



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

# **Soluções Técnicas para a Reabilitação Térmica de Edifícios Incorporando Cortiça**

(Versão final após defesa pública)

**Carlos Filipe Ferreira de Oliveira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em:

**Engenharia Civil**

(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha

**Covilhã, junho de 2017**



**À minha família**



# Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com a colaboração indispensável de várias pessoas, às quais não posso deixar de manifestar o meu sincero agradecimento:

Ao Professor Doutor João Carlos Lanzinha, orientador científico desta dissertação, manifesto, o meu agradecimento pela orientação e troca de ideias, bem como a disponibilidade sempre demonstrada.

À minha família, pelo apoio incondicional e por todo o esforço praticado para que a minha formação académica fosse possível.

Ao meu colega e amigo João Amaral pelas trocas de impressões vanguardistas, pela motivação e ajuda indispensável na criação da aplicação móvel “Pocket Engineer”, contribuição essencial para implementação das minhas ideias.

Aos meus colegas e amigos Kateryna Prokina, João Durão e Tiago Carqueijó por todo o apoio prestado e motivação dada.

A todos os colegas e amigos, que foram companhia, apoio e amizade durante esta trajetória.



# Resumo

Atualmente presenciamos um mundo tecnológico, inovador, em que a cada dia nos são apresentadas novas descobertas e formas simplificadas de resolver as nossas necessidades de conforto. Esta evolução tem contrapartidas uma vez que a dependência energética tem aumentado de forma progressiva, contribuindo assim para um elevado consumo de energias não renováveis que tanto contribuem para a escassez de recursos e para as alterações climáticas. No dia-a-dia passamos grande parte do nosso tempo dentro dos edifícios, seja para habitar ou para trabalhar, exigindo padrões de conforto que economicamente serão a seu tempo inabastáveis, uma vez que para garantir esta comodidade recorreremos a elevados consumos de energia, tendo como consequência o aumento dos preços deste serviço. Portugal apresenta um parque habitacional envelhecido, sendo os edifícios responsáveis por 40% do consumo total de energia. Este elevado consumo é em parte, provocado pelo facto dos edifícios apresentarem um comportamento dissipativo, devido à não utilização de eficientes soluções de isolamento térmico.

Com a realização desta dissertação pretende-se informar/consciencializar os diferentes participantes na atividade de construção e utilização dos edifícios, a tomarem medidas que melhorem o conforto ou que o mantenham sem que para isso acartem elevados custos. Tendo como base o REH são apresentadas propostas de melhoria do isolamento térmico para as principais tipologias da envolvente dos edifícios portugueses com a aplicação de aglomerado negro de cortiça, material de excelência, abundante no nosso país, que tanto promove a sustentabilidade. Para facilitar a implantação prática das propostas de melhoria foi criado um catálogo de soluções com a possibilidade de integração numa aplicação móvel denominada “*Pocket Engineer*” de fácil utilização. Em função da zona climática em que se localiza a habitação, esta fornecerá informação sobre a espessura de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça para fachadas, pavimentos e coberturas, necessária para melhorar o nível de qualidade com a finalidade de conservar o calor no interior dos edifícios, melhorando assim o conforto térmico e reduzindo as necessidades e custos de energia associados a equipamentos de climatização. Pretende-se contribuir para a reabilitação dos edifícios portugueses melhorando o conforto exigido, reduzindo os consumos energéticos e consequentemente os níveis de poluição atmosférica, levando Portugal a cumprir as metas de redução da emissão de gases com efeito de estufa, promovendo a sustentabilidade.

## Palavras-chave

Sustentabilidade; Energia; Reabilitação; Isolamento térmico; Cortiça



# Abstract

Nowadays we live in a technological, emerged and innovation world, where every day new discoveries and simple forms of solving our comfort needs are presented. This evolution has counterparts, since energy dependence has been growing in a progressive way, causing elevated consumption of no renewable energies that contributes to lack of resources and the climate changes. In the present, we spend the most part of our time in the buildings, either way for living or for working, demanding comfort standards that economically will be unsupportable. In order to provide convenience, high energy consumption is required and in consequence, the prices of the services will grow. Portugal represents an aged housing stock where buildings are responsible for 40% of total energy consumption. This high consumption is due to the fact that buildings has a dissipative behaviour, since solutions of thermal insulation are not efficiently applied, what makes users to use climatisation systems.

This dissertation pretends to inform/rise awareness of different participants on the construction sector and building exploration in order to take a new approach to improve comfort or maintain it but in low cost. Based on “*Regulamento Energético de Edifícios de Habitação*”, there are presented solutions for thermal insulation for the main types of Portuguese building envelopes with application of black agglomerated cork, which’s an excellent material and also abundant in our country, that promotes sustainability. In order to make easier the practice of improvement solutions, it was created a catalogue with possibility of integration in the mobile application “*Pocket Enginner*” that is simple to use. Depending on the climatic zone where the building is located, it will provide information about thickness of black agglomerated cork in thermal insulation for the building facades, pavement and roof, which is necessary to improve the level of quality in order to preserve the internal heat of buildings, in that way providing a thermal comfort and reducing the cost os energy associated to use of heating and air conditioning equipment. It is intended to contribute for rehabilitation of Portuguese buildings in order to improve demanded comfort, reduce energy consumption and atmospheric pollution levels in order to take Portugal to accomplish the reducing of greenhouse gases emissions, promoting sustainability.

## Keywords:

Sustainability; Energy; Rehabilitation; Thermal insulation; Cork



# Índice

<b>Capítulo 1 - Introdução</b>	1
1.1 Enquadramento do tema	3
1.2 Objetivos da dissertação	5
1.3 Estrutura e organização do trabalho	6
<b>Capítulo 2 - Sustentabilidade e Ambiente Construído</b>	7
2.1 Desenvolvimento sustentável	9
2.1.1 Definição do conceito	9
2.1.2 Alterações climáticas	10
2.1.3 Sustentabilidade em Portugal	11
2.2 Edifícios e sustentabilidade	15
2.2.1 Princípios de sustentabilidade para edifícios de habitação	17
2.3 Regulamentação em Portugal	19
2.4 Conclusão do capítulo	22
<b>Capítulo 3 - A Cortiça como Material de Construção</b>	23
3.1 Introdução, breve história	25
3.2 Localização do montado	26
3.2.1 Montado do sobro e a sua importância na sustentabilidade	29
3.3 Descrição da cortiça	30
3.4 Estrutura e composição da cortiça	31
3.4.1 Estrutura macroscópica da cortiça	31
3.4.2 Estrutura microscópica da cortiça	33
3.4.3 Composição química da cortiça	35
3.5 Produção da cortiça	37
3.5.1 Produção suberícola	37
3.5.2 Indústria corticeira	38
3.5.3 Comercialização	41
3.6 Aglomerados de cortiça para isolamento dos elementos opacos verticais e horizontais	43
3.7 Conclusão do capítulo	44
<b>Capítulo 4 - Reabilitação Térmica de Edifícios de Habitação</b>	45
4.1 Caracterização do parque edificado	47
4.1.1 Idade do parque edificado	47
4.1.2 Estado de conservação	48
4.1.3 Principais necessidades de reparação	49
4.1.4 Incentivos à reabilitação dos edifícios	49
4.2 Envolvente dos edifícios existentes	51
4.2.1 Medidas de reabilitação térmica	52

4.2.2 Evolução das técnicas construtivas	52
4.3 Conclusão do capítulo	57
<b>Capítulo 5 - Metodologia de Cálculo</b>	<b>59</b>
5.1 Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Habitação - REH	61
5.1.1 Zonamento Climático	61
5.1.2 Estação de aquecimento/Zonamento de Inverno	64
5.1.3 Estação de arrefecimento/Zonamento de Verão	66
5.2 Parâmetros dos elementos opacos	69
5.2.1 Fachadas	71
5.2.2 Pavimentos	73
5.2.3 Coberturas	75
5.3 Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência	76
5.3.1 Envolvente Exterior	76
5.3.2 Pontes térmicas planas	76
5.3.3 Fator solar máximos admissíveis de vãos envidraçados	78
5.4 Níveis de qualidade	78
5.4.1 Considerações iniciais	78
5.4.2 Parâmetros necessários para obtenção dos níveis de qualidade	80
5.5 Catálogo de Soluções Técnicas para a Reabilitação de Edifícios Incorporando Cortiça	83
5.5.1 Zonamentos climáticos	84
5.5.2 Paredes simples exteriores	85
5.5.3 Paredes duplas exteriores	90
5.5.4 Pavimentos	96
5.5.5 Coberturas	104
5.6 Modelo da aplicação móvel “ <i>Pocket Engineer</i> ”	112
5.7 Conclusão do capítulo	113
<b>Capítulo 6 - Conclusões</b>	<b>115</b>
6.1 Conclusões principais	117
6.2 Propostas de trabalhos futuros	118
Referências Bibliográficas	119

