cada material novo (Figura 39).

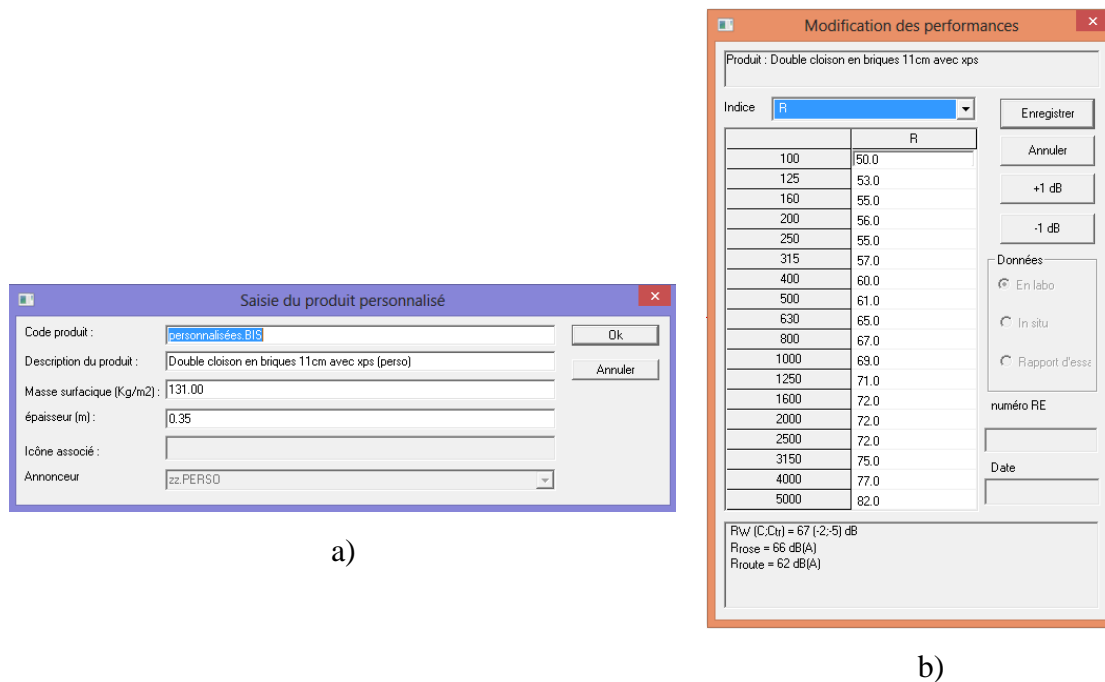


Figura 39 - Exemplo de adição de um novo material. a) Criação do novo material; b) Introdução valores referentes ao índice de redução sonora

Para determinar o índice de redução sonora dos elementos construtivos que não constam na base de dados do programa recorreu-se à Lei da Massa/Método de Meisser, mais concretamente a Lei da Massa experimental. A metodologia referente à Lei da Massa encontra-se explicada no Anexo II - Lei da massa.

Com todos as soluções construtivas adicionados e atribuídos aos elementos construtivos foi possível proceder à análise do índice de isolamento sonoro dos elementos construtivos. A análise consistiu na avaliação de dois parâmetros, o índice de isolamento sonoro a sons aéreos, D_n, e o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, L_n. Assim as análises efetuadas foram:

- Sons de condução aérea:
 - Emissor: Cozinha – Recetor: Quarto 3 (adjacentes)
 - Emissor: Escadas – Recetor: Quarto 3 (adjacentes)
 - Emissor: Exterior – Receto: Quarto 3
- Sons de percussão:
 - Emissor: Quarto 3 (último andar) – Recetor: Quarto 3 (inferior)

Na Figura 40 encontra-se um exemplo de um resultado obtido de uma análise.

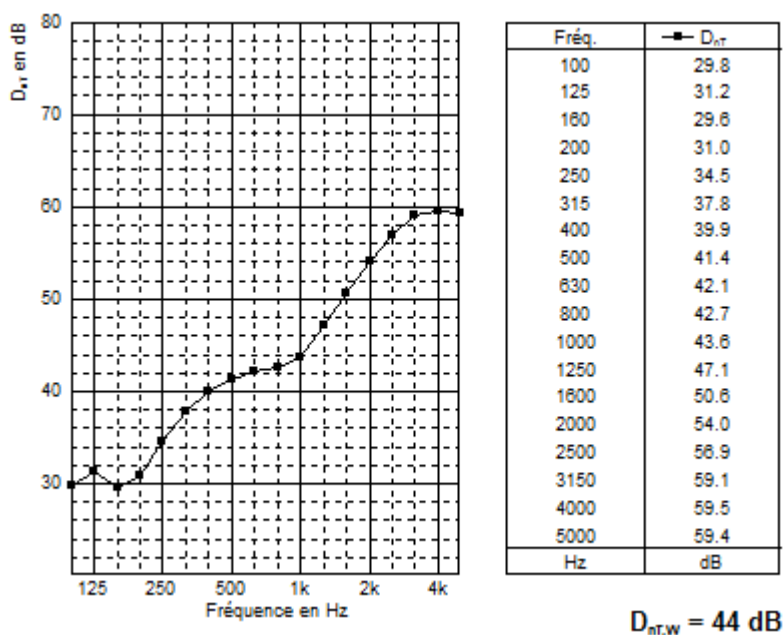


Figura 40 - Exemplo de um resultado obtido de uma análise no Acoubat.

3.5. Medidas de reabilitação

As soluções apresentadas de seguida têm em vista a reabilitação térmica e acústica do edifício em avaliação.

As medidas de reabilitação basearam-se na análise da cortiça devido as suas excelentes qualidades térmicas e acústicas que lhe conferem uma boa solução para a construção e para além disso é um produto em que Portugal é um dos maiores produtores e distribuidores do mundo.

Para o estudo, além da cortiça que apresenta boas qualidades térmicas e acústicas que lhe conferem uma boa solução para a construção e para além disso é um produto em que Portugal é um dos maiores produtores e distribuidores do mundo, foram estudados os materiais mais comuns. Sendo eles o EPS, pois é o material mais utilizado para o isolamento na construção civil e a lã de rocha, por ser um dos materiais mais comuns e por apresentar boas características como isolante.

As medidas de reabilitação foram efetuadas para as paredes exteriores, paredes entre frações, cobertura e pavimento. Tendo em vista uma análise mais abrangente optou-se por analisar estes materiais com duas espessuras diferentes.

Solução de reabilitação 1

As soluções de reabilitação para os diferentes elementos construtivos foram os seguintes:

Paredes exteriores

Esta intervenção pode ser feita de três formas, nomeadamente, reforço do isolamento pelo interior, exterior ou na caixa-de-ar de paredes duplas.

Neste caso optou-se por um sistema de isolamento contínuo pelo exterior, ETICS, de forma a proteger o edifício, corrigindo as pontes térmicas e não afetando a inércia térmica e a área útil do edifício, reduzindo também o impacto das obras no dia-a-dia dos moradores (Figura 41).

Na Tabela 10 estão representados os diferentes materiais, espessuras e o coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) da parede.

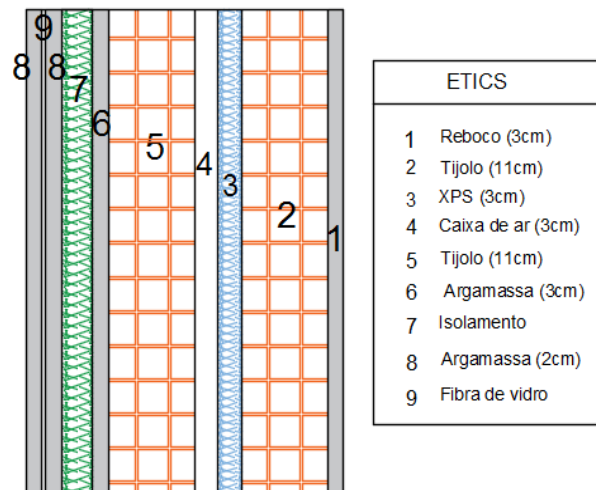


Figura 41 - Pormenor e constituintes da parede exterior com ETICS

Tabela 10 - Características da parede exterior com ETICS

	EPS		Cortiça		Lã de rocha	
Espessura do isolamento (m)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06
Espessura do elemento (m)	0,41	0,43	0,41	0,43	0,41	0,43
Coefficiente de transmissão térmica (U) – ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	0,393	0,331	0,386	0,323	0,378	0,315

Pavimentos

A reabilitação deste elemento construtivo efetuou-se a colocação do isolamento por sob do pavimento, devido à sua facilidade aplicação, não implicando o corte de portas, não implicando a retirada e nova colocação de rodapés e não implicando trabalhos no revestimento (Figura 42).

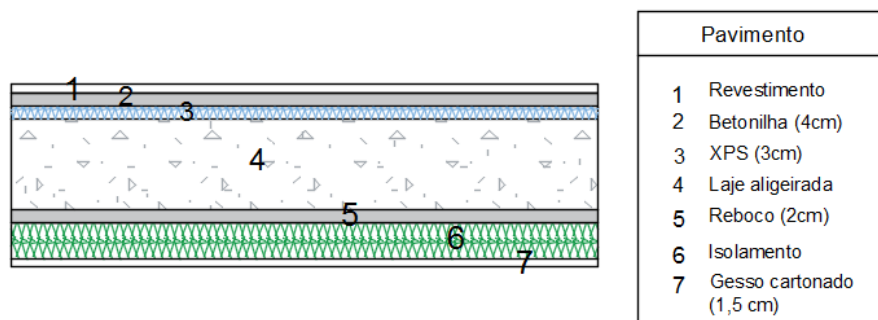


Figura 42 - Pormenor e constituintes do pavimento na solução de reabilitação 1

Na Tabela 11 estão representados os diferentes materiais, espessuras e o coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) do pavimento.

Tabela 11 -Características do pavimento na solução de reabilitação 1

	EPS		Cortiça		Lã de rocha	
Espessura do isolamento (m)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06
Espessura do elemento (m)	0,28	0,30	0,28	0,30	0,28	0,30
Coeficiente de transmissão térmica (U) – ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	0,338	0,291	0,332	0,285	0,326	0,278

Cobertura

Já para a cobertura a reabilitação colocou-se o reforço de isolamento por cima da laje, pois é constituída por um desvão não habitável. Permitindo assim uma aplicação mais facilitada e não implica a diminuição do volume das divisões.

Na Tabela 12 estão representados os diferentes materiais, espessuras e o coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) da cobertura. Encontra-se representada o coeficiente de transmissão térmica e a espessura para o elemento inclinado e para o elemento horizontal, separadamente.

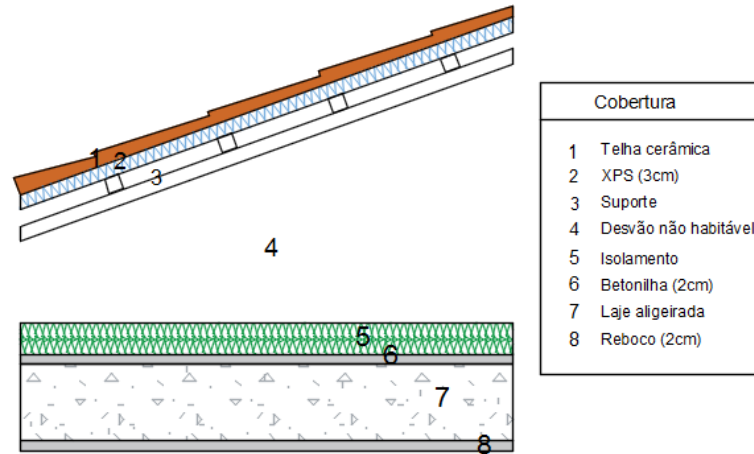


Figura 43 - Pormenor e constituintes da cobertura na solução de reabilitação 1

Tabela 12 - Características da cobertura na solução de reabilitação 1

	EPS		Cortiça		Lã de rocha	
	Espeçura do isolamento (m)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04
Espeçura do elemento horizontal (m)	0,21	0,23	0,21	0,23	0,21	0,23
Espeçura do elemento inclinado (m)	0,055					
Coefficiente de transmissão térmica (U) – (W/m ² .°C) – Elemento horizontal	0,484	0,393	0,473	0,382	0,461	0,371
Coefficiente de transmissão térmica (U) – (W/m ² .°C) – Elemento inclinado	1,173					

Paredes entre frações e zonas não úteis

Para os elementos construtivos entre frações e frações e zonas não úteis os regulamentos (REH e RRAE) apresentam requisitos, sendo então necessário proceder a reabilitação. Na Figura 44 encontra-se os constituintes do elemento construtivo com a medida de reabilitação.