# Lista de Figuras

Figura 2.1 - Consequências das alterações climáticas [5] .....	10
Figura 2.2 - Evolução do consumo de energia final em Portugal em Mtep [7] .....	12
Figura 2.3 - Consumo de energia primária por fonte energética [8] .....	13
Figura 2.4 - Dependência energética na EU-28 no ano de 2014 [7] .....	13
Figura 2.5 - Evolução das emissões nacionais de gases com efeito de estufa [8] .....	14
Figura 2.6 - Emissões sectoriais de CO <sub>2</sub> , em Portugal, em 2014 [8] .....	14
Figura 2.7 - Consumo interno de matérias - total e principais componentes [8].....	15
Figura 2.8 - Evolução do consumo de energia final em Portugal nos diferentes setores de atividade em Mtep [7] .....	16
Figura 2.9 - Evolução das Políticas Energéticas em Portugal .....	20
Figura 3.1 - História da Cortiça .....	25
Figura 3.2 - Imagem representativa do sobreiro [16] .....	27
Figura 3.3 - Localização do montado [17] .....	27
Figura 3.4 - Evolução das Exportações portuguesas de cortiça [18] .....	28
Figura 3.5 - Exportação da cortiça por tipo de produtos em valor .....	28
Figura 3.6 - Cortiça .....	30
Figura 3.7 - Estrutura macroscópica da cortiça: A - Entrecasco após descortiçamento; B - 30 dias depois; C - No fim de Outono; D - 9 anos depois [23] .....	32
Figura 3.8 - Três principais direções da cortiça [26] .....	33
Figura 3.9 - Representação celular da cortiça: A - Corte radial; B - Corte tangencial [26] ....	34
Figura 3.10 - Dimensão de uma célula de cortiça [26] .....	35
Figura 3.11 - Composição química da cortiça segundo os seguintes autores [27] .....	35
Figura 3.12 - Produção da cortiça. ....	37
Figura 3.13 - Descortiçamento [28].....	37
Figura 3.14 - Cozedura em caldeiras de água fervente [29] .....	38
Figura 3.15 - Classes de aglomerados: A - Aglomerado negro; B - Aglomerado Branco; C - Aglomerado composto .....	39
Figura 3.16 - Autoclave, produção de aglomerado negro.....	40
Figura 3.17 - Aplicações do aglomerado negro de cortiça.....	44
Figura 4.1 - Variação média anual do número de Edifícios clássicos e de Alojamentos - Portugal (2001-2015) [33] .....	48
Figura 4.2 - Decomposição da envolvente [38] .....	51
Figura 4.3 - Evolução das fachadas portuguesas ao longo dos anos [39] .....	53
Figura 4.4 - Aplicação da cortiça como isolamento de fachadas pelo exterior [20] .....	55
Figura 4.5 - Evolução das coberturas ao longo dos anos [44] .....	57
Figura 5.1 - Zonas climáticas de Inverno e Verão segundo o REH [46] .....	62
Figura 5.2 - Software para Políticas Públicas LNEG [47] .....	64

Figura 5.3 - Fluxos de calor e resistências térmicas superficiais dos pavimentos.....	74
Figura 5.4 - Tipologia sem correção de pontes térmicas .....	77
Figura 5.5 - Correção de pontes térmicas com isolamento pelo exterior .....	77
Figura 5.6 - Correção de pontes térmicas com isolamento pelo interior .....	77

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Consumo de energia elétrica: total e por tipo de consumo [10] .....	16
Tabela 3.1 - Comparação das emissões de CO <sub>2</sub> de alguns materiais.....	30
Tabela 3.2 - Composição química da cortiça virgem e amadia [23] .....	36
Tabela 4.1 - Número de edifícios existentes, por época de construção, de acordo com os Censos 2011 [32] .....	47
Tabela 4.2 - Estado de conservação dos edifícios existentes em Portugal em função das necessidades de reparação, por época de construção [32] .....	48
Tabela 4.3 - Elementos da envolvente dos edifícios existentes que requerem maiores necessidades de intervenção, por época de construção [32] .....	49
Tabela 4.4 - Vantagens e desvantagens do isolamento pelo exterior de elementos opacos verticais [43].....	55
Tabela 4.5 - Vantagens e desvantagens do isolamento pelo interior de elementos opacos verticais [43].....	55
Tabela 5.1 - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos [46] .....	63
Tabela 5.2 - Influência da altitude sobre o zonamento climático de inverno nas Região Autónomas (Madeira e Açores) [48] .....	65
Tabela 5.3 - Dados climáticos de inverno de acordo com o número de graus-dias [46] .....	65
Tabela 5.4 - Parâmetros climáticos referentes à estação de aquecimento [46] .....	65
Tabela 5.5 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [46] .....	66
Tabela 5.6 - Influencia da altitude no zonamento de Verão em Portugal Continental e nas regiões autónomas [48] .....	67
Tabela 5.7 - Critérios para a determinação da zona climática de verão [46].....	67
Tabela 5.8 - Parâmetros climáticos referentes à estação de aquecimento [46] .....	67
Tabela 5.9 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento [46] .....	68
Tabela 5.10 - Valores das resistências térmicas superficiais, Rse e Rsi [46] .....	70
Tabela 5.11 - Propriedade térmicas dos materiais construtivos [40].....	71
Tabela 5.12 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples exteriores .....	72
Tabela 5.13 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes duplas exteriores .....	73
Tabela 5.14 -Coeficientes de transmissão térmica de pavimentos [W/(m <sup>2</sup> .°C)].....	74
Tabela 5.15 - Coeficientes de transmissão térmica de coberturas [W/(m <sup>2</sup> .°C)].....	75
Tabela 5.16 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos opacos Umáx [W/(m <sup>2</sup> .°C)] [49] .....	76
Tabela 5.17 - Coeficientes de transmissão térmica de referência URef , referentes a Portugal Continental [W/(m <sup>2</sup> .°C)] [49] .....	76

Tabela 5.18 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos das pontes térmicas Umáx [W/(m <sup>2</sup> .°C)] [49] .....	77
Tabela 5.19 - Fatores solares máximos admissíveis de vão envidraçados, gT máx [49].....	78
Tabela 5.20 - Classificação dos níveis de qualidade.....	79
Tabela 5.21 - Valores de U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] em função dos níveis de qualidade .....	83
Tabela 5.22 - Parede simples de betão armado (PE 1.1) .....	85
Tabela 5.23 - Parede simples de bloco de betão normal (PE 1.2) .....	86
Tabela 5.24 - Parede simples de pedra (PE 1.3) .....	87
Tabela 5.25 - Parede simples de taipa ou adobe (PE 1.4).....	88
Tabela 5.26 - Parede simples de tijolo furado (PE 1.5).....	89
Tabela 5.27 - Parede dupla de betão armado + bloco de betão normal (PE 2.1) .....	90
Tabela 5.28 - Parede dupla de betão armado + tijolo furado (PE 2.2).....	91
Tabela 5.29 - Parede dupla de bloco de betão normal (PE 2.3).....	92
Tabela 5.30 - Parede dupla de pedra + bloco de betão normal (PE 2.4) .....	93
Tabela 5.31 - Parede dupla de pedra + tijolo furado (PE 2.5).....	94
Tabela 5.32 - Parede dupla de tijolo furado (PE 2.6) .....	95
Tabela 5.33 - Pavimento de madeira.....	96
Tabela 5.34 - Pavimento com laje de betão armado.....	97
Tabela 5.35 - Pavimento com laje aligeirada - cerâmica.....	98
Tabela 5.36 - Pavimento de madeira.....	99
Tabela 5.37 - Pavimento de betão armado. ....	100
Tabela 5.38 - Pavimento com laje aligeirada - cerâmica.....	101
Tabela 5.39 - Pavimento com laje de betão armado.....	102
Tabela 5.40 - Pavimento com laje aligeirada - cerâmica. ....	103
Tabela 5.41 - Cobertura inclinada de madeira. ....	104
Tabela 5.42 - Cobertura inclinada com laje de betão armado. ....	105
Tabela 5.43 - Cobertura inclinada com laje aligeirada - cerâmica. ....	106
Tabela 5.44 - Cobertura inclinada de madeira. ....	107
Tabela 5.45 - Cobertura inclinada com laje de betão armado. ....	108
Tabela 5.46 - Cobertura inclinada com laje aligeirada - cerâmica. ....	109
Tabela 5.47 - Cobertura plana com laje de betão armado.....	110
Tabela 5.48 - Cobertura plana com laje aligeirada - cerâmica. ....	111

# Lista de Símbolos e Acrónimos

<b>Símbolo</b>	<b>Designação</b>	<b>Unidade</b>
R	Resistência térmica (valor de cálculo)	(m <sup>2</sup> .°C)/W
Rse	Resistência térmica superficial exterior	(m <sup>2</sup> .°C)/W
Rsi	Resistência térmica superficial interior	(m <sup>2</sup> .°C)/W
U	Coeficiente de transmissão térmica	W/(m <sup>2</sup> .°C)

<b>Abreviatura</b>	<b>Denominação</b>
APCOR	Associação Portuguesa da Cortiça
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AR5	Quinto Relatório de Avaliação
CENSOS	Recenseamento Geral da População e Habitação
CIB	Conseil International du Bâtiment International
CIM	Consumo Interno de Matérias
DLs	Decretos-leis
EPDB	Energy Performance in Buildings Directive
EU	União Europeia
FER	Fonte de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NRC	National Research Council
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
N-ZEB	Nearly Zero Energy Buildings
ONU	Organização das Nações Unidas
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
REA	Relatório do Estado do Ambiente
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento Energético de Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema Certificação Energética dos Edifícios
UNEP	United Nations Environmental Organization
WMO	World Meteorological Organization

WWF

World Wide Fund for Nature

# Capítulo 1 - Introdução

# Capítulo 1 - Introdução

- 1.1. Enquadramento do tema
- 1.2. Objetivos da dissertação
- 1.3. Estrutura e organização do trabalho

# Capítulo 1- Introdução

## 1.1 Enquadramento do tema

Atualmente assistimos a uma constante alteração das características naturais da Terra, e isto, muito por culpa da ação desgovernada pela obtenção de recursos não naturais por parte do Homem. É certo que anos desta constante falta de bom senso e real noção dos malefícios e exageros produzidos pela exploração faminta e gradual acarretaram em constantes modificações e manifestações no planeta Terra. As constantes variações climáticas refletidas pelo aumento da temperatura média da superfície da Terra, em que é previsto um aumento entre 1,8°C a 4°C até ao ano de 2100, constituem uma ameaça ambiental, social e económica para o bem da humanidade. Estas variações são em grande parte provocadas pelo uso inconsciente e desmedido de energias não renováveis, que consequentemente levam ao aumento da emissão de gases de efeito de estufa, como o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Como consequência do aumento da temperatura, a extensão de gelo polar dos oceanos Ártico e Antártico alcançou a sua menor extensão desde que os satélites começaram a transmitir dados (em 1979), perdendo o equivalente a uma área maior do que o México. Segundo a Agência Espacial Norte-Americana (NASA), o gelo polar totaliza atualmente 16,21 milhões de quilómetros quadrados, menos dois quilómetros quadrados do que a extensão mínima de gelo registada em média, para os dois oceanos, no período de 1981-2010 [1].

Em 2015, a temperatura média anual do ar em Portugal Continental teve como máxima 21,9°C e mínima de 10,1°C, excedendo os valores normais em +1,4°C e +0,1°C respetivamente. Estes valores corresponderam ao segundo valor mais elevado desde 1931 e o mais elevado desde 1998. No ano análogo, o consumo de energia primária foi 22 060 quilotoneladas de petróleo (ktep), (20 921 ktep em 2014), levando a um aumento de 5,4% face ao ano anterior. Esta situação deveu-se ao decréscimo da produção de eletricidade pelas centrais hidroelétricas, devido a 2015 ter sido excessivamente seco (o mais seco desde 1931), levando a uma procura de energia primária propagada principalmente pelo aumento do consumo do carvão (+21,5%) e de gás natural (+17,5%) [2].

Na época atual, enquanto sociedade mais capaz, com acesso descomplicado à informação e formação exigida, detemos uma noção cada vez maior do nosso impacto sobre o meio ambiente. É urgente modificar comportamentos e atitudes apelando a práticas em maior harmonia e equilíbrio com o meio ambiente para resguardar a qualidade de vida de gerações presentes e futuras. Importa apostar em técnicas que sejam capazes de ir ao encontro das nossas exigências promovendo ao mesmo tempo a sustentabilidade e evolução. A mais recente contribuição aconteceu com a evolução no ramo automóvel, através da criação de automóveis 100% elétricos, permitindo grandes autonomias de circulação e podendo em certos modelos atingir velocidades de um superdesportivo. Sem dúvida uma forma de revolucionar toda a

produção automóvel que ano após ano aumenta o seu número de vendas, contribuindo para o aumento de GEE.

A energia, em todas as formas, é indispensável para o crescimento económico e social da população, o que leva inevitavelmente a elevadas necessidades energéticas. Para combater estas necessidades é preciso caminhar para uma sociedade cada vez mais ambientalmente sustentável, com consciência do que significa o conceito de eficiência energética e consequentemente a preservação do meio ambiente, contribuindo ativamente para a racionalização de energia, optando para isso por tecnologia sustentável. Esta consciencialização do impacto sobre o ambiente e dependência de recursos esgotáveis está presente nos regulamentos e protocolos criados por Portugal e restantes países da União Europeia, contudo ainda há um longo caminho a percorrer, principalmente na falta de divulgação.

O primeiro passo no combate às alterações climáticas foi dado com a implementação do Protocolo de Quioto, onde foram definidos limites para as emissões dos principais Gases de Efeito de Estufa (GEE). Com este protocolo foi criado um conjunto de diretivas entre as quais se define que, o mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão ser altamente eficientes e ter um balanço energético próximo de zero, denominados “*Nearly Zero Energy Buildings*” (NZEB), sendo em 2018 os edifícios públicos pioneiros nesta medida [3]. Com isto, pretende-se que os edifícios caminhem para um mundo cada vez mais sustentável, onde sejam capazes de produzir grande parte da energia que consomem através de práticas inovadoras “amigas do ambiente”. Sem dúvida é dado um grande “passo” na construção de habitações sustentáveis.

Contudo, Portugal apresenta um parque edificado envelhecido, em que anteriormente a 1990, aquando do surgimento do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), a envolvente (paredes, pavimentos e coberturas) não apresentava qualquer solução de isolamento térmico, levando a que estes edifícios com mais de 30 anos precisem de elevados consumos de energia para garantir o conforto exigido, recorrendo para isso à utilização de equipamentos de climatização. Com isto, a reabilitação térmica destes edifícios é de total interesse, onde a promoção de melhores condições de habitabilidade e consequentemente contribuição para um mundo mais sustentável, constitui uma prioridade de intervenção. A redução do consumo de energia e utilização de energia proveniente de fontes renováveis constituem no setor da construção medidas importantes que permitirão à União cumprir o protocolo de Quioto e atingir as suas metas a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2°C, bem como o seu compromisso da estratégia 20-20-20, ou seja, reduzir as emissões de GEE em 20%; Obter 20% da energia a partir de fontes renováveis e aumentar em 20% a eficiência energética.

Atualmente o regulamento em vigor em Portugal é o Regulamento Energético de Edifícios de Habitação (REH). Sendo maior o consumo energético no edificado durante a fase de utilização o REH inclui medidas de eficiência energética no projeto, ao nível da envolvente, compartimentação, materiais, aproveitamento de energia solar e das condições ambientais exteriores. Estes fatores têm como objetivo contribuir para uma redução drástica dos consumos energéticos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, levando assim a uma redução dos custos energéticos e consequente melhoria do ambiente.

Para que esta redução de custos se confirme focou-se principal atenção no isolamento térmico de fachadas, pavimentos e coberturas, uma vez que é por estes meios que ocorre maior dissipação de energia. Tendo como base as boas práticas do REH promove-se o isolamento térmico com aplicação de aglomerado negro de cortiça, material 100% natural, reciclável, sendo a sua produção natural, uma vez que é utilizado o pó da trituração como “combustível” no processo de fabrico. Com o aglomerado negro de cortiça expandida estamos perante um material que contribui para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que se origina a partir de uma espécie vegetal que ao realizar a fotossíntese fixa o carbono atmosférico nos seus constituintes (retendo em média 14 milhões de toneladas por ano). Este material é também isolante térmico, acústico e anti vibratório em simultâneo, que suporta temperaturas entre -180°C e +120°C, não atacável por roedores, permeável ao vapor de água, etc.

Apresenta-se nesta dissertação a proposta de um catálogo complementado com uma aplicação móvel, de soluções técnicas para a reabilitação térmica de edifícios incorporando cortiça, sendo estudadas espessuras ótimas de cortiça de forma a garantir níveis de qualidade térmica, aumentando os padrões de conforto para as três diferentes zonas climáticas de inverno (I1,I2,I3) e três zonas climáticas de verão (V1,V2,V3). Para fundamentar a proposta constituiu de importante interesse saber os principais materiais constituintes da envolvente dos edifícios portugueses e suas condutividades térmicas correspondentes, avaliando o seu nível de qualidade através do coeficiente de transmissão térmica (U) para posteriormente se proceder ao seu melhoramento com a aplicação de aglomerado negro de cortiça.

## **1.2 Objetivos da dissertação**

Face ao enquadramento descrito anteriormente a presente dissertação tem como principal objetivo a promoção do conforto térmico dos edifícios existentes. Numa interligação entre sustentabilidade, reabilitação térmica e evolução tecnológica, pretende-se consciencializar as entidades responsáveis para a prática de metodologias que vão ao encontro das exigências populacionais aliando a cortiça como material natural e sustentável.

Para concretizar objetivo definido criou-se um catálogo de soluções com incorporação de aglomerado negro de cortiça para o isolamento térmico da envolvente dos edifícios por forma a reduzir as perdas térmicas, melhorando assim o conforto no interior das habitações sem que

para isso seja necessário grandes intervenções e gastos energéticos, contribuindo assim para uma construção sustentável.

Por fim o catálogo foi transposto para uma aplicação móvel com o objetivo principal da globalização ao acesso da informação, promovendo e consciencializando assim a necessidade do setor da Engenharia Civil se adaptar à mudança e acompanhamento tecnológico.

### **1.3 Estrutura e organização do trabalho**

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos, incluindo o presente, onde está retratado todo o trabalho realizado.

No capítulo 2, Sustentabilidade e ambiente construído, começa-se por definir este conceito cada vez mais presente nos nossos dias, caracterizando a importância da sustentabilidade como solução para a atenuação das alterações climáticas. Apresentam-se programas e relatórios desenvolvidos que reforçam a mudança de atitudes, adotando medidas sustentáveis em várias entidades, focando a atenção no setor da construção.

No capítulo 3, A cortiça como material de construção, pretende-se mostrar as características deste material de excelência que tanto promove a sustentabilidade e a economia do nosso país, implementando a sua importância e benefícios na aplicação como isolamento térmico e acústicos nas habitações portuguesas.

No capítulo 4, Reabilitação térmica dos edifícios de habitação, caracteriza-se a situação atual do parque edificado português, reforçando a importância da reabilitação térmica da envolvente, promovendo o isolamento das fachadas, pavimentos e coberturas.

No Capítulo 5, Metodologia e catálogo de soluções, apresenta-se todos os parâmetros necessários para proceder ao cálculo das melhorias térmicas com a incorporação da cortiça como isolamento. Na parte final do capítulo propõe-se um catálogo de soluções para as principais disposições da envolvente de forma a servir de apoio a pessoas e entidades competentes na melhoria térmica dos principais elementos construtivos existentes. De forma a facilitar o acesso a esta informação e acompanhando a evolução tecnológica apresenta-se a aplicação móvel “*Pocket Engineer*” e sua metodologia.

No capítulo 6, Conclusões, resumem-se as principais conclusões relativas à realização da dissertação e sugestões/ideias para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## **Capítulo 2 - Sustentabilidade e Ambiente Construído**

## **Capítulo 2 - Sustentabilidade e Ambiente Construído**

- 2.1 Desenvolvimento sustentável
- 2.2 Edifícios e sustentabilidade
- 2.3 Regulamentação em Portugal
- 2.4 Conclusão do capítulo

## Capítulo 2 - Sustentabilidade e Ambiente Construído

### 2.1 Desenvolvimento sustentável

Nos últimos anos, aliado a um desenvolvimento tecnológico exponencial de acesso à informação, o conceito de desenvolvimento sustentável e alterações climáticas é um dos assuntos que mais suscitam preocupação. No entanto, não temos tendência de considerar que a ideia de desenvolvimento sustentável é apenas de caráter científico. De fato, pode-se dizer que esta ideia não pode ser argumentada cientificamente como a ciência que apela para os fatos e práticas, embora investigação da estratégia de Desenvolvimento Sustentável e tentativas de argumentação da mesma já existam.