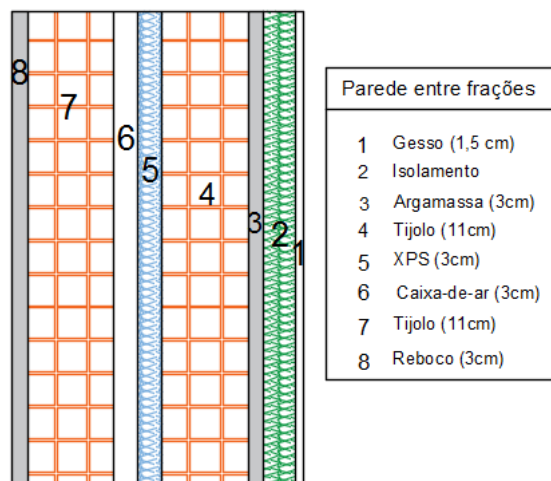


Figura 44 - Pormenor e constituintes da parede entre frações e zonas não úteis da solução de reabilitação 1

Na Tabela 13 estão representados os diferentes materiais, espessuras e o coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) da parede.

Tabela 13 - Características da parede entre frações na solução de reabilitação 1

	EPS		Cortiça		Lã de rocha	
Espessura do isolamento (m)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06
Espessura do elemento (m)	0,39	0,41	0,39	0,41	0,39	0,41
Coefficiente de transmissão térmica (U) – ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	0,416	0,347	0,449	0,339	0,399	0,330

Solução de reabilitação 2

Esta reabilitação é uma evolução da reabilitação 1, de modo a conseguir atingir os valores regulamentares em termos acústicos. Sendo assim, a alteração verificou-se nas paredes entre frações e no pavimento.

Assim para o pavimento foi adicionada uma membrana acústica de espessura reduzida, de 4 mm, de forma a obter um melhor isolamento a de sons de percussão, visto que este tipo de membrana consegue absorver cerca de 6 dB (Figura 45).

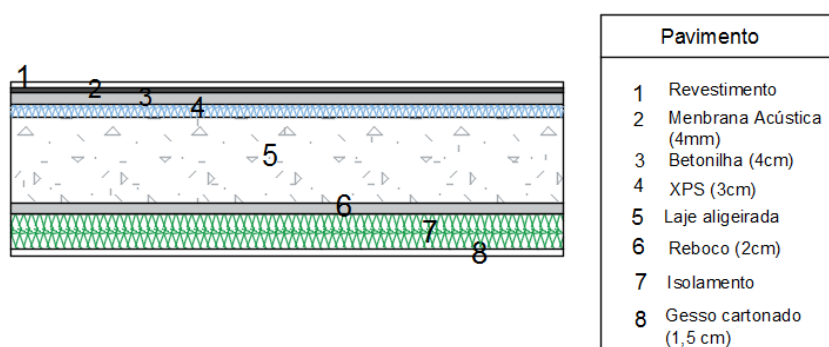


Figura 45 - Pormenor e constituintes do pavimento da solução de reabilitação 2

Na Tabela 14 estão representados os diferentes materiais, espessuras e o coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) do pavimento.

Tabela 14 - Características do pavimento da solução de reabilitação 2

	EPS		Cortiça		Lã de rocha	
Espessura do isolamento (m)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06
Espessura do elemento (m)	0,28	0,30	0,28	0,30	0,28	0,30
Coefficiente de transmissão térmica (U) – ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	0,338	0,291	0,332	0,285	0,326	0,278

Com o mesmo intuito que o pavimento, nas paredes entre frações foi colocado uma nova placa de gesso cartonado, de forma a verificar se os requisitos se conseguem atingir (Figura 46).

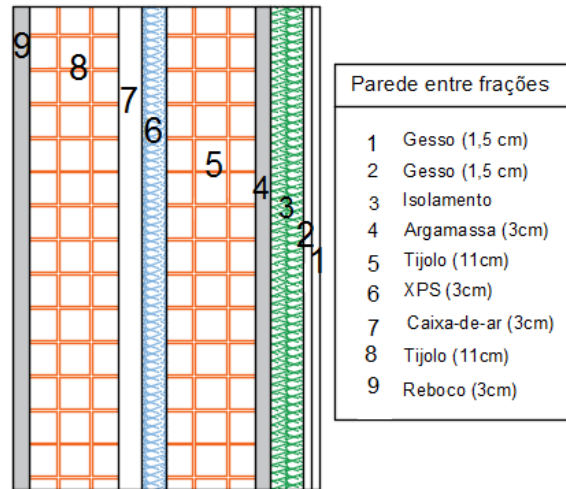


Figura 46 - Pormenor e constituintes da parede entre frações da solução de reabilitação 2

Na Tabela 15 estão representados os diferentes materiais, espessuras e o coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) da parede.

Tabela 15 - Características da parede entre frações da solução de reabilitação 2

	EPS		Cortiça		Lã de rocha	
Espessura do isolamento (m)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06
Espessura do elemento (m)	0,40	0,42	0,40	0,42	0,40	0,42
Coefficiente de transmissão térmica (U) – ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	0,406	0,340	0,398	0,339	0,390	0,330

Solução de reabilitação 3

A solução de reabilitação 3 consiste na introdução de um envidraçado de correr de melhor qualidade (Tabela 16), de modo a observar os efeitos provocados nas duas áreas.

Esta análise dividiu-se em duas, nomeadamente:

- introdução do envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2, para ambas as espessuras da cortiça;
- introdução do envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2, para ambas as espessuras da cortiça, contudo não aplicando medida de reabilitação para a parede exterior.

Procedeu-se estas análises com o intuito de analisar os efeitos do comportamento térmico e acústico com a introdução de um elemento da envolvente exterior com melhores qualidades.

Apenas se analisa para a cortiça, pois este é o material principal de estudo.

Tabela 16 - Constituição do envidraçado para a Reabilitação 3

	Espessura (m)	U (W/m ² .°C)
Vidro	0,04	1,7
Caixa de ar	0,16	
Vidro	0,08	

3.6. Análise económica

Para esta análise determinou-se o investimento inicial e o custo de energia ao longo dos anos, de cada solução de reabilitação.

3.6.1. Investimento inicial

O investimento inicial define-se pelos custos associados às medidas de reabilitação adotadas, ou seja, corresponde ao custo dos materiais, custos da mão-de obra e equipamentos utilizados.

Assim e de acordo com as soluções foi necessário obter os custos para as fachadas, paredes divisórias, pavimentos, coberturas e envidraçados. Para tal foi utilizado o gerador de preços online gratuito CYPE, que permite obter todos o investimento por m² de cada elemento construtivo a reabilitar.

3.6.2. Custo de energia ao longo do tempo

Os custos referentes à energia foram obtidos pela consulta de informação fornecida pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), sendo averiguado um preço médio de aquisição de energia elétrica para consumidores domésticos de 0,1596 €/kWh, para 2018. Sendo admitido um crescimento médio anual é de 2.5%, isto permite obter os custos associados para anos futuros (Figura 47).

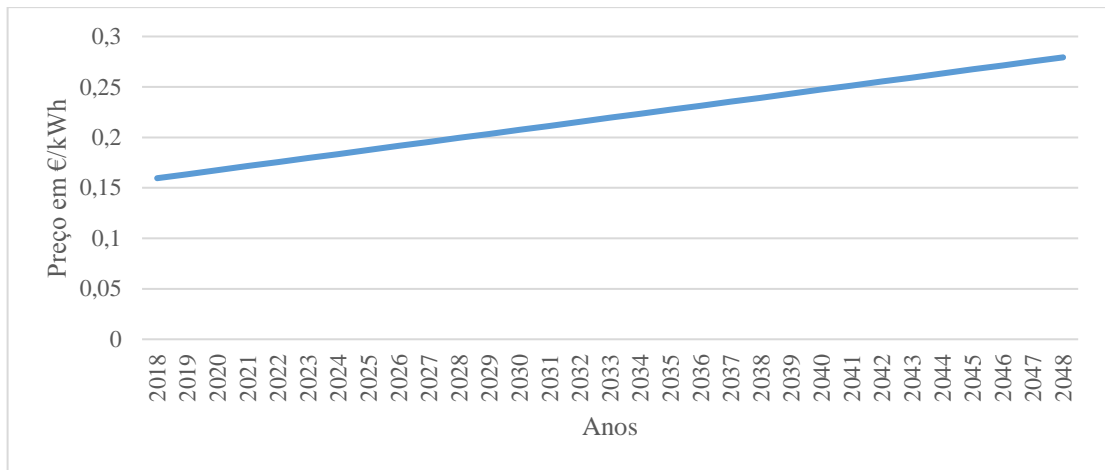


Figura 47 - Previsão da evolução do custo de energia

Com estes dados e com as necessidades energéticas é possível determinar os custos de energia para todas as soluções de reabilitação para o ano zero (2018) e para um horizonte temporal de 30 anos de duração do edifício.

Para além disso determinou-se os custos acumulados ao fim de 30 anos, de modo a perceber as poupanças conseguidas com cada reabilitação ao fim de 30 anos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos em cada etapa, ou seja, os resultados obtidos na simulação do edifício, situação atual, e do edifício com a implementação das propostas de reabilitação, tanto no *Design Builder* como no *Acoubat*. É também discutido neste capítulo a análise dos resultados e a análise económica das propostas de reabilitação.

4.2. Edifício – Situação atual

4.2.1. Desempenho térmico

Através da simulação dinâmica do edifício, com o auxílio do programa *Design Builder*, obtiveram-se os resultados do desempenho térmico do edifício, para a situação atual (Tabela 17).

Tabela 17 - Resultados totais do edifício, situação atual, no *Design Builder*

		Necessidades Aquecimento [kWh/m ² .ano]	Necessidades Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	Taxa de ventilação
R/C	Direito	148,36	0,54	0,71
	Esquerdo	216,38	4,13	0,71
1°	Direito	138,75	4,07	0,72
	Esquerdo	169,80	12,43	0,72
2°	Direito	136,43	8,45	0,72
	Esquerdo	167,54	25,75	0,72
3°	Direito	192,95	29,55	0,72
	Esquerdo	221,28	50,15	0,72
Total		1391,49	135,07	0,72

Do estudo realizado verificou-se que as necessidades de aquecimento e arrefecimento das habitações do lado esquerdo são superiores às habitações do lado direito, esta diferença advém do fato de as habitações do lado esquerdo apresentarem mais uma fachada que as habitações do lado direito.

Para além disto, nota-se que as habitações em contacto com zonas não úteis apresentam necessidades de aquecimento superiores, ou seja, R/C esquerdo por se encontrar sobre a garagem e 3º esquerdo estar sob o desvão da cobertura.

Relativamente às necessidades de arrefecimento, verificou-se que as necessidades aumentam conforme o andar, ou seja, menores valores no R/C, seguido do primeiro andar e assim sucessivamente. Isto deve-se a exposição solar do edifício, o sombreamento pelos edifícios adjacentes, a orientação e o sombreamento pelas palas existentes no edifício.

Assim, determina-se que as necessidades de aquecimento e aquecimento são influenciadas pela existência de maiores áreas de contato com o exterior e com zonas não úteis, e pela envolvente

De um modo geral verifica-se que o edifício apresenta elevadas necessidades energéticas.

4.2.2. Desempenho acústico

Neste subcapítulo são apresentados e analisados os resultados do estudo do desempenho acústico do edifício.

Na Tabela 18 encontram-se os resultados obtidos nesta fase e a sua comparação com o estipulado Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

Tabela 18 - Comparação dos resultados com o RRAE

Análise	Resultado	Requisito	
Emissor: Exterior Recetor: Quarto 3 superior	$D_{n,w} = 39dB$	$D_{n,w} \geq 33dB$ Zona Mista	Cumprir o regulamento!
Emissor: Exterior Recetor: Quarto 3 inferior	$D_{n,w} = 39 dB$	$D_{n,w} \geq 33dB$ Zona Mista	Cumprir o regulamento!
Emissor: Cozinha superior Recetor: Quarto superior	$D_{n,w} = 44 dB$	$D_{n,w} \geq 50 dB$	Não cumprir o regulamento!
Emissor: Cozinha inferior Recetor: Quarto inferior	$D_{n,w} = 44 dB$	$D_{n,w} \geq 50 dB$	Não cumprir o regulamento!
Emissor: Escadas Recetor: Quarto 3 superior	$D_{n,w} = 46dB$	$D_{n,w} \geq 48 dB$	Não cumprir o regulamento!
Emissor: Escadas Recetor: Quarto 3 inferior	$D_{n,w} = 45dB$	$D_{n,w} \geq 48 dB$	Não cumprir o regulamento!
Emissor: Quarto superior Recetor: Quarto inferior	$L'_{n,w} = 61 dB$	$L'_{n,w} \leq 60 dB$	Não cumprir o regulamento!

Com isto conclui-se que em termos acústicos o edifício em questão não está de acordo com o regulamento, exceto o isolamento relativo à fachada. Ou seja, o edifício em estudo não garante o conforto acústico necessário aos habitantes, por isso é essencial realizar reabilitações com o intuito de garantir esse conforto.

4.3. Medidas de reabilitação

4.3.1. Avaliação do desempenho térmico

Após uma análise das medidas de reabilitação, já apresentadas Capítulo III, obtiveram-se os seguintes resultados.

Solução de reabilitação 1

Implementação das medidas de reabilitação desta solução permitiu chegar aos resultados apresentados na Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 19 – Resultados térmicos da solução de reabilitação 1, isolamento com 4 cm

	EPS			Lã de rocha			Cortiça		
	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent
R/C Direito	125,36	0,79	0,71	125,08	0,06	0,72	124,76	0,81	0,71
R/C Esquerdo	176,65	4,49	0,71	172,82	4,45	0,71	175,82	4,63	0,71
1ºDireito	118,83	4,27	0,72	118,6	4,17	0,72	117,76	4,55	0,72
1ºEsquerdo	141,11	10,71	0,72	140,63	11,25	0,72	140,1	11,85	0,72
2ºDireito	117,11	6,53	0,72	116,92	6,36	0,72	115,22	7,32	0,72
2ºEsquerdo	142	20,37	0,72	141,42	20,05	0,72	140,17	21,83	0,72
3ºDireito	156,19	12,22	0,72	155,38	13,51	0,72	147,61	20,32	0,72
3ºEsquerdo	174,19	28,87	0,72	175,13	28,28	0,72	168,03	37,78	0,72
Total	1151,4	88,25	0,72	1145,9	88,13	0,72	1129,5	109,09	0,72

As soluções aplicadas permitiram uma redução das necessidades energéticas nos vários materiais. Observando-se uma maior redução das necessidades de aquecimento na cortiça, seguido da lã de rocha e por último o EPS. A redução maior seria expectável na lã de rocha devido à sua condutibilidade térmica, contudo nas necessidades de aquecimento verificou-se uma maior redução na cortiça. Isto pode ser provocado pela ventilação existente e infiltrações.

Em relação as necessidades de arrefecimento observam-se uma maior redução na lã de rocha e EPS.

Tabela 20 – Resultados térmicos da solução de reabilitação 1, isolamento com 6 cm

	EPS			Lã de rocha			Cortiça		
	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent
R/C Direito	119,51	0,91	0,71	118,68	0,92	0,71	119,26	0,93	0,71
R/C Esquerdo	167,01	4,87	0,72	165,58	4,91	0,72	166,58	4,99	0,72
1ºDireito	114,37	4,57	0,72	113,73	4,57	0,72	113,71	4,77	0,72
1ºEsquerdo	134,73	11,52	0,72	133,82	11,54	0,72	134,12	11,92	0,72
2ºDireito	112,63	6,49	0,72	112,07	6,47	0,72	111,39	7,08	0,72
2ºEsquerdo	135,51	19,94	0,72	134,54	19,84	0,72	134,23	21,03	0,72
3ºDireito	147,35	12,88	0,72	146,16	12,75	0,72	140,81	17,64	0,72
3ºEsquerdo	165,67	27,11	0,72	164,2	26,89	0,72	159,48	34,17	0,72
Total	1096,8	88,2	0,72	1088,8	87,89	0,72	1079,6	102,53	0,72

A partir destes resultados observa-se que o aumento da espessura do isolamento, nos vários materiais, implica uma redução das necessidades energéticas comparativamente com a espessura anterior.

Solução de reabilitação 2

Na Tabela 21 e na Tabela 22 são apresentados os valores referentes a análise das soluções de reabilitação 2, com diferentes espessuras de isolamento.

Tabela 21 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 2, com isolamento de 4cm

	EPS			Lã de rocha			Cortiça		
	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent
R/C Direito	118,22	1,18	0,71	117,59	1,18	0,71	118,22	1,24	0,71
R/C Esquerdo	172,61	4	0,71	166,36	5,41	0,72	167,33	5,62	0,72
1ºDireito	114,77	4,88	0,72	114,31	4,9	0,72	114,41	5,22	0,72
1ºEsquerdo	137,15	12,09	0,72	136,35	12,06	0,72	136,84	12,63	0,72
2ºDireito	113,01	6,8	0,72	112,54	6,77	0,72	111,94	7,54	0,72
2ºEsquerdo	137,68	20,42	0,72	136,93	20,34	0,72	136,82	21,79	0,72
3ºDireito	150,68	13,21	0,72	149,8	13,12	0,72	143,84	18,83	0,72
3ºEsquerdo	171,17	28,12	0,72	169,02	27,91	0,72	164,67	36,04	0,72
Total	1115,3	90,7	0,72	1102,9	91,69	0,72	1094,1	108,91	0,72

A solução de reabilitação 2, com 4 cm de espessura, implicou uma redução das necessidades energéticas do edifício. Verificando-se uma maior redução das necessidades de aquecimento na cortiça.

Já nas necessidades de arrefecimento observam-se uma maior redução na lã de rocha e EPS.

Tal como na solução de reabilitação 1, o aumento da espessura do material isolante implica uma maior redução das necessidades energéticas.

Tabela 22 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 2, com isolamento de 6cm

	EPS			Lã de rocha			Cortiça		
	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent
R/C Direito	113,87	1	0,71	113,44	1	0,71	114,12	1,07	0,71
R/C Esquerdo	159,65	5,28	0,72	158,7	5,29	0,72	159,72	5,48	0,72
1ºDireito	110,73	4,43	0,72	110,39	4,42	0,72	110,66	4,7	0,72
1ºEsquerdo	131,46	11,45	0,72	130,8	11,4	0,72	131,43	11,93	0,72
2ºDireito	108,62	5,95	0,72	108,37	5,9	0,72	108,13	6,56	0,72
2ºEsquerdo	131,59	19,18	0,72	130,91	19,06	0,72	131,12	20,3	0,72
3ºDireito	144,97	10,43	0,72	144,09	10,28	0,72	139,03	14,6	0,72
3ºEsquerdo	164,44	24,77	0,72	163,25	24,44	0,72	158,76	31,33	0,72
Total	1065,3	82,49	0,72	1059,9	81,79	0,72	1052,9	95,97	0,72

Solução de reabilitação 3

Na solução de reabilitação 3 foi efetuada duas simulações, uma com a introdução do envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2 (Tabela 22) e outra com a introdução do envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2, mas sem intervenção nas fachadas (Tabela 23).

Tabela 23 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 3, com introdução de envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2

	Cortiça (4cm)			Cortiça (6cm)		
	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent
R/C Direito	73,75	16,87	0,72	69,38	17,96	0,72
R/C Esquerdo	102,96	44,93	0,72	94,69	48,36	0,72
1ºDireito	58,88	46,13	0,72	55,11	46,92	0,72
1ºEsquerdo	79,78	69,67	0,72	73,76	71,61	0,72
2ºDireito	57,66	48,29	0,72	53,73	50,94	0,72
2ºEsquerdo	80,86	85,78	0,72	74,47	86,75	0,72
3ºDireito	87,73	66,04	0,72	81,1	61,74	0,72
3ºEsquerdo	110,17	131,27	0,72	101,68	95,17	0,72
Total	651,79	508,98	0,72	603,92	479,45	0,72

A introdução de um envidraçado de melhor qualidade reduz significativamente as necessidades de aquecimento, para ambas as espessuras. Verificando uma redução maior na espessura mais elevada.

Contudo, as necessidades de arrefecimento aumentaram drasticamente, devido ao aumento da resistência térmica da envolvente exterior do edifício. Não permitindo assim as transferências de calor entre o interior e exterior.

Tabela 24 - Resultados térmicos da solução de reabilitação 3, com introdução de envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2, sem intervenção na fachada

	Cortiça (4cm)			Cortiça (6cm)		
	Aque.	Arref.	Vent	Aque.	Arref.	Vent
R/C Direito	81,08	15,9	0,72	80,47	17,2	0,72
R/C Esquerdo	120,32	43,64	0,72	120,9	47,71	0,72
1ºDireito	67,35	43,48	0,72	67,83	43,54	0,72
1ºEsquerdo	97,25	66,96	0,72	100,11	68,95	0,72
2ºDireito	66,03	48,26	0,72	66,22	47,4	0,72
2ºEsquerdo	98,26	82,16	0,72	100,78	83,03	0,72
3ºDireito	96,34	62,74	0,72	94,29	57,67	0,72
3ºEsquerdo	127	93,64	0,72	127,63	90,75	0,72
Total	753,63	456,78	0,72	758,23	456,25	0,72

Tal como esperado verificou-se que a implementação de um envidraçado com melhores qualidades, mas não intervindo nas fachadas, aumenta a necessidade de aquecimento comparativamente à tabela anterior. O inverso ocorre nas necessidades de arrefecimento, ou seja, a introdução do envidraçado, mas não intervindo nas fachadas, implica uma redução das necessidades.

Isto verifica-se devido as mudanças da qualidade de isolamento da envolvente exterior.

4.3.1.1. Análise dos resultados

Na análise do desempenho térmico verificou-se que a implementação de medidas de reabilitação contribui para uma redução das necessidades energéticas.

Através da análise da solução de reabilitação 1, em comparação com os valores iniciais, verificou-se que a utilização da lã de rocha consegue obter a maior de redução nas necessidades energéticas totais, atingindo 19,2% (4cm de espessura) e 22,9% (6cm de espessura). A cortiça chega a reduções de 18,9% e 22,6%, já o EPS atinge as menores reduções energéticas (Tabela 25).

Também é possível verificar que o aumento da espessura do isolamento acarreta maiores reduções energéticas.

Tabela 25 - Redução das necessidades energéticas após a implementação da solução de reabilitação 1

	Necessidades de Aque. e Arref. (kWh/m².ano)	Redução
Inicial	1526,6	-
Isolamento com 4cm de espessura		
EPS	1239,7	18,8%
Lã de rocha	1234,1	19,2%
Cortiça	1238,6	18,9%
Isolamento com 6cm de espessura		
EPS	1184,1	22,4%
Lã de rocha	1176,7	22,9%
Cortiça	1182,1	22,6%

Com a análise da solução de reabilitação 2 verificou-se maiores reduções das necessidades energéticas em comparação com edifício inicial e com a solução anterior.

Nesta solução observou-se as mesmas análises que o anterior, ou seja, a lã de rocha apresenta os melhores resultados (Tabela 26).

Tabela 26 - Redução das necessidades energéticas após a implementação da solução de reabilitação 2

	Necessidades de Aque. + Arref. (kWh/m².ano)	Redução
Inicial	1526,6	-
Isolamento com 4cm de espessura		
EPS	1206,0	21%
Lã de rocha	1194,6	21,7%
Cortiça	1203,0	21,2%
Isolamento com 6cm de espessura		
EPS	1147,8	24,8%
Lã de rocha	1141,7	25,2%
Cortiça	1148,9	24,7%

Na solução de reabilitação 3 verificou-se que a introdução de um envidraçado com melhores qualidades, em conjunto com medidas de reabilitação da solução 2, chega a atingir uma redução de 24% para a menor espessura e 29% para a maior. Já a introdução do envidraçado, mas não intervindo nas fachadas, implica menores reduções em comparação com a anterior, atingindo reduções de cerca de 20% (Tabela 27).

Tabela 27 - Redução das necessidades energéticas após a implementação da solução de reabilitação 3

	Necessidades de Aque. + Arref. (kWh/m².ano)	Redução
Inicial	1526,6	-
S.R 3 – S.R 2 + envidraçado		
Cortiça 4cm	1160,8	24%
Cortiça 6cm	1083,4	29%
S.R 3 – S.R 2 + envidraçado, mas s/ intervenção nas fachadas		
Cortiça 4cm	1210,4	20,7%
Cortiça 6cm	1214,5	20,4%

Com isto, é possível concluir que a cortiça apesar de apresentar de garantir reduções energéticas não apresenta os melhores resultados, sendo verificado os melhores valores na lã de rocha. Isto verifica-se, pois, a lã de rocha apresenta o melhor coeficiente de condutibilidade térmica.

Conclui-se também que o melhoramento da envolvente exterior, ou seja, a introdução de um envidraçado de melhor qualidade, acarreta reduções nas necessidades energéticas totais em comparação com a o edifício inicial e com a solução de reabilitação 1 e 2.

4.3.2. Avaliação do desempenho acústico

Solução de reabilitação 1

Na Tabela 28 encontram-se representadas os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão das análises desenvolvidas.

Com estes resultados verifica-se que a solução de reabilitação 1 garantem o cumprimento dos requisitos a sons de condução a aérea entre o exterior e o quarto 3 (superior e inferior) e a sons de condução aérea entre as escadas e o quarto 3 inferior, exceto para o EPS com 4 cm de isolamento. Os restantes não atingem os requisitos mínimos requeridos pelo regulamento.

Tabela 28 - Análise dos resultados acústicos da solução de reabilitação 1

Zonas	Requisito (dB)	Solução de reabilitação 1 (4cm de isolamento)			Solução de reabilitação 1 (6cm de isolamento)		
		EPS	Lã de rocha	Cortiça	EPS	Lã de rocha	Cortiça
Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea – $D_{nT,w}$							
Emissor: Exterior	$D_{nT,w} \geq 33$	39	39	39	39	39	39
Recetor: Quarto 3 superior		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Emissor: Exterior	$D_{nT,w} \geq 33$	39	39	39	39	39	39
Recetor: Quartos 3 inferior		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Emissor: Cozinha superior	$D_{nT,w} \geq 50$	46	46	46	46	46	46
Recetor: Quarto superior		KO!	KO!	KO!	KO!	KO!	KO!
Emissor: Cozinha inferior	$D_{nT,w} \geq 50$	46	46	46	46	46	46
Recetor: Quarto inferior		KO!	KO!	KO!	KO!	KO!	KO!
Emissor: Escadas	$D_{nT,w} \geq 48$	47	47	47	47	47	47
Recetor: Quarto 3 superior		KO!	KO!	KO!	KO!	KO!	KO!
Emissor: Escadas	$D_{nT,w} \geq 48$	47	48	48	48	48	48
Recetor: Quartos 3 inferior		KO!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão – $L'_{nT,w}$							
Emissor: Quarto superior	$L'_{nT,w} \leq 60$	61	61	61	61	61	61
Recetor: Quarto inferior		KO!	KO!	KO!	KO!	KO!	KO!