No presente capítulo descreve-se sucintamente o surgimento do “Desenvolvimento Sustentável”, a evolução legislativa das políticas energéticas a nível europeu e a nível nacional. Refere-se a importância na mudança de velhos hábitos, consciencializando a população quanto ao consumo de recursos não renováveis e seus malefícios no meio ambiente, servindo de enquadramento a todo o tema “*Soluções Técnicas para a Reabilitação Térmica de Edifícios de Habitação incorporando Cortiça*”.

#### 2.1.1 Definição do conceito

*“É um desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” [4].*

O conceito “*desenvolvimento sustentável*” surgiu oficialmente, pela primeira vez no Relatório de Brundtland, intitulado “*Nosso Futuro Comum*”, em 1987, significando desenvolvimento que preserva os recursos para as gerações futuras, respeitando as necessidades das gerações presentes. Este conceito surge com a consciencialização de que os recursos naturais disponíveis têm limite e que os danos causados ao ambiente natural podem ser irreversíveis. Ainda no relatório “*Estratégia mundial de conservação*”, de 1980 foi sublinhado que para que o desenvolvimento seja sustentável, é necessário fatores sociais e ecológicos, e não apenas económicos.

Embora o mundo global se tenha tornado cada vez mais unido, é ainda limitado pelo mundo terrestre de interações socio-naturais que influenciam e até determinam todos os outros processos no nosso planeta. As limitações mais óbvias, para além das territoriais, são o esgotamento dos recursos naturais, ameaça ecológica global, entre outros.

A passagem pelo desenvolvimento sustentável tem caráter global, e em perspetiva futura, exige necessidade de gestão planetária no processo desta transição. Isto significa, que a globalização

iniciada deverá receber novo impulso e orientação estratégica, a partir do ainda modelo virtual de desenvolvimento sustentável, tornando-se num projeto sócio projetado e manejável de movimento evolutivo da humanidade com um só.

Hoje em dia a humanidade tem noção de que a base do desenvolvimento sustentável é a preservação da biosfera, o retorno da natureza à sua essência, como fundação de sobrevivência e imparável desenvolvimento da humanidade.

### 2.1.2 Alterações climáticas

As alterações climáticas são a maior ameaça mundial do século XXI, tendo consequências nas mais variadas áreas da sociedade: económica, social e ambiental. Estas alterações ocorrem, maioritariamente, devido ao efeito de estufa causado pela emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Em 2013, a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional apresentou um relatório mostrando que o planeta atingiu a maior concentração de CO<sub>2</sub> da história. O dióxido de carbono e outros gases são produzidos devido ao uso ou queima de combustíveis fósseis (carbono, petróleo e gás) para a produção de energia. A concentração destes gases permite a passagem da luz solar e retêm a radiação nas proximidades da superfície terrestre, provocando o aquecimento do planeta. O aumento dos níveis dos oceanos (devido ao degelo dos calotes polares), ondas de calor, desertificação e perda de biodiversidade são algumas das consequências do aquecimento global, Figura 2.1.



Figura 2.1 - Consequências das alterações climáticas [5]

Nas últimas décadas do século XX, a preocupação com o aquecimento global foi aumentando. A monitorização e o estudo do clima tornaram-se prioritários, dando origem a numerosos comités. Assim, em 1986, foi criada a Comissão Estadual do Congresso dos EUA sobre o clima (US National Research Council, NRC), em 1988, sob os auspícios da WMO e o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), a ONU cria um comité intergovernamental sobre as alterações climáticas. Os relatórios científicos, IPCC, de 1990, 1996, 2001, são os documentos mais fundamentais e amplamente citados, onde foram resumidos todos os dados essenciais sobre alterações climáticas e consequências sociais destas alterações. O último relatório apresentado pelo IPCC, o AR5, é dividido em 3 partes [6]. Na primeira parte descreve-se a natureza física das alterações climáticas no passado, presente e futuro, a observação da influência de atividades antropogénicas e modelos preditivos, prognóstico para o futuro próximo e distante.

O impacto das alterações climáticas, a avaliação da sensibilidade da natureza e do ser humano às alterações climáticas e a avaliação dos riscos e possíveis medidas de adaptação (ecológicas e socioeconómicas) foram os assuntos abordados na segunda parte do relatório. A terceira e a última parte do relatório, é dedicada à mitigação das alterações do clima, possibilidade de esforço colaborativo dos diferentes países para a realização de um vasto conjunto de medidas efetivas e coordenadas para redução de emissões antropogénicas, o estudo detalhado de tendências observadas de emissões de GEE e prognóstico para o futuro.

No quinto relatório (AR5) foi apresentada uma sequência de provas, observadas nos últimos 50 anos, de que o aquecimento global é de fato uma consequência da atividade antropogénica. Pressupõe-se que a temperatura global irá subir 1,4° - 5,8°C no séc. XXI. Atualmente, desde o início do século XX a temperatura média da superfície terrestre tem aumentado em 0,85°C no período 1800-2012. As concentrações atmosféricas dos GEE, em 2011, excederam os níveis pré-industriais (CO<sub>2</sub> - em 40%, CH<sub>4</sub> - 150% e N<sub>2</sub>O - 20%) [6].

Na defesa das possíveis consequências do impacto antropogénico na atmosfera da Terra, foram realizados inúmeros acordos regionais e internacionais. O principal foi o Protocolo de Quioto, em 1977, constituído por representantes de 150 países de todo o mundo. De acordo com este protocolo, 38 países industrializados teriam que diminuir emissões de GEE em 5,2% até ao ano 2012 (8% de redução de CO<sub>2</sub> para EU em 2008-2012), em comparação com o ano 1990.

Em 1992 ocorreu a Conferência ONU do Rio de Janeiro “*Cimeira do Verão*”, com o objetivo de debater os problemas ambientais mundiais e introdução da ideia do desenvolvimento sustentável, um modelo de crescimento económico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico.

Por fim o Acordo de Paris constitui o acordo mais recente sobre a temática. O acordo ficou marcado pela saída dos Estados Unidos da América. No debate do tema foram definidos três objetivos principais: assegurar que o aumento médio global fique abaixo de 2°C; promover a resiliência do clima e o baixo desenvolvimento de emissões de GEE, de forma a não ameaçar a produção de alimentos; criar fluxos financeiros consistentes no sentido de promover baixas emissões de GEE.

### **2.1.3 Sustentabilidade em Portugal**

Hoje em dia estamos a viver uma “*crise ambiental*”, dado que os recursos naturais estão-se a tornar insuficientes para satisfazer as necessidades da população mundial. A preocupação prioritária são as emissões de GEE para a atmosfera. Daí surgiu a necessidade de criar planos estratégicos para o desenvolvimento sustentável.

Portugal é um dos países que aceitou o desafio político na redução de emissões de GEE para a atmosfera, pois as alterações climáticas são uma realidade e o impedimento do seu progresso

futuro é uma prioridade hoje em dia. Após um rápido crescimento das emissões de GEE verificado durante a década de 90 do século passado, Portugal atingiu o seu pico de emissões nacionais em 2005 (correspondendo ao ano de maior consumo energético), altura a partir da qual estas registaram um decréscimo significativo e sustentado, muito por culpa da desaceleração da economia nacional, consolidando desde então uma trajetória de descarbonização da economia nacional como se pode observar na Figura 2.2.

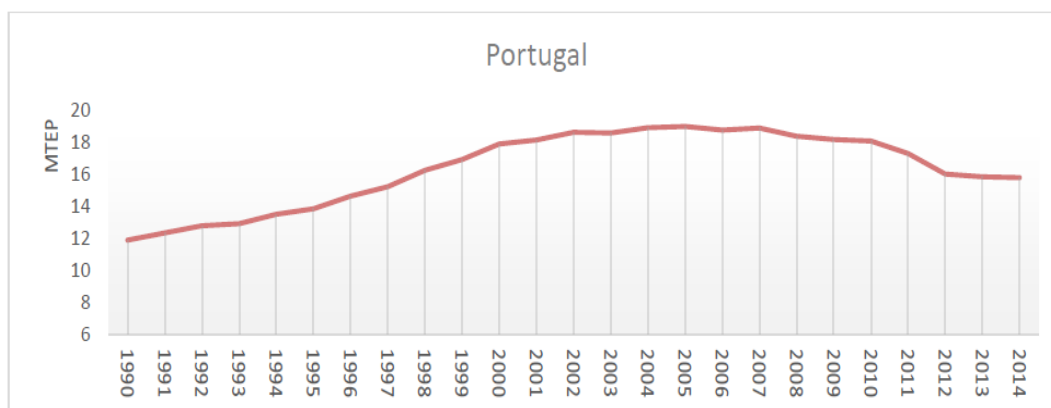


Figura 2.2 - Evolução do consumo de energia final em Portugal em Mtep [7]

No âmbito do primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto e decorrendo da partilha de responsabilidades a nível comunitário ficou estabelecido que entre 2008-2012 Portugal poderia aumentar as suas emissões em 27% em relação a 1990. Portugal assegurou o cumprimento deste objetivo essencialmente através da limitação de emissões de GEE em todos os setores da economia e do contributo do sequestro de carbono nas atividades de uso do solo, alterações do uso do solo e florestas (LULUCF). A trajetória desde 2005 permitiu dessa forma o cumprimento do Protocolo de Quioto.

O relatório do estado do ambiente (REA) é o único documento que apresenta toda a informação e a evolução das políticas e medidas que Portugal adotou, o seu progresso e principais problemas, identificando a posição em que se encontra face aos compromissos e metas assumidos. Este relatório é produzido anualmente. O último relatório elaborado foi em 2016, onde se trata de economia e ambiente, energia e clima, transportes, ar, água, solo e biodiversidade, resíduos e riscos ambientais [8].

No setor de “Energia e clima”, quanto à produção de energias renováveis, Portugal está na terceira posição mais elevada, produzindo 51,7% de energia elétrica a partir de fontes de energia renovável (FER) em 2015. No gráfico da Figura 2.3 é representada a evolução do consumo e energia primária e as metas estabelecidas [8].

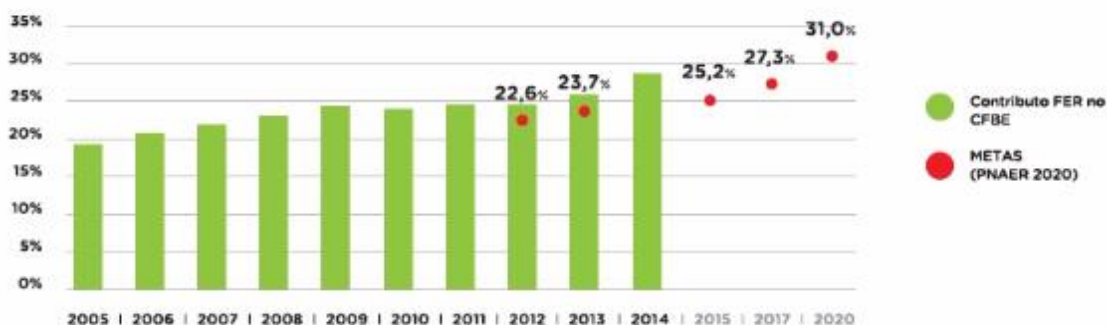


Figura 2.3 Consumo de energia primária por fonte energética [8]

Contudo, esta produção de energia renovável continua ainda insuficiente perante as necessidades energéticas, levando a que Portugal ocupe o 9º lugar dos países com maior dependência externa de energia, cerca de 71,6% como se pode observar na Figura 2.4.

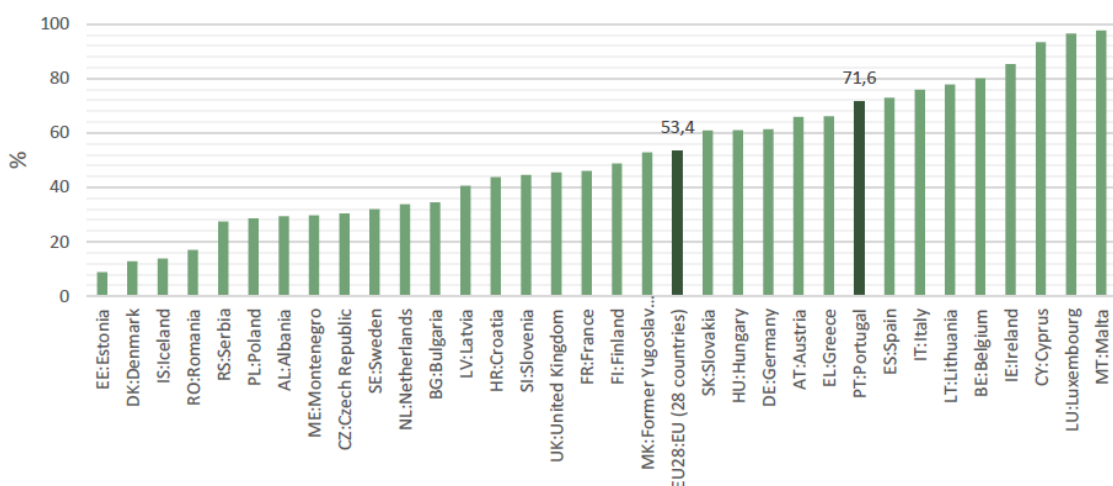


Figura 2.4 - Dependência energética na EU-28 no ano de 2014 [7]

Para inverter esta tendência e sendo Portugal um país com características ideais para a produção de energia renovável, o papel da eficiência energética e o aumento da produção das fontes de energia renováveis será uma contribuição fundamental para reforçar os níveis de segurança do abastecimento, promovendo, ao mesmo tempo, a diversificação energética e o aumento da sustentabilidade associada à produção, transporte e consumo de energia.

A produção, transformação de energia e os transportes são dois setores que apresentam a maior percentagem de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, 23% e 24% respetivamente. O total das emissões deste gás no setor de energia em Portugal está na ordem dos 68% das 64,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> produzidas em 2014, Figura 2.6. Portugal representa um aumento da produção deste gás de 6,4% relativamente ao ano 1990, e decréscimo de 0,6% relativamente ao ano 2013. Estes valores excluem a emissão dos GEE pelo setor florestal e alterações de uso de solo [8].

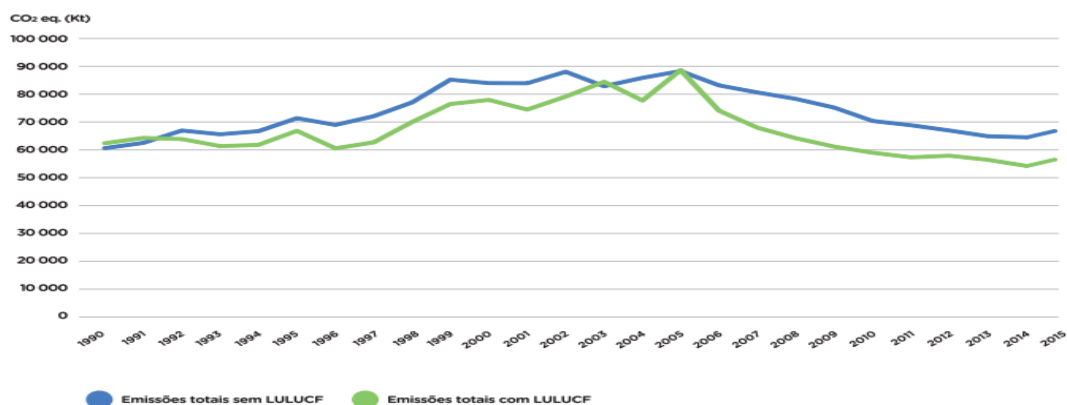


Figura 2.5 - Evolução das emissões nacionais de gases com efeito de estufa [8]

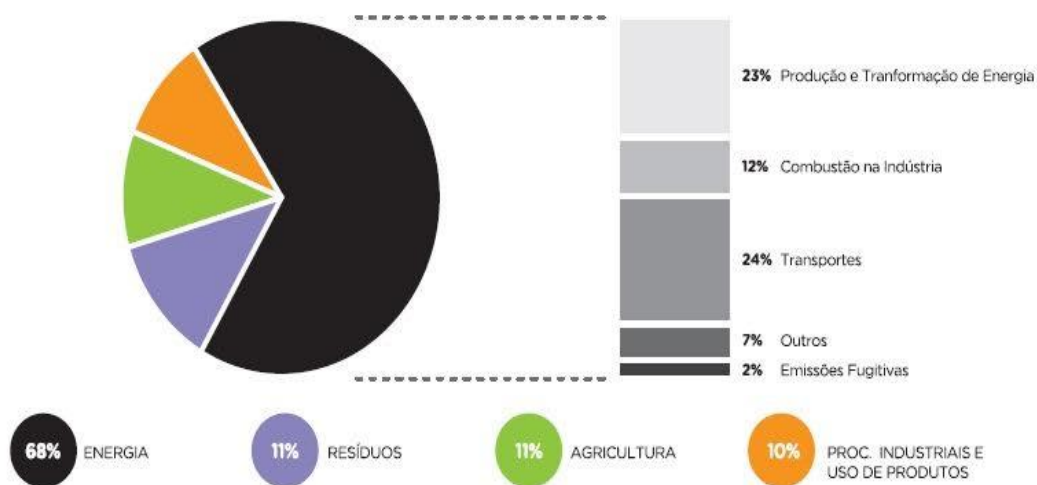


Figura 2.6 - Emissões sectoriais de CO2, em Portugal, em 2014 [8]

Nos setores de transporte e residencial, que não estejam abrangidos pelo comércio de licenças de emissão, Portugal tem cumprido os objetivos estabelecidos. Nos anos 2013 e 2014, ficou abaixo das metas estabelecidas na ordem dos 21,3% e 21,1% respetivamente. As metas estabelecidas para o ano de 2020 e 2030, são a redução de emissões em 15% e 31% para os anos respetivos [8].

O consumo interno de matérias (CIM) é traduzido pela quantidade consumida de recursos naturais, com exceção de ar e água, onde atingiu o seu maior pico em 2008 como se pode observar na Figura 2.7. Em 2014 foi registado o consumo de 148,7 milhões de toneladas, o que demonstra um aumento de 1,9% relativamente ao ano anterior. A evolução da atividade do setor de Construção é o fator maioritário no aumento do consumo interno de materiais, representando em 2015 59% do CIM [8].

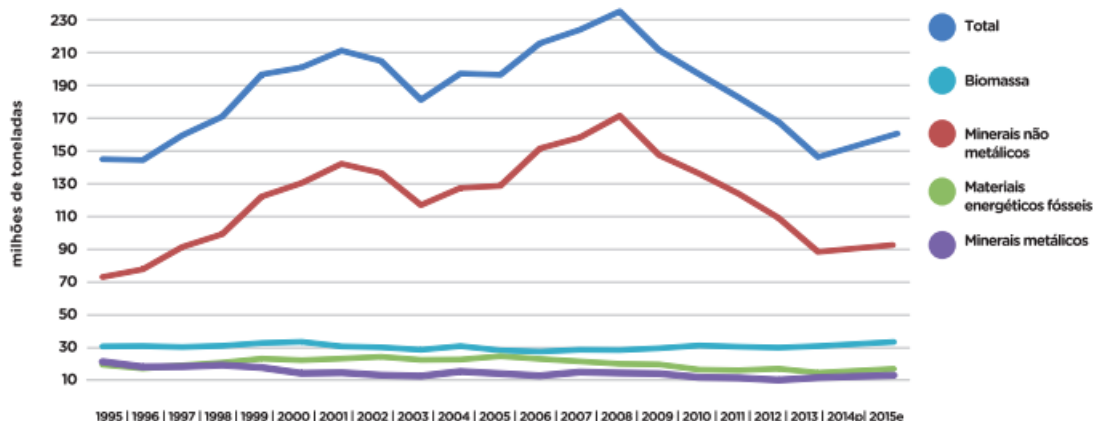


Figura 2.7 - Consumo interno de matérias - total e principais componentes [8]

No setor de “*produção e gestão de resíduos urbanos*”, avalia-se a quantidade produzida e recolhida de resíduos urbanos em Portugal, bem como a evolução dos seus destinos e sua preparação para reutilização e reciclagem. Os objetivos estabelecidos visam o aumento da preparação para reutilização e reciclagem e reforço da prevenção da produção dos mesmos.