Solução de reabilitação 2

Na Tabela 29 estão apresentados os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão das análises desenvolvidas.

A solução de reabilitação 2, através da implementação da membrana acústica, permite garantir o cumprimento do regulamento relativamente a sons de percussão.

A sons de condução aérea verificou-se uma melhoria quando é utilizada a cortiça, garantindo assim os requisitos entre as escadas e quarto 3 (superior e inferior), e melhorando ainda o índice de isolamento entre cozinha inferior e quarto inferior.

Tabela 29 - Análise dos resultados acústicos da solução de reabilitação 2

Zonas	Requisito (dB)	Solução de reabilitação 2 (4cm de isolamento)			Solução de reabilitação 2 (6cm de isolamento)		
		EPS	Lã de rocha	Cortiça	EPS	Lã de rocha	Cortiça
Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea – $D_{nT,w}$							
Emissor: Exterior	$D_{nT,w} \geq 33$	39	39	39	39	39	39
Recetor: Quarto 3 superior		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Emissor: Exterior	$D_{nT,w} \geq 33$	39	39	39	39	39	39
Recetor: Quartos 3 inferior		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Emissor: Cozinha superior	$D_{nT,w} \geq 50$	46	46	46	46	46	46
Recetor: Quarto superior		KO!	KO!	KO!	KO!	KO!	KO!
Emissor: Cozinha inferior	$D_{nT,w} \geq 50$	46	46	47	46	46	47
Recetor: Quarto inferior		KO!	KO!	KO!	KO!	KO!	KO!
Emissor: Escadas	$D_{nT,w} \geq 48$	47	47	48	47	47	48
Recetor: Quarto 3 superior		KO!	KO!	OK!	KO!	KO!	OK!
Emissor: Escadas	$D_{nT,w} \geq 48$	48	48	48	48	48	48
Recetor: Quartos 3 inferior		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão – $L'_{nT,w}$							
Emissor: Quarto superior	$L'_{nT,w} \leq 60$	55	55	55	55	55	55
Recetor: Quarto inferior		OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

Solução de reabilitação 3

Na solução de reabilitação 3, a análise referente à introdução de envidraçado em conjunto com a solução de reabilitação 2 observou-se uma melhoria nos sons de condução aérea entre o exterior e o quarto, com um aumento de 1dB, ou seja, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea toma o valor de 40 dB. O mesmo se verificou para a análise referente a introdução do envidraçado, mas sem intervenção nas fachadas.

4.3.2.1. Análise de resultados

Na análise de desempenho acústico verificou-se que a implementação de medidas de reabilitação permite melhorar os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão.

A solução de reabilitação 1 permitiu melhorar o desempenho acústico do edifício a sons de condução aérea comparativamente aos valores do edifício inicial, contudo não cumprindo os requisitos entre fogos diferentes, para os três materiais. Entre fogos e zonas não úteis não se verificou o cumprimento dos requisitos no andar superior, visto que este se encontra sob a cobertura e devido à transmissão marginal que ocorre por parte desta.

A nível de sons de percussão não se constatou alterações, ou seja, continuando a não cumprir os requisitos para os diferentes materiais.

Já a solução de reabilitação 2, em comparação com os valores iniciais, apresentou melhorias a sons de percussão, e consequentemente o cumprimento dos requisitos. Este melhoramento foi devido à introdução de uma membrana acústica que tem como finalidade impedir a vibração do elemento construtivo.

Em relação aos sons de condução aérea, a solução de reabilitação 2, apresentou uma melhoria com a utilização da cortiça, cumprindo assim os requisitos mínimos impostos, exceto a sons de condução entre frações e zonas não úteis. Este incumprimento pode ser combatido através da implementação de uma membrana acústica, entre as placas de gesso cartonado, que permite um aumento do índice de isolamento de cerca de 4 dB.

A implementação de uma membrana acústica nas paredes entre frações faz com que os índices de isolamento a sons de condução aérea, de todos os materiais, alcancem os requisitos. Todavia a cortiça continua a destacar-se devido ao melhoramento verificado anteriormente.

Com a análise da solução de reabilitação 3 verificou-se que a introdução de um envidraçado melhora a qualidade da envolvente exterior a sons de condução aérea.

Assim, conclui-se que a cortiça apresenta melhores qualidades acústicas em comparação com os restantes materiais a sons de condução aérea. Já a sons de percussão só se verificou melhorias devido a implementação de uma membrana acústica, independentemente do material e espessura utilizada.

A introdução do envidraçado permitiu concluir que a melhoria da qualidade acústica da envolvente exterior permite um aumento do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior.

4.3.3. Análise global

Em termos gerais as soluções de reabilitação selecionadas permitiram uma redução das necessidades energéticas do edifício e uma melhoria do desempenho acústico, concluindo assim que a aplicação do EPS, lã de rocha e cortiça ajudam no isolamento térmico e acústico, uns de uma maneira mais eficaz que outros.

Analisando os resultados da solução da reabilitação 1, em termos totais conclui-se que a cortiça permite necessidades de aquecimento mais baixas, no entanto as necessidades de arrefecimento sobem. Tornando assim a sua percentagem de redução total das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) inferior à lã de rocha. Este último consegue atingir reduções na ordem dos 19,2% e 22,9% e a cortiça atinge apenas 18,8% e 22,6%, para a espessura de 4cm e espessura de 6cm (Figura 48). As menores reduções verificam-se com a utilização do EPS.

Em relação ao desempenho acústico apurou-se as mesmas conclusões que o desempenho térmico, ou seja, a lã de rocha consegue alcançar os mesmos resultados que a cortiça, já o EPS obtém os resultados menos vantajosos.

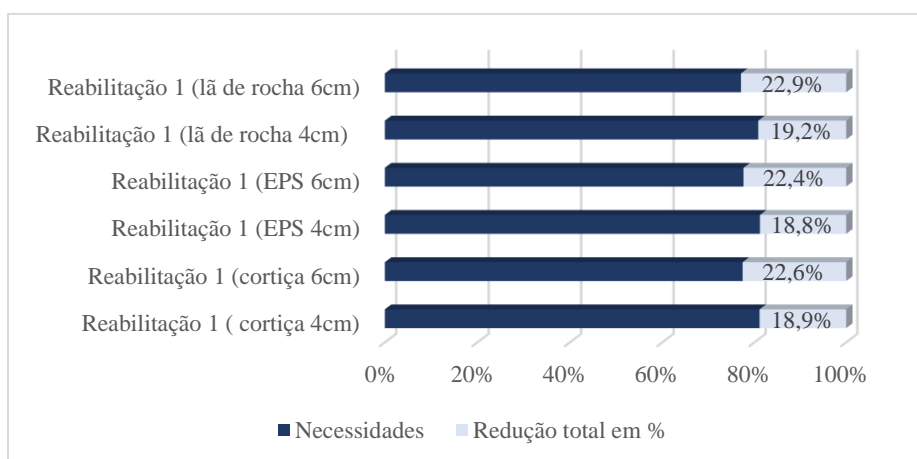


Figura 48 - Reduções totais das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) da solução de reabilitação 1

Estudando os resultados obtidos na solução de reabilitação 2 determinou-se que a cortiça atinge aproximadamente as mesmas reduções totais das necessidades energéticas que o EPS (com 21% para 4cm e 25% para 6cm de espessura). As maiores reduções observaram-se na lã de rocha

que chega a uma redução de 22% no total para a menor espessura, como podemos observar na Figura 49.

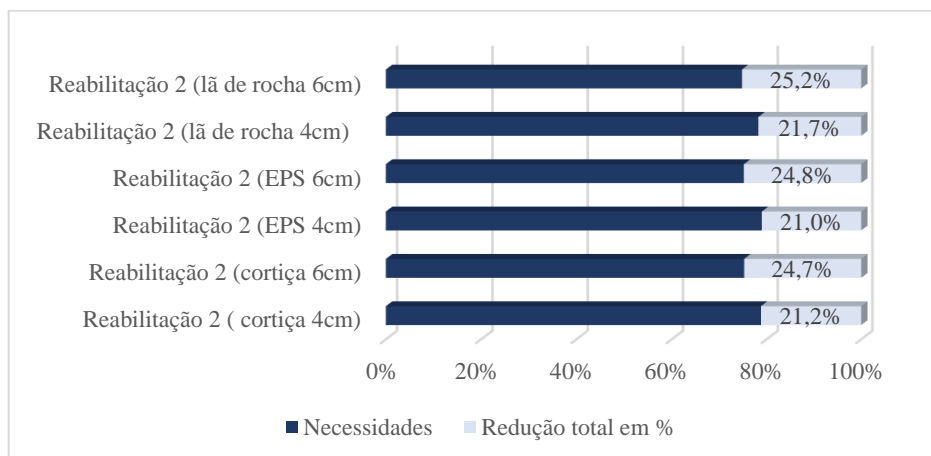


Figura 49 - Reduções totais das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) para a solução de reabilitação 2

Porém a cortiça alcança os melhores resultados em termos acústicos para ambas as espessuras, cumprindo os requisitos em cinco dos parâmetros analisados, das sete totais. Já a lã de rocha adquire os mesmos resultados que o EPS.

Por último, a análise da solução de reabilitação 3 permitiu concluir que a introdução de um envidraçado apesar de incrementar um aumento das necessidades de arrefecimento implica uma maior redução total das necessidades energéticas, alcançando uma redução de 29% para a espessura maior (Figura 50).

Comparando com as a solução de reabilitação 2, com cortiça, a introdução do envidraçado exhibe as maiores reduções totais das necessidades energéticas.

Já a introdução do envidraçado, mas sem intervenção nas fachadas, apresentam reduções de 20% e 21% (Figura 50). Apresentando os valores mais baixos, em comparação com as restantes análises.

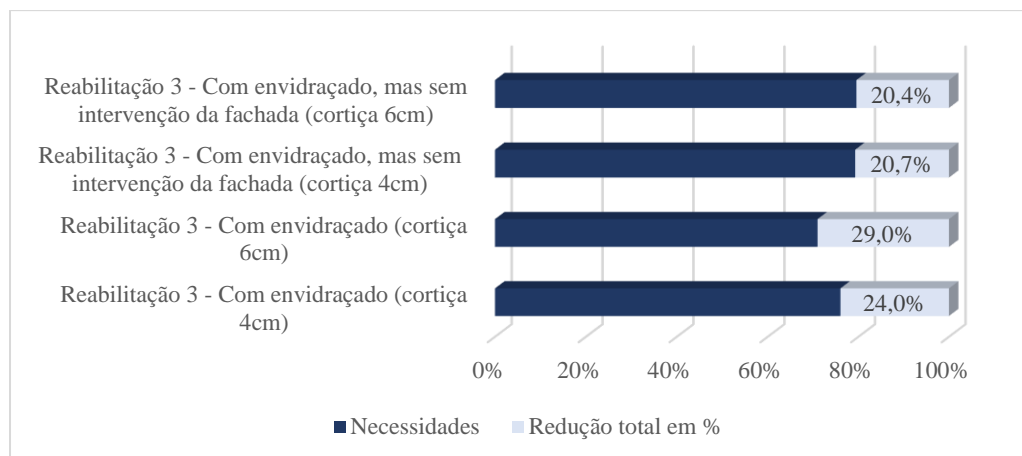


Figura 50 – Reduções totais das necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento) da solução de reabilitação 3

Em relação ao desempenho acústico observou-se que a adição do envidraçado, quer com ou sem intervenção nas fachadas, apresenta melhorias no índice de isolamento entre o exterior e interior.

Em suma, conclui-se que a cortiça obtém os melhores resultados em termos de desempenho acústico, no entanto em termos térmicos a lã de rocha consegue obter as suas melhores qualidades. Determinou-se também que o aumento da espessura melhora as condições de isolamento do edifício.

Em termos gerais, a solução de reabilitação 2 apresenta os melhores resultados em termos de desempenho térmico e acústico.

4.4. Análise económica

Nesta secção é apresentada a análise económica da aplicação das soluções de reabilitação propostas e estudadas ao longo desta dissertação.

O estudo consiste na análise do custo de investimento inicial, do custo de energia ao longo do tempo e a poupança de cada medida acarreta.