O plano estratégico para os resíduos urbanos (PERSU 2020), prevê alcançar uma redução da produção de resíduos por habitante até 10% relativamente ao ano 2012 e um aumento global de preparação de resíduos para reciclagem e reutilização em 50%. No ano 2015, em Portugal continental, produziram-se um total de 4,52 milhões de toneladas de resíduos urbanos [8].

## 2.2 Edifícios e sustentabilidade

O aumento de consumo energético exponencial em todos os fatores é relacionado com o crescimento da população mundial. De acordo com “*World Population Prospects: The 2015 Revision*” publicado pelas Nações Unidas, em 2015 a população mundial calculada é de 7.349.472 pessoas, o que demonstra um crescimento de 1,8% entre os anos 2010 e 2015. O crescimento da população nos países desenvolvidos foi de 0,29% e nos países em vias de desenvolvimento de 1,36%. De acordo com as estimativas, em 2030 a população mundial deve chegar aos 8,5 mil milhões e continuará a aumentar [9].

Este aumento populacional é proporcional ao aumento do consumo de energia. Segundo dados disponíveis do Eurostat, os setores que mais consomem energia final corresponde aos transportes, indústria e edifícios residenciais. Efetuando a média dos consumos registados entre 1990 e 2014, conclui-se que o setor dos transportes representa 30% dos consumos de energia final equivalente de petróleo, o setor da indústria representa 28% e o setor dos edifícios residenciais 26%, enquanto os de serviço (não residenciais) representam 12% dos consumos, contribuindo num total para que os edifícios na UE consumam cerca de 40% de energia e 36% das emissões de GEE [7].

Relativamente a Portugal e por observação da Tabela 2.1 conclui-se que entre 2014 e 2015 o consumo de energia aumentou praticamente em todos os setores.

Tabela 2.1 Consumo de energia elétrica: total e por tipo de consumo [10]

Anos	Consumo de energia elétrica por tipo de consumo (kWh)					Total
	Doméstico	Não doméstico	Indústria	Agricultura	Edifícios do estado	
2008	13 443 517 549	11 430 986 212	18 452 542 856	1 014 157 027	2 694 919 433	47 036 123 077
2009	14 187 915 617	11 563 937 534	17 142 716 312	986 292 984	2 729 258 677	46 610 121 124
2010	14 487 669 263	11 867 684 387	18 170 310 782	1 025 166 071	2 811 083 465	48 361 913 968
2011	13 754 768 280	11 959 862 384	17 691 584 170	980 854 386	2 697 614 216	47 084 683 436
2012	12 898 001 944	12 128 235 362	17 291 036 786	1 003 089 315	1 892 008 367	45 212 371 774
2013	12 311 175 508	12 157 603 380	17 037 049 543	925 069 897	2 034 281 046	44 465 179 374
2014	11 907 719 427	12 115 938 588	17 291 360 653	824 562 570	2 233 916 671	44 373 569 909
2015	11 974 528 485	12 356 670 088	17 426 535 465	588 781 702	2 463 826 107	44 810 341 847

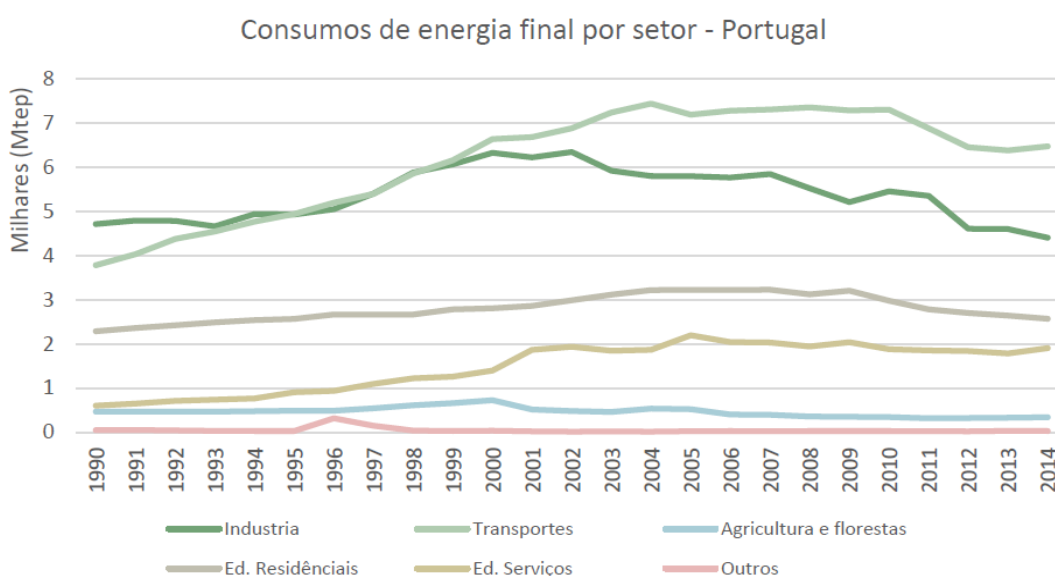


Figura 2.8 - Evolução do consumo de energia final em Portugal nos diferentes setores de atividade em Mtep [7]

Em 2008 mais de metade da população mundial vivia nas cidades e as previsões apontam para que este número irá aumentar cerca de 60% até ao ano 2030. Além disso o crescimento territorial das cidades irá ser mais rápido do que a própria população nas cidades [7].

Existem várias causas que é necessário ter em conta na contribuição das cidades para as alterações climáticas. As zonas urbanas realizam diferentes tipos de atividades, que diretamente estão relacionados com emissões de GEE para a atmosfera, como por exemplo, transportes, produção de energia e produção industrial.

As emissões de GEE de edifícios comerciais e residenciais estão relacionados, principalmente, com emissões que ocorrem devido a produção de energia elétrica, como também aquecimento

e arrefecimento dos espaços, para proporcionar o conforto necessário. De acordo com os cálculos realizados pela IPCC, as emissões dos edifícios comerciais e residenciais, estão na ordem dos 8% das emissões de GEE ao nível mundial [6].

O desenvolvimento sustentável também tem a sua importância para as empresas industriais e de construção. Hoje em dia, na prática podem ser aplicados os modelos e soluções de construção não só ecológica, mas também economicamente rentável.

### **2.2.1 Princípios de sustentabilidade para edifícios de habitação**

*“Construção sustentável é a criação e gestão responsável do ambiente construído de forma saudável baseada nos recursos eficientes e princípios ecológicos” [9].*

Os edifícios têm como o objetivo proporcionar um ambiente mais favorável e confortável para os humanos do que o ambiente natural. A maior prioridade no desafio de planeamento de novos edifícios e de reabilitação de edifícios já existentes é criar um ambiente ideal para produtividade tal como para o conforto necessário.

É de notar que grandes construções sejam residenciais ou públicas, têm um impacto ambiental significativo na necessidade de maior utilização de materiais e aumento de consumo de energia e emissões. Os edifícios utilizam diretamente cerca de 30% de energia e 50% indiretamente [8]. Da mesma forma, o aumento do tráfego automóvel, a necessidade de infraestruturas e poluição do ar aumenta se os edifícios se encontrarem localizados em subúrbios de baixa densidade onde o transporte público não é uma opção económica.

Outro fator a considerar no desenvolvimento de estratégias ambientais é a natureza e o estado dos edifícios novos e já existentes.

Em 1999, o CIB (Conseil International du Bâtiment International) criou a *“Agenda 21 on Sustainable Construction”* para demonstrar o reconhecimento da importância de edifícios e construção no desenvolvimento sustentável. Este documento é o mais relevante para as áreas de construção.

*“The Habitat II Agenda”*, descreve como a indústria de construção está preocupada com o conceito de desenvolvimento sustentável introduzido em algumas grandes iniciativas, como também apresenta uma síntese de visões principais e perceções de desenvolvimento sustentável e o futuro das construções que resultam do projeto internacional realizado pelo grupo de trabalho W082 do CIB [11].

Os elementos chave para a construção sustentável são a redução do uso de fontes energéticas e a redução de recursos naturais. Como foi referido, as diferentes variáveis de construção

sustentável foram introduzidos na Agenda 21 e estão relacionados com sustentabilidade económica, funcional, ambiental, social e humana.

A segunda seção da Agenda 21 é a de maior interesse para o estudo em causa, visto que se foca maioritariamente nos aspetos ligados à sustentabilidade funcional e desempenho técnico dos edifícios e produtos. Entretanto, na terceira seção é abordado o problema de consumo de recursos devido às atividades de construção e uso do ambiente construído. Na quarta seção é tratado o tema do impacto de construção no desenvolvimento de sustentabilidade urbana.

Os desafios principais propostos pela CIB na Agenda 21 para o setor de construção são [12]:

- Promoção da eficiência energética onde deverão ser adotados novos métodos de poupança de energia e utilização de energias renováveis;
- Redução do uso de água potável de alta qualidade, onde se deve proceder a redução de consumo doméstico de água com sistemas de gestão apropriados e introdução de sistemas de saneamento sem água;
- Seleção dos materiais pelo desempenho ambiental, ou seja, utilização de materiais renováveis, redução de utilização de materiais naturais não renováveis e prática de reciclagem;
- Contribuição da urbanização para o desenvolvimento sustentável, isto é, utilização eficiente dos terrenos, reabilitação sustentável dos edifícios existentes, gestão sustentável dos edifícios, prevenção do declínio urbano e redução do seu espalhamento.

No entanto no centro das atenções está a utilização racional de energia nas novas construções como também a potencialidade de poupança de energia nos edifícios existente, mas a reabilitação sustentável de edifícios, preocupa apenas alguns países do mundo.

As energias renováveis, apesar de estarem ainda em fase de investigação em alguns países, a sua utilização em Portugal já se torna cada vez mais comum. O único impedimento para adoção das energias renováveis é o seu custo.

Os sistemas de poupança de energia que devem ser introduzidos, de acordo com Agenda 21, são [12]:

- Recuperadores de calor;
- Bombas de calor;
- Painéis fotovoltaicos;
- Coletores solares;
- Tecnologias passivas e híbridas para o aquecimento e arrefecimento;

- Sistemas de iluminação passivos;
- Novos materiais de isolamento térmico e acústico.

Neste documento, são apresentadas várias considerações a ter em conta em diferentes fases de construção. Na fase de projeto, é necessário efetuar escolha adequada dos materiais, definir o tempo de vida da estrutura e a sua durabilidade. Na demolição de edifícios é importante a introdução de novos métodos de demolição para otimizar a reciclagem e reutilização dos materiais de construção.

Na parte final da Agenda 21, são apresentados vários desafios para diferentes áreas de intervenção. Os desafios propostos para a reabilitação são [12]:

- A atualização do desempenho de edifícios existentes;
- Desenvolvimento de ferramentas não destrutivas de diagnóstico para a avaliação das condições dos elementos construtivos do edifício;
- Desenvolvimento dos modelos de previsão de tempo de vida;
- Desenvolvimento de novos sistemas/tecnologias para renovação e adoção.

Quanto ao processo construtivo, os desafios são os seguintes: melhorar os processos construtivos, inovação de métodos de construção e tecnologias de projeção etc.

### **2.3 Regulamentação em Portugal**

Portugal tem acompanhado o esforço quanto às políticas energéticas, evoluindo para isso na aplicação de regulamentos cada vez mais exigentes, indo ao encontro de construções mais sustentáveis e amigas do ambiente. Previamente a 1990, antes da criação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) não existiam, em Portugal, requisitos térmicos para os edifícios. Desde então, a preocupação com a utilização de melhores materiais e técnicas construtivas tem proporcionado uma evolução ao nível de otimização de recursos. A fase de projeto constitui a etapa mais importante porque é nesta que são definidos fatores como a forma e orientação da habitação (melhor aproveitamento solar), dispositivos de sombreamento, localização das janelas, isolamento pelo exterior, etc. Na Figura 2.9 é retratada cronologicamente toda a evolução das políticas energéticas em Portugal.

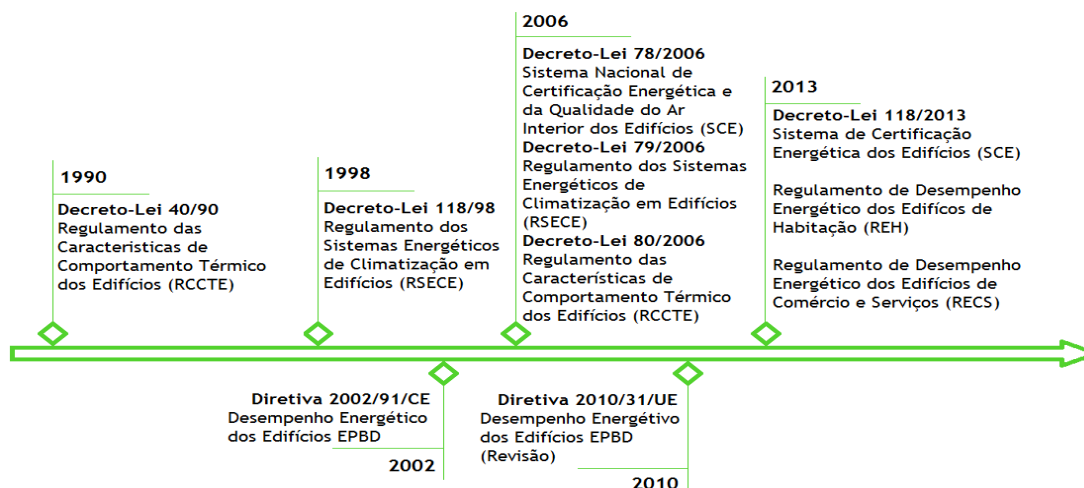


Figura 2.9 Evolução das Políticas Energéticas em Portugal

Desenvolvimento dos acontecimentos [13]:

- 1990, Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro - A introdução desta primeira regulamentação em 1990, patenteou uma alteração notável na prática construtiva, enxerindo um novo projeto de especialidade, até então ausente. Com o RCCTE passou-se a observar o emprego de isolamento térmico na zona corrente da envolvente e apareceram novos cuidados na conceção dos edifícios, sendo dada atenção às pontes térmicas, nomeadamente na configuração da alvenaria de forma a colmatar as pontes térmicas planas e a inércia térmica no comportamento universal do edifício. Estas alterações levaram ao aparecimento de patologias (fissuração) nas fachadas junto aos cunhais, vãos, juntas e de apoio dos panos exteriores de alvenaria. Foram propostas correções simples e duplas, com a aplicação de alvenaria de 4 cm em vigas e de 7 cm em pilares de forma a reduzir as perdas térmicas, o que teve pouca expressão embora que tenham contribuído para a redução parcial do problema da condensação superficial nesses elementos. No primeiro RCCTE (1990), somente eram contabilizadas as necessidades energéticas de inverno e verão, ficando desprezadas as perdas pelos componentes em contato com o solo e não se calculavam as perdas por pontes térmicas lineares.
- 1998, Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio - Com este Decreto-Lei foi aprovado o Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE). Este regulamento saiu voltado para os grandes edifícios de comércio e serviços, em que os sistemas técnicos têm maior impacto. Contudo apenas teve responsabilidade técnica. Foi também neste ano, como já mencionado anteriormente, que surgiu o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas.
- 2002, Diretiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro - É aprovada a Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios EPDB (Energy Performance of Buildings Directive).

Com a diretiva é instituída uma tabela de referência comum para os países da União relativamente ao desempenho energético dos edifícios, quantificação das necessidades energéticas, emissões de CO<sub>2</sub> e classificação energética, vincando aqui a importância de mudança na tentativa de tornar os edifícios menos poluentes. Esta diretiva foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através de três legislações, o Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, o Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios e o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

- 2006, são publicados simultaneamente o Decreto-Lei n.º 78/79/80, 2006 de 4 de Abril - Foi criado o SCE, com a finalidade de estruturar a certificação energética e indiretamente a aplicação do RCCTE e do RSECE. O SCE esclarece que os edifícios devem deter uma classe de desempenho energético de fácil perceção sobre a ótica de um utilizador inexperiente e deve ainda reconhecer medidas sobre as quais se podem incidir esforços de modo a melhorar o mesmo. Com a publicação destes DLs o Estado Português difundiu, a eficiência energética dos edifícios, cooperando para o que é atualmente o sistema nacional de certificação energética (SCE).
- 2010, Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio, revisão EPBD - Esclarece o quadro geral análogo para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e fazendo a revisão da Diretiva 2002/91/CE, propondo melhorias de desempenho energético de forma a ir ao encontro dos desafios combinados pelos Estados-Membros para 2020. A diretiva deu um grande passo na introdução de edifícios de elevado desempenho energético (N-ZEB - Near Zero Energy Buildings), cuja função é tornar os edifícios auto sustentáveis, isto é, as necessidades energéticas do edifício devem ser colmatadas por energia renovável produzida no local ou nas proximidades. Pretende-se alcançar o objetivo 20-20-20, ou seja, redução em 20% das emissões dos GEE, 20% de aumento na eficiência energética e 20% de aumento de utilização de energias renováveis.
- 2013, Decreto-Lei 118/2013 de 20 de Agosto - Atualização da legislação no qual juntou num só diploma o que antes era retratado em três. O novo regulamento ostenta: o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Existe uma separação do REH em que inclui apenas os edifícios de habitação, com o RECS, em que este inclui os pequenos e os grandes edifícios de comércio e serviços. São introduzidos requisitos mínimos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, particularmente os sistemas de climatização, de preparação de AQS, de

iluminação e de aproveitamento de energias renováveis. Em relação à política de qualidade do ar interior, passou-se a beneficiar a ventilação natural em detrimento dos equipamentos de ventilação mecânica, com intuito de otimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos.

## **2.4 Conclusão do capítulo**

Como se pode constatar no presente capítulo as alterações climáticas e o consumo de energia não renovável pelos edifícios correspondem a um fator cada vez mais preocupante para obtenção de um futuro sustentável. Portugal tem cumprido os protocolos que limitam as emissões dos GEE, investindo em energia renovável. Contudo continua a ser um dos países da UE com maior dependência externa de energia. Estando o consumo de energia a aumentar e sendo os edifícios os principais responsáveis, é preciso implementar medidas eficientes como o isolamento térmico na envolvente dos edifícios contribuindo assim para a redução das perdas térmicas, melhorando com isso o conforto sem recorrer a elevados consumos energéticos. Acompanhando a linha da sustentabilidade, no capítulo seguinte é apresentada a cortiça como isolamento térmico, mostrando a importância deste material na promoção da mesma.

## **Capítulo 3 - A Cortiça como Material de Construção**

## **Capítulo 3 - A cortiça como Material de Construção**

- 3.1 Introdução, breve história
- 3.2 Localização do montado
- 3.3 Descrição da cortiça
- 3.4 Estrutura e composição da cortiça
- 3.5 Produção da cortiça
- 3.6 Produtos de cortiça
- 3.7 Conclusão do capítulo

## Capítulo 3 - A Cortiça como Material de Construção

*“Apresentemo-nos, com entusiasmo, fé, tenacidade e ousadia para impor a cortiça vitoriosamente, mostrem-se as vantagens que o isolamento oferece, ensinemos, aos que não sabem, como se põe em prática; e como, quando, e porquê é económico e oportuno o seu emprego, mostre-se, ensine-se, demonstre-se, portanto” [14].*

### 3.1 Introdução, breve história

Na Figura 3.1 é apresentada uma linha do tempo da cortiça de forma a mostrar o quanto já era importante a sua utilização pelos nossos antepassados.