4.4.1. Investimento inicial

Através do gerador de preços CYPE foi possível obter o investimento inicial e concluir que o preço mais elevado é os relativos à solução de reabilitação utilizando a cortiça, com valores que variam entre 231,0 €/m² até 292,3 €/m² pelas soluções construtivas a reabilitar, seguido da lã de rocha, com valores entre os 187,7 €/m² até 237,7 €/m², e por último encontra-se o EPS com os valores mais baixos, que não ultrapassam os 177,0 €/m² (Figura 51).

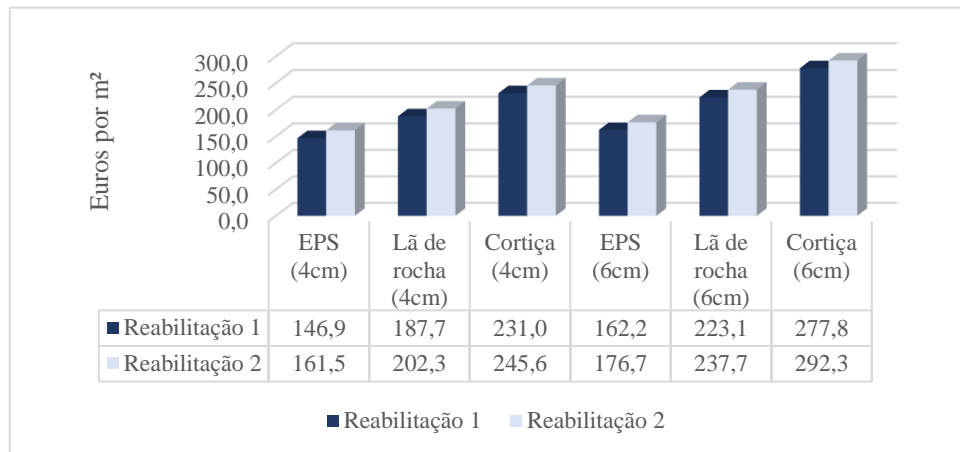


Figura 51 - Investimento inicial por m²

De modo a obter-se o preço do investimento total que a reabilitação engloba é necessário determinar as áreas totais dos elementos construtivos que sofrerão as devidas reabilitações (Tabela 30).

Tabela 30 - Áreas dos elementos construtivos a reabilitar.

Elemento construtivo	Áreas / m ²
Parede exterior	422,9
Cobertura	161,1
Pavimentos	828,1
Paredes entre frações	186,4

Na Figura 52 é possível o investimento inicial de cada solução de reabilitação. Onde se verifica o maior valor de investimento na solução de reabilitação utilizando cortiça, seguido da lã de rocha e por último o EPS

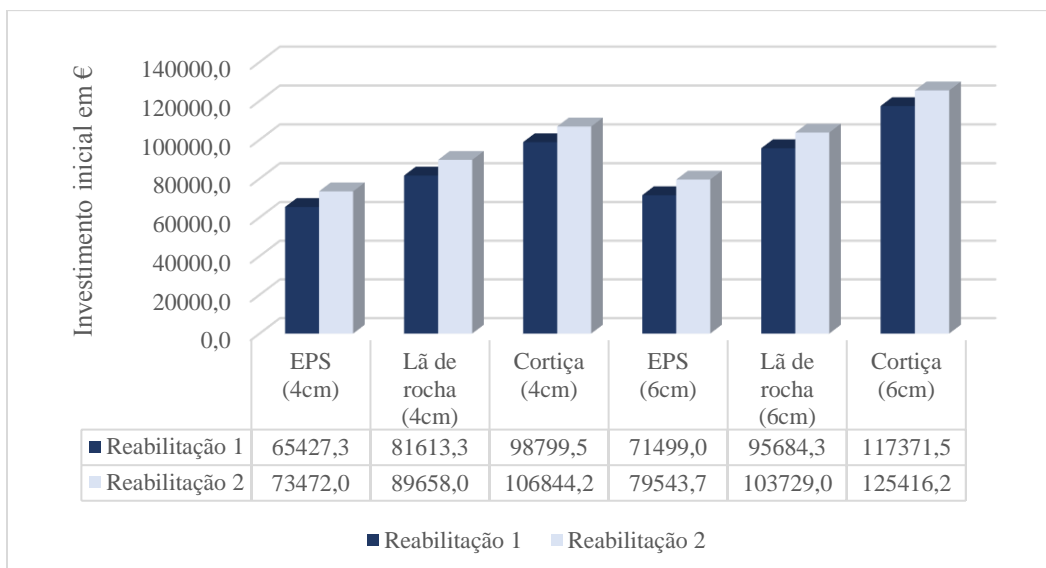


Figura 52 - Investimento inicial em euros

Na solução de reabilitação 3, tal como esperado, a introdução dos envidraçados encarece investimento inicial total. Devido ao número de envidraçados a reabilitar e o preço destes (Figura 53).

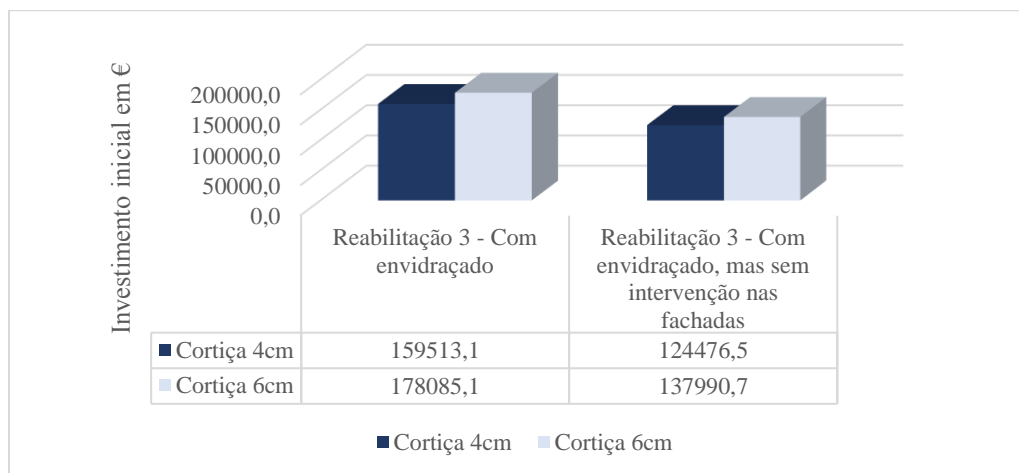


Figura 53 - Investimento inicial em euros da solução de reabilitação 3

Assim conclui-se que as soluções de reabilitação utilizando cortiça conduzem a um maior investimento inicial, em ambas as reabilitações e espessuras. Seguido da lã de rocha que obtém valores mais baixos, contudo ainda mais elevados que o EPS. Isto deve-se devido ao preço de cada material em m² em estudo.

Analisando os investimentos com a introdução do envidraçado constata-se um valor ainda mais elevado devido as características do envidraçado, das áreas destes e número de envidraçados.

Para se determinar qual a melhor solução em termos económicos procedeu-se a uma análise de custos de energia ao longo do tempo.

4.4.2. Custo da energia ao longo do tempo

Tendo em conta o preço médio de aquisição de energia elétrica para consumidores domésticos de 0,1596 €/kWh, para 2018, e as necessidades energéticas foi possível obter os consumos de energia para todas as soluções de reabilitação, admitindo um horizonte temporal de 30 anos de duração do edifício. Porém também serão apresentados os custos para 10 e 20 anos (Tabela 31).

Tabela 31 - Custos previstos da energia

	Necessidades energéticas kWh/ano	Custo de energia (€)				Poupança 30anos
		Ano 0	10 anos	20 anos	30anos	
Inicial	399798,3	63807,8	79759,8	95711,7	111663,7	
Solução de reabilitação 1						
EPS 4cm	324668,5	51817,1	64771,4	77725,6	90679,9	20983,7
Cortiça 4cm	324372,5	51769,9	64712,3	77654,8	90597,2	21066,4
Lã de rocha 4cm	323207,1	51583,9	64479,8	77375,8	90271,7	21391,9
EPS 6cm	310363,8	49534,1	61917,6	74301,1	86684,6	24979,0
Cortiça 6cm	309588,6	49410,3	61762,9	74115,5	86468,0	25195,5
Lã de rocha 6cm	308163,9	49183,0	61478,7	73774,4	86070,1	25593,4
Solução de reabilitação 2						
EPS 4cm	315842,6	50408,5	63010,6	75612,7	88214,8	23448,8
Cortiça 4cm	315054,3	50282,7	62853,3	75424,0	87994,6	23668,9
Lã de rocha 4cm	312857,0	49932,0	62415,0	74898,0	87380,9	24282,6
EPS 6cm	300608,2	47977,1	59971,3	71965,6	83959,8	27703,8
Cortiça 6cm	300901,5	48023,9	60029,9	72035,8	84041,7	27621,9
Lã de rocha 6cm	299015,9	47722,9	59653,7	71584,4	83515,1	28148,5
Solução de reabilitação 3 – com envidraçado						
Cortiça 4cm	303999,7	48518,4	60647,9	72777,5	84907,1	26756,5
Cortiça 6cm	283729,1	45283,2	56603,9	67924,7	79245,5	32418,1
Solução de reabilitação 3 – com envidraçado, mas sem intervenção nas fachadas						
Cortiça 4cm	317000,2	50593,2	63241,5	75889,8	88538,1	23125,5
Cortiça 6cm	318066,1	50763,4	63454,2	76145,0	88835,8	22827,7

Como era espectável o custo mais elevado obtém-se nas reabilitações na qual as necessidades são mais elevadas. A partir da Tabela 31 é possível observar que as poupanças energéticas, ao fim de 30 anos, se encontram acima dos 20 000 €.

Na Tabela 32 verifica-se que o custo acumulado ao fim de 30 anos é maior para as soluções de reabilitação utilizando o EPS, seguido da cortiça e com menor custos é a lã de rocha.

Consequentemente, a poupança total ao fim de 30 anos é maior para a lã de rocha, seguido da cortiça e por último o EPS.

A utilização do envidraçado acarreta custos acumulados mais baixos e assim uma maior poupança energética (Tabela 32).

Tabela 32 - Custos previstos de energia e poupança total

	Necessidades Energéticas kWh/ano	Custo de energia (€)		Custo acumulado ao fim de 30 anos	Poupança total ao fim dos 30 anos
		Ano 0	30anos		
Inicial	399798,3	63807,8	111663,7	2719807,6	
Solução de reabilitação 1					
EPS 4cm	324668,5	51817,1	90679,9	2208703,4	511104,2
Cortiça 4cm	324372,5	51769,9	90597,2	2206690,2	513117,5
Lã de rocha 4cm	323207,1	51583,9	90271,7	2198761,8	521045,8
EPS 6cm	310363,8	49534,1	86684,6	2111389,3	608418,3
Cortiça 6cm	309588,6	49410,3	86468,0	2106115,6	613692,0
Lã de rocha 6cm	308163,9	49183,0	86070,1	2096423,3	623384,3
Solução de reabilitação 2					
EPS 4cm	315842,6	50408,5	88214,8	2148661,6	571146,1
Cortiça 4cm	315054,3	50282,7	87994,6	2143298,8	576508,8
Lã de rocha 4cm	312857,0	49932,0	87380,9	2128350,7	591457,0
EPS 6cm	300608,2	47977,1	83959,8	2045022,5	674785,1
Cortiça 6cm	300901,5	48023,9	84041,7	2047018,0	672789,6
Lã de rocha 6cm	299015,9	47722,9	83515,1	2034190,0	685617,6
Solução de reabilitação 3 – com envidraçado					
Cortiça 4cm	303999,7	48518,4	84907,1	2068095,0	651712,6
Cortiça 6cm	283729,1	45283,2	79245,5	1930194,7	789612,9
Solução de reabilitação 3 – com envidraçado, mas sem intervenção nas fachadas					
Cortiça 4cm	317000,2	50593,2	88538,1	2156536,5	563271,1
Cortiça 6cm	318066,1	50763,4	88835,8	2163787,8	556019,8

Conclui-se assim que a lã de rocha apresenta os melhores resultados em termos de poupança energética. Colocando assim a cortiça como o segundo material com maior poupança e por último o EPS.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho realizado, no que diz respeito aos principais resultados obtidos. Adicionalmente, apresentam-se propostas para trabalhos futuros.

5.1. Conclusões

A presente dissertação teve como finalidade o estudo da utilização da cortiça como isolamento térmico e acústico de edifício multifamiliar, comparando com outros materiais de forma a perceber as qualidades da cortiça.

As soluções de reabilitação propostas foram centradas na envolvente exterior, na envolvente de interior com requisitos de exterior e na envolvente entre outras frações, parâmetros estes que condicionam ambos os desempenhos.

Foi efetuada uma análise ao edifício, considerando as suas características iniciais, e verificou-se que as necessidades energéticas são elevadas, cerca de 90% relativas às necessidades de aquecimento e os restantes 10% devido as para necessidades de arrefecimento.

Em termos de desempenho acústico o edifício não cumpre os valores estipulados pelo RRAE, consequentemente provocando um desconforto acústico aos habitantes.

Em modos gerais o edifício em estudo apresenta a necessidade de uma intervenção de forma a corrigir estas deficiências.

Na solução de reabilitação 1 verificou-se que a utilização da cortiça como material isolante implica uma redução maior das necessidades de arrefecimento, porém apresenta um aumento das necessidades de arrefecimento. Devido a este aumento a utilização da lã de rocha consegue

atingir melhores valores nas necessidades energéticas totais. Os resultados menos favoráveis encontram-se na utilização do EPS.

As mesmas conclusões retiram-se quando se trata do desempenho acústico, ou seja, a utilização da cortiça e da lã de rocha verificam o mesmo cumprimento dos requisitos estipulados.

Na solução de reabilitação 2, verificou-se um melhoramento do desempenho térmico e acústico, em comparação com a solução de reabilitação 1, pois a solução 2 foi pensada com o intuito de corrigir as deficiências. Assim constatou-se que em termos de desempenho térmico a utilização da lã de rocha apresenta as melhores condições, seguido da cortiça e do EPS.

Contudo os melhores resultados do desempenho acústico são atingidos com a utilização da cortiça, relativamente a sons de condução aérea. Pois a correção a sons de percussão foi conseguida através de uma membrana acústica.

Na análise da solução de reabilitação 3 verifica-se que a introdução de um envidraçado com melhor qualidade garante melhores condições em termos térmicos e acústicos, devido ao aumento da impermeabilidade da envolvente exterior.

Através da análise económica constata-se que a utilização da cortiça, nas soluções de reabilitação 1 e 2, apresenta um maior investimento inicial, seguido da lã de rocha e por último o EPS, visto que o preço do EPS por m² é o mais baixo.

Além disso observou-se que a poupança energética se atinge com a utilização da lã de rocha, seguido da cortiça e novamente em último o EPS.

A implementação de um envidraçado de melhor qualidade apresenta um investimento inicial mais elevado, contudo a poupança energética é mais elevada.

Num modo geral, verifica-se que a utilização da cortiça como isolamento acústico apresenta os melhores resultados, porém em termos de isolamento térmico a lã de rocha apresenta melhores características.

Em termos económicos, a utilização da cortiça como isolamento apresenta um investimento inicial mais elevado, devido ao seu preço por m² ser superior aos restantes. Já em relação ao custo de energia ao longo do tempo não apresenta as melhores condições.

A cortiça como isolamento pode não apresentar as melhores condições em termos de desempenho térmico e económico, mas apresenta as melhores condições para o desempenho acústico.

A utilização da cortiça como isolamento no setor da construção, apesar de não garantir as melhores condições de desempenho térmico em comparação com a lã de rocha, torna-se viável pois consegue melhorar o desempenho térmico e acústico do edifício.

Para além disso, a cortiça apresenta qualidades em termos ambientais, pois é um material natural e 100% reciclável, ao contrário dos outros materiais. E para além disso a cortiça apresenta uma vida útil prolongada, garantindo as suas qualidades.

Quando se pretende efetuar uma reabilitação num edifício multifamiliar é necessário ter em conta a envolvente exterior, envolvente interior (envolvente entre frações diferentes) e a envolvente interior com requisitos de exterior, ou seja, a envolvente entre zonas não úteis. São fatores que afetam tanto o conforto térmico como o conforto acústico de cada fração e assim o edifício global.

Relativamente aos materiais, antes de se proceder a essa escolha é necessário efetuar uma análise de forma a perceber realmente as qualidades de cada um, pois pode não apresentar melhores qualidades numa área, mas ser o melhor noutra. Sendo assim a escolha tem que ser efetuada de uma forma estudada e pensada.

A reabilitação não se aplica da mesma forma para todos os edifícios, pois cada caso é um caso. Assim o estudo de cada edifício é extremamente necessário de forma a perceber os pontos fortes e fracos de cada um, de forma a intervir da melhor forma, com os melhores materiais e de acordo com os proprietários.

5.2. Trabalhos Futuros

Considerando um aperfeiçoamento e continuidade deste trabalho, apresentam-se propostas de trabalhos futuros, nomeadamente:

- Analisar outras soluções de reabilitação da cortiça como isolamento térmico e acústico;
- Fazer uma comparação com outros caso de estudo;

- Analisar a utilização da cortiça na reabilitação, tendo em vista a eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INE, LNEC - O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução 2001-2011. Lisboa: Instituto Nacional de Estatísticas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2013. ISBN 987-989-0246-5.
- [2] Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro. “Aprova o Regulamento das Características e Comportamento Térmico dos Edifícios” – do Ministério das Obras Públicas, Transporte e Comunicações. Diário da República: I Série.
- [3] Decreto-Lei n.º 251/87 de 24 de junho. “Aprova o Regulamento Geral sobre o Ruído” – do Ministério do Plano e da Administração do Território. Diário da República: I Série.
- [4] Portal da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). [Dezembro 2017] Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/>
- [5] DGEG – Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Lisboa: Direção Geral de Energia e Geologia, 2004. ISBN 972-8268-33-5.
- [6] GIL, Luís – A cortiça como material de construção – Manual técnico. Associação Portuguesa de Cortiça. Santa Maria de Lamas.
- [7] APPLETON, João – Reabilitação de edifícios: princípios e práticas. Ordem dos Engenheiros, 2014.
- [8] BRANCO, Pedro – Habitação em Portugal: Evolução e tendências. Lisboa: INE, LNEC, 2013.
- [9] SILVA, Sandra – A Sustentabilidade e o conforto das construções. Guimarães, setembro de 2009. Dissertação de Doutoramento.
- [10] Atanasiu, B. et al. Alleviating fuel poverty in the EU. Investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution. Brussels: Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2014.

- [11] Pobreza energética. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/pobreza-energetica-cada-vez-mais-perto-das-nossas-casas>
- [12] SUMMER CONFERENCE IN WARSAW, EUROCONSTRUCT, 79th, Warsaw, 2015 – Press Release. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.euroconstruct.org/>
- [13] VILHENA, António - Reabilitação habitacional e o setor da construção civil. Lisboa: INE e LNEC, 2013.
- [14] 80TH EUROCONSTRUCT CONFERENCE, Budapest, 2015 – Press Release. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.euroconstruct.org/>
- [15] 84th EUROCONSTRUCT CONFERENCE, Munich, 2017 – Press Release. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.euroconstruct.org/>
- [16] República Portuguesa – Fundo Nacional de Reabilitação do Edificado. Lisboa, 2016. [Dezembro 2017]. Disponível em: <https://www.portugal.gov.pt>
- [17] Portal do Fundo Jessica. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.fundojessicaportugal.org/>
- [18] IHRU – Apoios e incentivos à Reabilitação Urbana. Lisboa. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.portaldahabitacao.pt>
- [19] Portal da habitação, Fundos financeiros. [Dezembro 2017]. Disponível em: <https://www.portaldahabitacao.pt>
- [20] DELOITTE. Reabilitação Urbana – Benefícios Fiscais. Janeiro 2016. [Dezembro 2017]. Disponível em: http://www.portaldahabitacao.pt/opencms/export/sites/portugal/pt/portugal/publicacoes/documentos/APPII_Deloitte-Guia-dos-Beneficios-Fiscais-a-Reabilitacao-Urbana.pdf
- [21] Redação – BEI dá 300 milhões a Portugal para reabilitação urbana. Idealista/news. (14-09-2017). [Janeiro 2018]. Disponível em: <https://www.idealista.pt/news/imobiliario/construcao/2017/09/13/34365-bei-da-300-milhoes-a-portugal-para-reabilitacao-urbana>

- [22] BRANCO, Pedro João - Método de avaliação das necessidades de reabilitação. Desenvolvimento e aplicação experimental. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011.
- [23] 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 criteria, 2005.
- [24] ALMEIDA, Manuela; SILVA, Sandra – Física das Construções – Conforto Térmico. Universidade do Minho.
- [25] Portaria nº 176/2016 de 23 de Junho. Diário da República n.º 119/2016 – I Série. Finanças, Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Saúde. Lisboa.
- [26] PIMENTA, Paulo – Só um em cada cem portugueses diz ter casa termicamente confortável. Público. (18-12-2017). [Janeiro 2018]. Disponível em: <https://www.publico.pt/2017/12/18/sociedade/noticia/so-um-em-cada-cem-portugueses-diz-ter-casa-termicamente-confortavel-1796469>
- [27] SILVA, Sandra – Física das Construções – Conforto Térmico. Universidade do Minho.
- [28] ALMEIDA, Manuela; SILVA, Sandra – Física das Construções – Fundamentos de Acústica Ambiental e de Edifícios. Universidade do Minho.
- [29] Anónimo – Quase 1 em cada 4 portugueses sofre com barulho da vizinhança. Jornal de Notícias. (02-01-2018). [Janeiro 2018]. Disponível em: <https://www.jn.pt/nacional/interior/quase-1-em-cada-4-portugueses-sofre-com-barulho-da-vizinhanca-9019814.html>
- [30] Decreto-Lei n.º 960/2008, de 9 de junho – “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios” – do Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do território e do desenvolvimento regional. Diário da República: I Série, nº 110.
- [31] RAMOS, Ana – Guia termos de referência de isolamento acústico na reabilitação de edifícios. Porto, outubro de 2014. Dissertação de Mestrado.
- [32] ANJOS, Miguel António Remechido – Caracterização do conforto acústico em edifícios de habitação. Lisboa, setembro de 2014. Dissertação de Mestrado.

- [33] Corticeira Amorim. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.amorim.com/>
- [34] BATISTA, Fábio – O uso da cortiça na construção sustentável. Porto, janeiro de 2017. Dissertação de Mestrado.
- [35] Portal da Associação Portuguesa da Cortiça. [Dezembro 2017]. Disponível em: <http://www.apcor.pt>
- [36] APCOR - Guia de normalização – Cortiça CT-16. Associação Portuguesa da Cortiça, 2016.
- [37] Portal do Comité Europeu de Normalização (CEN). [Janeiro 2018]. Disponível em: <https://www.cen.eu/Pages/default.aspx>
- [38] APCOR – Information BUREAU|2016 - Cortiça em números.
- [39] FELISMINO, Elisabete – Cortiça vive melhor ano de sempre. ECO – Economia Online. (12-02-2017). [Janeiro 2018]. Disponível em: <https://eco.pt/2017/02/12/cortica-vive-melhor-ano-de-sempre/>

ANEXO

ANEXO I – INQUÉRITOS E ANÁLISE

Inquérito

Este inquérito está inserido na dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, da Universidade do Minho. A dissertação com o título “Reabilitação térmica e acústica de um edifício da década de 1980 utilizando cortiça”, tem como objetivo a escolha da melhor solução de reabilitação e apresentar regras de boas práticas para a utilização da cortiça na reabilitação térmica e acústica nos edifícios multifamiliares da década de 1980, situados na região de Braga.

Este inquérito visa conhecer as condições do edifício, identificando as anomalias existentes nos diversos apartamentos e tipo de reparações efetuadas nos mesmos.

O preenchimento deste demora cerca de 10-15 minutos e as respostas são anónimas e serão utilizadas apenas para fins estatísticos.

Apartamento: _____

1- Quais são as anomalias mais comuns no seu apartamento?

Manchas de humidade		Ruído	
	No teto		Instalações
	No pavimento		Caixa de escadas
	Caixilharias e vidros		Arrastar de cadeiras
	Casas de banho		Falar, televisão
	Outro: Qual?		Tráfego
			Outro: Qual?
Falta de isolamento térmico e acústico		Qualidade do ar	
	Janelas		Cozinha
	Paredes		Sala de estar
	Cobertura		Quartos
	Pavimentos		Casas de banho
Qualidade do ar: Tipo de cheiros		Qualidade do ar	
	Mofo		Húmido
	Pó		Seco
			Abafado
Desconforto térmico		Desconforto acústico	
	Cozinha		Cozinha
	Sala de estar		Sala de estar
	Quartos		Quartos
	Casas de banho		Casas de banho
Desconforto lumínico (luminoso)		Fissuras	
	Cozinha		Paredes
	Sala de estar		Teto

	Quartos		Pavimento
	Casas de banho		
Outra:		Outra:	

2- Já efetuou reparações no apartamento?

Sim

Não

		X	Sentiu melhorias (sim/não?)	As reparações deveram-se as anomalias existentes? Quais?
Pintura				
	Nos quartos			
	Cozinha			
	Sala de estar			
	Casas de banho			
Mudança de caixilharia e/ou vidro				
Se sim, qual o tipo?	Nos quartos			
_____	Cozinha			
_____	Sala de estar			
_____	Casas de banho			
Mudança de persiana e/ou caixa de estore				
Se sim, qual o tipo?	Nos quartos			
_____	Cozinha			
_____	Sala de estar			
_____	Casas de banho			
Pavimento				
Se sim, qual o tipo?	Nos quartos			
_____	Cozinha			
_____	Sala de estar			
_____	Casas de banho			
Teto falso				
	Nos quartos			
	Cozinha			
	Sala de estar			
	Casas de banho			
Mudança das instalações				
	<u>Cozinha</u>			
	Abastecimento			
	Drenagem de águas residuais			
	<u>Casas de banho</u>			
	Abastecimento			
	Drenagem de águas residuais			
Outra:				

Outra:				

3- Que tipo de reparações estava disposto a executar no seu apartamento (instalação de teto falso, pavimento resiliente, substituição de caixilharia, instalação de coletores solares térmicos...)?

Observações: _____

Muito obrigada pela colaboração

Catarina Gonçalves

O inquérito anterior tinha como objetivo a recolha de informação relativa as oito habitações do edifício, contudo só foi possível efetuar o mesmo em cinco.

Para a questão “Quais são as anomalias mais comuns no seu apartamento?” verificou-se queixas mais frequentes é relativas ao ruído, seguido do desconforto térmico e a falta de isolamento térmico e acústico (Figura A.I. 1). Em relação a questão do ruído o maior valor de respostas sim verificou-se no ruído de tráfego, seguido dos sons de condução área devido ao falar e televisão e com o mesmo valor encontram-se as restantes opções. Relativamente ao desconforto térmico todas as zonas, praticamente com o mesmo valor, são indicadas como anomalia

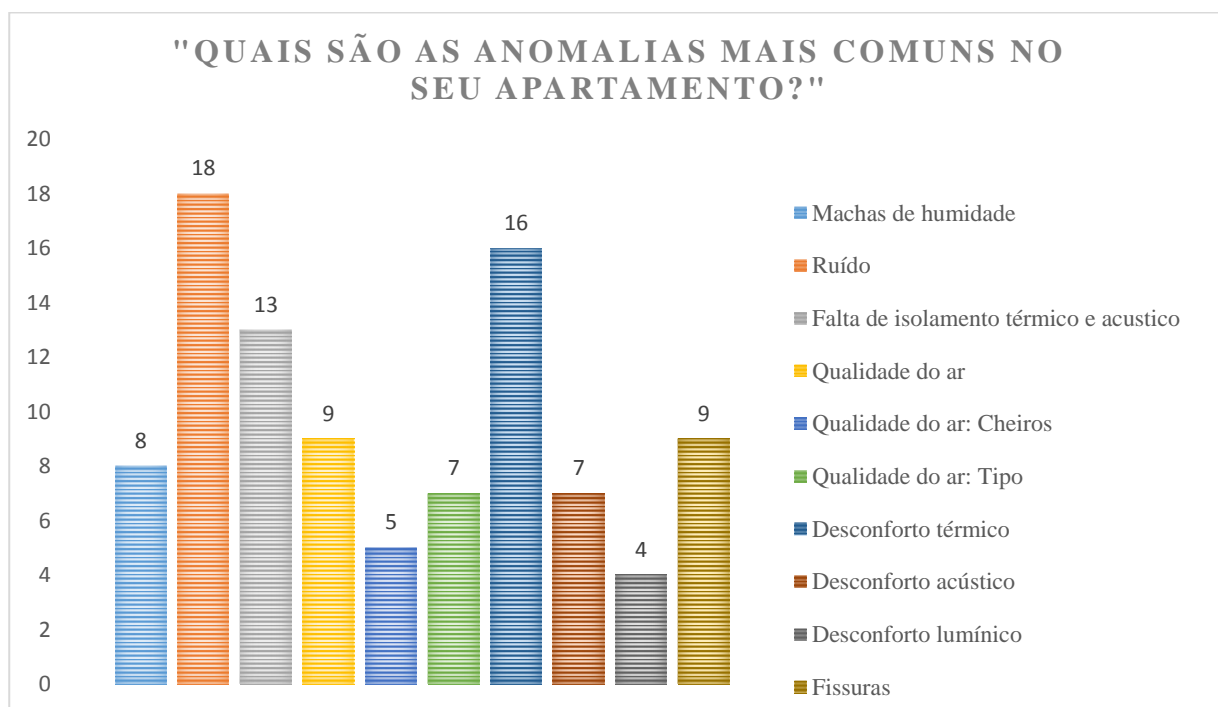


Figura A.I. 1 - Resultados da primeira questão do inquérito

Relativamente a segunda pergunta “ Já efetuou reparações?” verificou-se que o maior número de reparações realizadas foram pintura seguido da mudança de persiana e/ou caixa de estore (Figura A.I. 2)

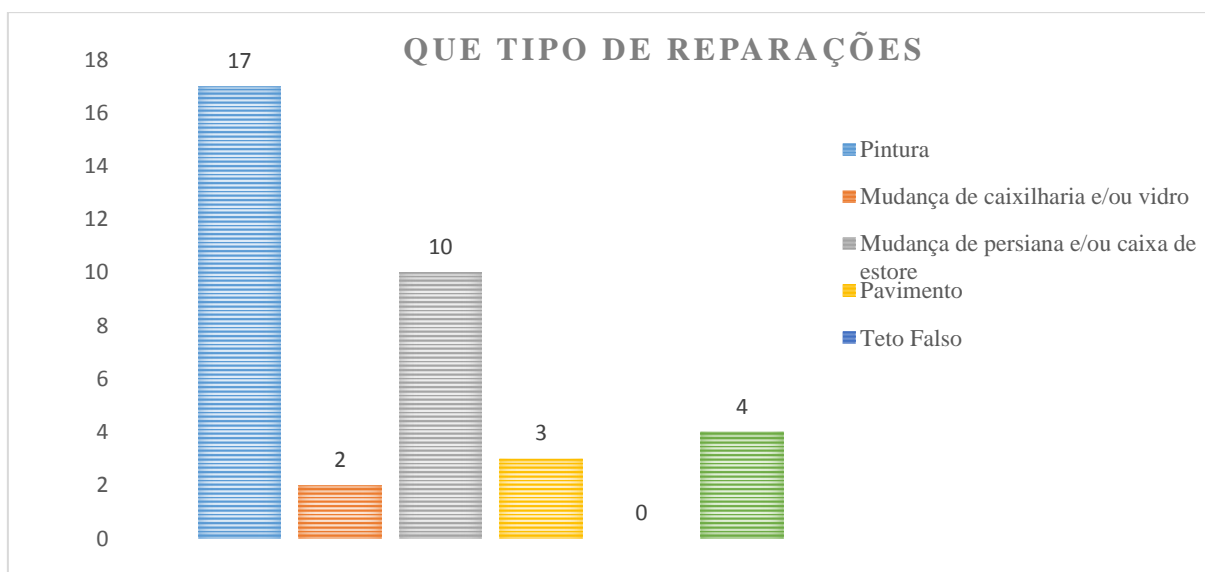


Figura A.I. 2 - Resultados da segunda questão do inquérito

Na questão seguinte “Sentiu melhorias?” conclui-se que as reparações efetuadas resultaram em melhorias para a habitação. Por último as repostas a questão “As reparações deveram-se as anomalias existentes?” contatou-se que maior parte das reparações foram efetuados devido à existência de anomalias (Figura A.I. 3).

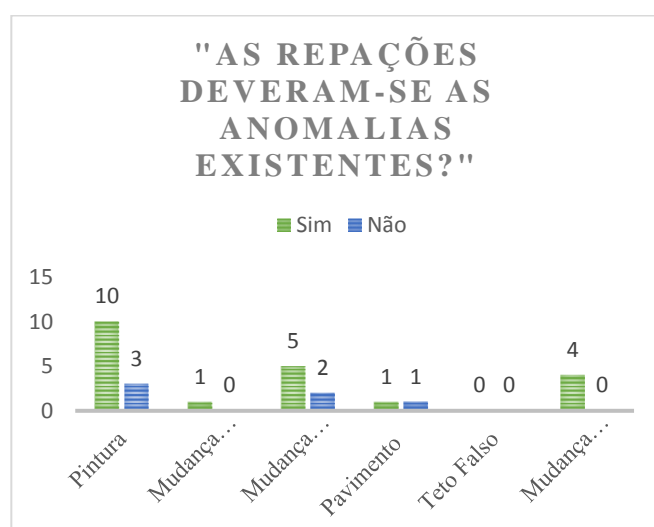
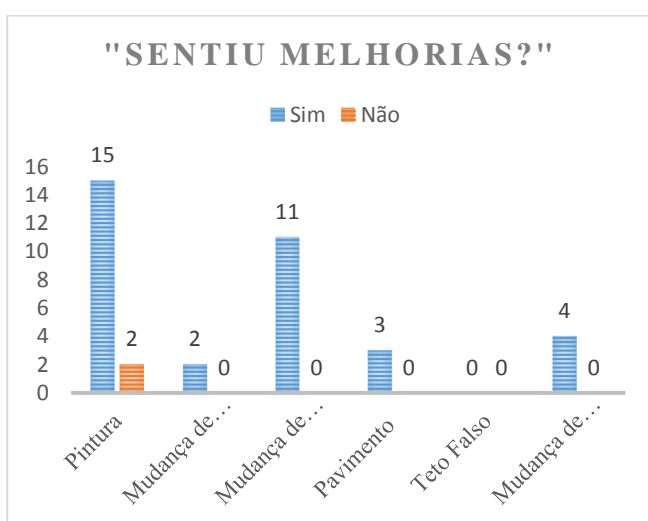


Figura A.I. 3 - Resultados complementares a segunda questão do inquérito

ANEXO II - LEI DA MASSA

Meisser, através de uma análise experimental admitiu que para uma frequência de 500 Hz e para uma massa de 100 kg/m² o índice de redução sonora é de 40 dB. Já Mateus e Tadeu, desviando-se ligeiramente dos valores de Meisser, diferenciaram o cálculo em função da massa do elemento construtivo, ou seja, para massas inferiores a 200 kg/m² deve ser utilizada a Equação 1 e para massas superiores é utilizada a Equação 2.

$$R_{(500\text{ Hz})} = 13.3 \log(m) + 13.4 \text{ dB} \rightarrow m < 200 \text{ kg/m}^2 \quad (1)$$

$$R_{(500\text{ Hz})} = 14.3 \log(m) + 11.1 \text{ dB} \rightarrow m \geq 200 \text{ kg/m}^2 \quad (2)$$

Obtendo assim o índice de redução sonora para 500 Hz é possível a determinação da curva por frequências, do mesmo modo que Meisser considerou para uma massa de 100 kg/m² (Tabela A.II. 1).

Tabela A.II. 1 - Valores a considerar na curva para uma massa de 100 kg/m². (Adaptado: [27])

	Parede simples		Parede Dupla		Parede tripla
125 Hz		32 dB		28 dB	20 Db
250 Hz	- 4 dB↑	36 dB	- 6 dB↑	34 dB	- 10 dB↑ 30 dB
500 Hz		40 dB		40 dB	40 dB
1000 Hz	+ 4 dB↓	44 dB	+ 6 dB↓	46 dB	+ 10 dB↓ 50 dB
2000 Hz		48 dB		52 dB	60 dB

Para elementos duplos a lei experimental da massa não traduz muito rigor devido ao número de fatores que afeta o índice de redução sonoro, por isso para esses elementos é necessário ter em conta a espessura da caixa-de-ar, a existência de materiais absorventes e a existência de panos muitos diferentes. Adicionando-se assim ao índice de redução sonoro para 500 Hz uma diferença que tem em conta os fatores anteriores (Equação 3 e Equação 4).

$$R_{(500\text{ Hz})} = 13.3 \log(m) + 13.4 \text{ dB} + Dif \rightarrow m < 200 \text{ kg/m}^2 \quad (3)$$

$$R_{(500\text{ Hz})} = 14.3 \log(m) + 11.1 \text{ dB} + Dif \rightarrow m \geq 200 \text{ kg/m}^2 \quad (4)$$

Essa diferença (Dif) é determinada através do auxílio da Tabela A.II. 2.

Tabela A.II. 2 - Valores de acréscimo do isolamento pela existência de caixas-de-ar → Dif
(Adaptado: [27])

Panos desligados não muito diferentes	
Características da caixa-de-ar	
Caixa-de-ar de ar com 1 cm e panos de massas dif	2 dB
Caixa-de-ar de ar de 2 a 4cm	3 a 4 dB
Caixa-de-ar de ar de 5 a 10cm	5 dB
A – Sub-total (acréscimo devido à existência de caixa-de-ar)	
Material absorvente na caixa-de-ar	
1 cm de material absorvente	1 dB
2 a 4 cm de material absorvente	2 dB
5 a 10 cm de material absorvente	3 a 4 dB
B – Sub-total (devido à existência de material absorvente na caixa-de-ar)	
Correção pelo facto dos panos serem muito diferentes (como paredes mistas, tijolo + placas de gesso cartonado, ou pavimento com teto falso)	1 a 4 dB
A+B=1 a 4	2 dB
A+B=5 a 6	3 dB
A+B=7 a 9	4 dB
C – Sub-total (devido ao facto dos panos serem muito diferentes)	
	Dif (dB)
Dif = (A+B+C)	

Posteriormente a este cálculo e à marcação da curva inicial é necessário efetuar as devidas correções, sendo elas referentes as quebras nas frequências críticas nos elementos simples e duplos, as quebras provocadas pelos modos de vibração por flexão transversal do painel, pelas frequências de ressonância do conjunto painéis/caixa-de-ar e pelas frequências de ressonância da(s) caixa(s)-de-ar.

Correções

a) Pelos modos próprios de vibração por flexão transversal do painel

Estes modos de vibração provam uma quebra de isolamento sonoro, por isso é necessário efetuar correções, que se aplicam aos sistemas de construção leve. Em elementos com uma área significativa e com espessuras maiores as frequências são muito baixas e não afetam expressivamente o isolamento acústico.

Para os elementos leves são considerados os primeiros modos de vibração, pois são estes que influenciam significativamente o isolamento acústico. Sendo eles os representados na Figura A.II. 1.

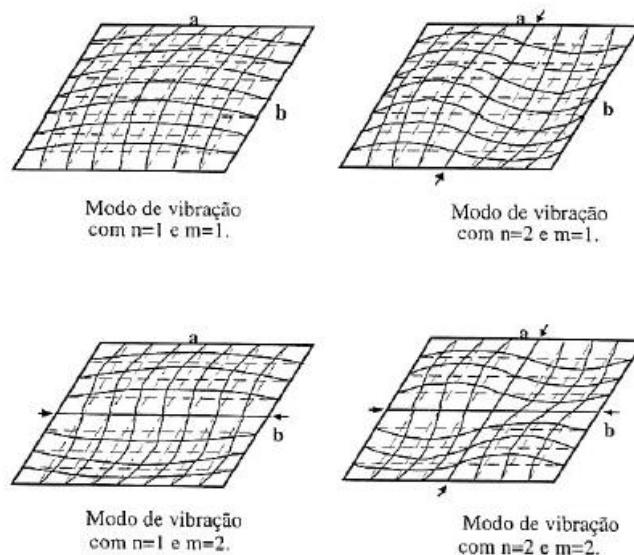


Figura A.II. 1 -Modos próprios de vibração transversal por flexão com influência no isolamento acústico [27]

Para a determinação da frequência é utilizada a Equação 5 e Equação 6.

$$f_{nm} = \frac{\pi}{2} * \left(\frac{n^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (5)$$

Onde,

a,b – Comprimento e largura da placa;

n,m – Número de modos de vibração;

ρ – Massa por unidade de volume do material que constitui a placa (Kg/m^3);

h – Espessura da placa;

D – Rigidez da placa (N.m);

$$D = \frac{h^3 * E}{12 * (1 - \nu^2)} \quad (6)$$

E – Módulo de Young/elasticidade (N/m^2);

ν – Coeficiente de Poisson.

b) Por efeito de coincidência

O aspeto a calcular nesta correção é a frequência crítica, que é a frequência mais baixa a que ocorre o efeito de coincidência, que se obtém através da Equação 7.

$$f_c = \frac{\text{Frequência Crítica para uma espessura de 1 cm de material}}{\text{Espessura do material em cm}} \quad (7)$$

Os valores da frequência crítica para uma espessura de 1 cm de material podem ser obtidos através da Tabela A.II. 3, também pode ser retirado os valores relativos as quebras de isolamento por efeito de coincidência (dB).

Tabela A.II. 3 - Frequências críticas e quebra de isolamento por efeito de coincidência de diversos materiais para paredes de 1 cm de espessura (Adaptado: [27])

Material	Massa volúmica (Kg/m ²)	Quebra de isolamento por efeito de coincidência (dB)	Frequência crítica (Hz) para uma espessura de 1 cm
Aço	7800	10	1000
Aglomerado de fibras de madeira/cimento	1350	8	6000
Alumínio	2700	10	1300
Betão de inertes correntes	2300	8	1800
Betão de escórias	1400	8	2000
Blocos de betão magro	1000	8	2100
Betão de argila expandida	1500	5-6	1900
Borracha	1000	4	85000
Gesso	1000	7	4000
Chumbo	10600	5	8000
Cortiça	250	4	18000
Madeira	600	6	6000 a 18000
Poliestireno expandido	14	5	14000
Tijolo furado	1427	9	2000
Tijolo maciço	2000 a 2500	9	2500 a 5000
Vidro	2500	10	1200

Se o material desejado não se encontra na tabela acima a frequência crítica pode ser determinada através da Equação 8 ou da Equação 9, mais simplificada.

$$f_c = \frac{c^2}{1.8138 * h} * \sqrt{\frac{\rho(1 - v^2)}{E}} \quad (8)$$

$$f_c = \frac{c^2}{1.8 * h} * \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad (9)$$

Onde:

- c – Velocidade do som (m/s);
- h – Espessura do elemento (m);
- ρ – Densidade do material (Kg/m²);
- E – Módulo de elasticidade (N/m²);
- ν – Coeficiente de Poisson.

Se a frequência crítica se encontrar na zona das frequências médias, zona de sensibilidade auditiva, a queda do isolamento é bastante acentuada.

c) Frequência de ressonância do conjunto

A ressonância ocorre quando existe uma excitação na caixa-de-ar e é criada uma grande acumulação de energia vibratória que implica o aumento da amplitude da vibração geral.

Sendo a frequência de ressonância a frequência onde a vibração é máxima. Só deve ser considerada quando se encontrar entre os 100 Hz e 3150 Hz, intervalo de frequências audíveis.

Para panos duplos a sua determinação efetua-se através da Equação 10.

$$f_{ress} = \frac{c}{2\pi} * \sqrt{\frac{\rho}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (10)$$

Onde:

- c – Velocidade de propagação do som em m/s (340 m/s);
- m_i – Massa superficial do painel i (Kg/m²);
- ρ – Massa volúmica do ar ao nível do mar em Kg/m³ ($\rho_{ar}=1.22$ Kg/m³);
- d – Espessura da lâmina de ar em m (caixa-de-ar).

Com um campo sonoro difuso e uma velocidade de propagação de 1.4 vezes a velocidade do som a frequência de ressonância é determinada através da Equação 11.

$$f_{ress} = 84 * \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (11)$$

Nas paredes duplas de alvenaria convencionais a sua frequência de ressonância é desprezada, pois encontra-se fora da zona audível.

d) Quebra nas lâminas de ar das divisórias múltipla

Para além das quebras de ressonância do conjunto, para elementos duplos e triplos, é necessário considerar as quebras referentes à ocorrência de ressonâncias de cavidade, ou seja, devido às reflexões múltiplas no interior da caixa-de-ar. Sendo assim é necessário efetuar o cálculo relativo à frequência de ressonância de caixa-de-ar, que se determina através da Equação 12.

$$f_1 = \frac{c}{2d}, f_2 = 2 \frac{c}{2d}, \dots, f_n = n \frac{c}{2d} \quad (12)$$

Onde:

c – Velocidade de propagação do som no ar ao nível do mar (340 m/s);

d – Espessura da caixa-de-ar (m);

n – Número natural (que pode tomar valores de 1,2,3, ..., n).

Verifica-se uma maior quebra na primeira frequência que diminui ao longos das seguintes frequências. A utilização de isolamento nas caixas-de-ar permite melhorar as ocorrências das frequências de ressonância, então a amplitude variar dependendo da existência de isolamento na caixa-de-ar.

Traçado da curva de estimativa de Isolamento Sonoro

Elementos simples (Paredes, envidraçados e lajes)

É utilizado o método misto para a determinação do índice de redução sonora, de um elemento simples, sendo traçada uma curva tendo em consideração a massa da parede, a sua rigidez e as perdas internas. Procedendo-se então da seguinte forma:

- 1) Determinar o índice de atenuação sonora dado pela lei experimental da massa a 500 Hz e marcá-lo no gráfico;
- 2) Traçar a reta de declive de 4dB/oitava correspondente à lei da frequência;
- 3) Determinar e representar as perdas internas do material na respetiva frequência crítica;
- 4) A partir do ponto correspondente ao isolamento na frequência crítica é traçada uma curva de isolamento de 10dB/oitava, do ponto de cruzamento desta com a curva da lei experimental é traçado um novo troço, de 6dB/oitava de inclinação.
- 5) A partir dos 100 Hz, ou ligeiramente acima das primeiras frequências de ressonância, caso estas se localizem próximo ou acima dos 100 Hz, traça-se o primeiro troço com uma inclinação de 6dB/oitava.

A marcação das quebras das frequências críticas e de ressonância são sempre marcadas a partir da curva da lei experimental da frequência (4 dB/oitava). Sendo representada, tendo em conta todos os parâmetros anteriormente referido, como demonstra a Figura A.II. 2.

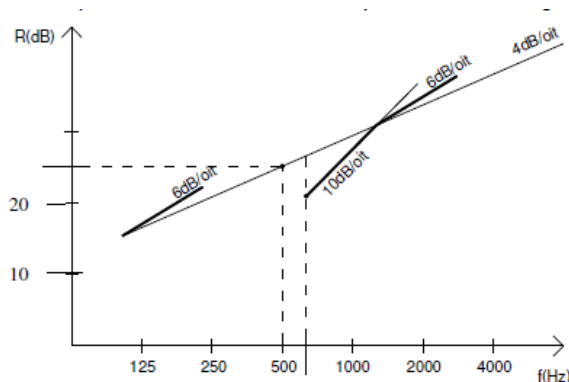


Figura A.II. 2 - Marcação do índice de redução sonora dado pela lei experimental da massa [27]

Elementos Duplos (Paredes, envidraçados e lajes)

Para elementos duplos a estimativa da curva do índice de redução sonora efetua-se da seguinte forma:

- 1) Determinar o índice de atenuação sonora dado pela lei experimental da massa (500 Hz);
- 2) Adicionar o acréscimo referente à existência de caixa-de-ar (Dif), que depende da sua espessura, da existência de material absorvente no seu interior e dos tipos de panos utilizados;
- 3) Traçar a reta de declive de 6dB/oitava correspondente à lei teórica da frequência;
- 4) Efetuar a correção relativa aos modos de vibração, caso os elementos das paredes, dos envidraçados ou lajes forem de espessura reduzida, se se encontrar apoiado nos quatro lados;
- 5) Determinação da frequência de ressonância do conjunto (massa/caixa-de-ar) e marcar a respetiva quebra na curva de estimativa, se se encontrar dentro da zona de frequências audíveis. Senão serão desprezadas;
- 6) Determinar e representar as frequências críticas e as respetivas perdas de isolamento características para cada material;
- 7) Determinar e representar as frequências de ressonância da caixa-de-ar e as perdas correspondentes para cada material;
- 8) Traçar a curva do índice de redução sonora, a partir das quebras da frequência crítica, da frequência de ressonância do conjunto e da caixa-de-ar. Traçando uma reta de isolamento de 10dB/oitava até encontrar a curva da lei experimental da frequência. A partir destes pontos de cruzamento é traçado um novo troço de 8dB/oitava de inclinação.
- 9) A partir dos 100 Hz ou a partir das frequências de ressonância, caso elas se encontrem próximas ou acima dos 100 Hz, traça-se o primeiro troço com 8dB/oitava.

A marcação das quebras das frequências críticas e de ressonância são sempre marcadas a partir da curva da lei experimental da frequência (6 dB/oitava). Sendo representada, tendo em conta todos os parâmetros anteriormente referido, como demonstra a Figura A.II. 3.

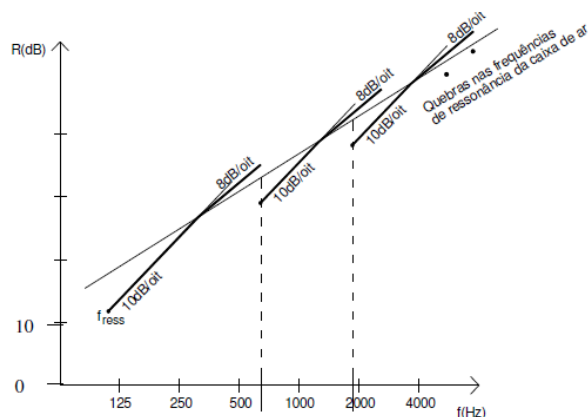


Figura A.II. 3 - - Marcação do índice de redução sonora dado pela lei experimental da massa para elementos duplos [27]

Ajustamento da curva de acordo com a curva de referência

Para este ajustamento é necessário obter a curva de referência, que se determina através do auxílio da Tabela A.II. 4.

Tabela A.II. 4 - Descrição da curva de referência para o isolamento a sons de condução aérea, em banda de 1/3 de oitava e 1/1 de oitava (Adaptado: [27])

Frequência (Hz)	Valores de referência	
	1/3 de oitava	1/1 de oitava
100	R	
125	R+3	R
160	R+6	
200	R+9	
250	R+12	R+9
315	R+15	
400	R+18	
500	R+19	R+13
630	R+20	
800	R+21	
1000	R+22	R+16
1250	R+23	
1600	R+23	
2000	R+23	R+17
2500	R+23	
3150	R+23	

Para isso começa-se por arbitrar um valor inteiro ao índice de redução sonora para uma frequência de 100 Hz, assim consegue-se contruir a curva de referência e calcular os desvios desfavoráveis em relação à curva real calculada. Que se determina quando o valor do índice de redução sonora da curva real for inferior à curva de referência, efetuando-se a diferença entre os índices de redução e assim obtemos os desvios desfavoráveis.

Para dar por terminado o ajuste da curva o somatório dos desvios tem que ser inferior a 32 dB para as frequências de 1/3 de oitava e inferior a 10 dB para as frequências de 1/1 de oitava.