Século IV a.C - Nesta altura a cortiça já era utilizada na China, no Egipto, na Babilónia e na Pérsia no fabrico de vários artefactos importantes para garantir a sobrevivência na época como boias para as redes de pesca, sapatos de mulher e telhados de casas.



Século I a.C - Encontrada uma ânfora em Éfeso vedada com uma rolha de cortiça onde esta ainda continha vinho. Na Grécia o sobreiro era adorado como símbolo da liberdade e da honra, consagrado ao Deus olímpico Júpiter sendo as suas folhas e ramos utilizados para coroar os atletas olímpicos. Apenas os sacerdotes podiam proceder ao seu abate.



70 a 19 a.C - Também os Romanos viram neste material natural inúmeras aplicações, quer seja para fins medicinais como para tampas de recipientes mas também como proteção onde cobriam a cabeça com capacetes de cortiça servindo de isolamento térmico.



Século XIII - Em Portugal o sobreiro já merece a devida importância desde 1209, ano em que foram publicadas as primeiras leis agrárias, onde eram aplicadas coimas a quem procede-se ao seu abate. A madeira do sobreiro foi muito importante no tempo dos descobrimentos, onde esta constituiu parte das ligações mais expostas às intempéries, assim como no fabrico de bancos, arcas, etc.



No século XVII, em Inglaterra o físico Robert Hooke conseguia obter a primeira imagem microscópica da cortiça usando um microscópio que ele próprio desenvolvera. Em França, o monge francês Dom Pierre Pérignon usava a cortiça como vedante do seu famoso champagne Dom Pérignon, escolha que ainda hoje se mantém.



Contudo no século XX surgiu a grande descoberta a cargo de Jhon T. Smith que impulsionaria a indústria corticeira visando a importância da cortiça até aos dias de hoje, onde este ao acaso descobriu a capacidade de a cortiça se aglutinar apenas com recurso a determinada temperatura, evitando assim o recurso a aditivos. A partir daí até a cortiça de menor qualidade começou a ser empregue para os mais variados fins.

Figura 3.1 - História da Cortiça [14]

Atualmente, devido aos avanços tecnológicos, são cada vez mais as empresas/entidades que vão à procura da inovação de forma a acompanhar os mercados. A criação de materiais que agradem a todos, bonitos, resistentes, sustentáveis e com impacto positivo no ambiente é felizmente nos dias de hoje uma realidade. A cortiça tem tido um crescimento exponencial em áreas como o Design para a Sustentabilidade e o Eco-Design, levando a que cada vez mais esta matéria seja encontrada nos mais variados artefactos, não só devido ao fato de ser um material ecológico, com inúmeras vantagens que serão mencionadas ao longo deste capítulo, mas também devido ao aspeto visual e natural que esta transmite.

Mais recentemente nasceu o primeiro tapete em cortiça recorrendo a técnicas de tecelagem beneficiando de um melhor isolamento térmico e acústico face aos produtos tradicionais, proporcionando mais conforto e propriedades hipoalergénicas, ou seja, não absorve pó contribuindo para a proteção contra alergias, destacando-se ainda as suas características naturais como diversidade de padrões, de cores e benefícios de desempenho, nomeadamente em termos de durabilidade e anti humidade [15].

Esta inovação e procura pela sustentabilidade não pode ser esquecida pelos Engenheiros Civis e demais entidades competentes. Sendo Portugal o maior produtor da cortiça cabe-nos mostrar, promover, o quanto nobre é este material fazendo com que as pessoas deixem de associar a cortiça apenas ao fabrico de rolhas, passando a ver este material amigo do ambiente ao mesmo tempo que nos proporciona conforto dentro do nosso lar devido às suas capacidades térmicas, acústicas e anti-vibratórias.

### **3.2 Localização do montado**

Os sobreiros dos quais se extraem a cortiça são árvores perenes da família dos carvalhos e dos castanheiros (Figura 3.2). O sobreiro é uma árvore cuja casca se autorregenera, adquirindo uma textura mais lisa, com melhor qualidade após cada extração. Da sua constituição fazem parte:

- Fruto - Alimento para animais, fabrico de óleo e semente para novos sobreiros, denominado de “Bolota”;
- Folha - Alimento para animais e fertilizante natural;
- Casca - Matéria-prima para os mais variados fins, solução de isolamento térmico aplicado na presente dissertação, a Cortiça.



Figura 3.2 - Imagem representativa do sobreiro [16]

As florestas de sobreiros (Montado) ocupam aproximadamente uma área de 2,2 milhões de hectares, distribuída pela zona do mediterrâneo, predominantemente no Sul da Europa e Norte de África, Figura 3.3.

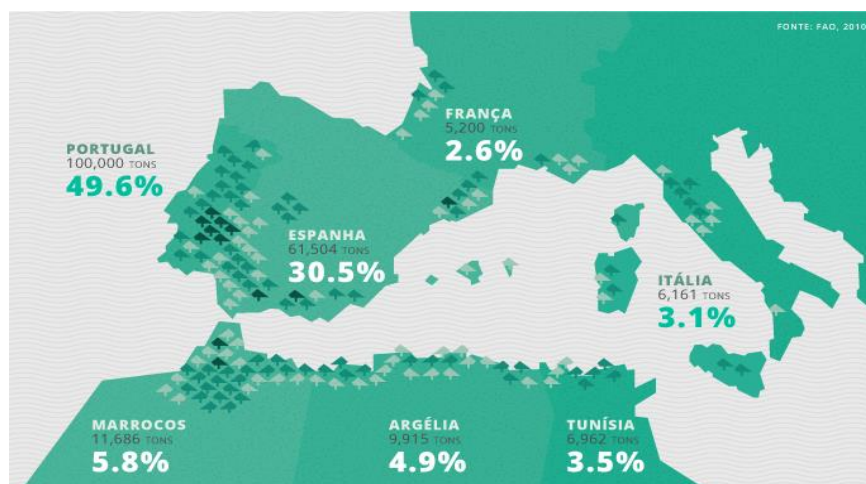


Figura 3.3 - Localização do montado [17]

Estas zonas constituídas de solos arenosos sem calcário, com baixo nível de azoto e fósforo, elevado nível de potássio, com precipitações anuais entre as 400 - 800 mm, altitude entre os 100 - 300 m, bem como temperaturas médias a variar entre os 5°C e os 40°C, reúnem condições ideais para a produção do montado, onde Portugal se apresenta no primeiro lugar como produtor destacado, detendo um terço da área global de sobreiros, 23% da área florestal do país e sendo responsável por 49,6% da transformação mundial [17].

Dados mais recentes, ainda que provisórios, mostram que Portugal fechou o ano de 2016 com um novo recorde de exportações ultrapassando os 950 milhões, ficando muito próximo do seu objetivo estratégico dos mil milhões de euros exportados, uma meta que estava traçada para 2020. Contudo e se forem obtidas anualmente cerca de 200 mil toneladas de matéria-prima esta meta será antecipada para o ano corrente.

Segundo dados do comércio externo do Instituto Nacional de Estatística (INE) relativos a 2015, Portugal exportou 899,3 milhões de euros de cortiça (Figura 3.4), (177,4 milhares de toneladas), representando um crescimento de 6% comparado com 2014.

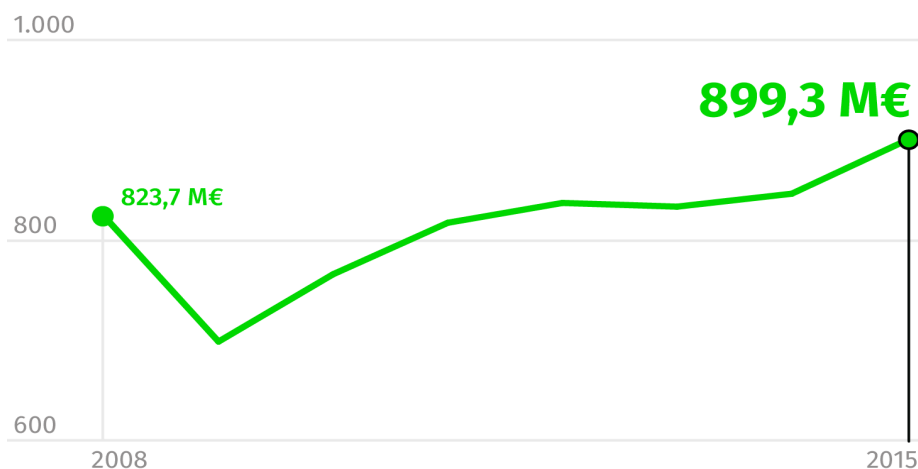


Figura 3.4 - Evolução das Exportações portuguesas de cortiça [18]

Até 2015 a França afirmava-se como o principal destino das exportações nacionais sendo ultrapassada pelos Estados Unidos desde então, registando 19,8% do total das exportações, o equivalente a 177,8 milhões de euros. Dentro da Europa os principais destinos são a França com 18,1%, Espanha com 11,2 %, Itália com 9,7% e Alemanha com 8%, contribuindo mundialmente para um total de 62,7% de exportações da cortiça portuguesa. Contudo a produção não é suficiente face à procura do mercado nacional e internacional, levando a que Portugal ocupe a quarta posição no que toca às importações com uma quota de 9,5% num total de 142,6 milhões de euros [18].

Segundo dados do INE (relativos às exportações portuguesas de cortiça), as exportações dividem-se para a produção de diversos produtos como podemos ver pela Figura 3.5:



Figura 3.5 - Exportação da cortiça por tipo de produtos em valor [18]

Relativamente aos materiais de construção, os principais produtos exportados são ladrilhos, cubos, blocos e outros produtos com aglutinantes, constituindo uma parcela de 151,2 milhões de euros, tendo como principal destino a Alemanha, cujo valor representa cerca de 50,4 milhões de euros de vendas [19].

### **3.2.1 Montado do sobreiro e a sua importância na sustentabilidade**

Como supracitado anteriormente, num presente em que se entende um desenvolvimento sustentável, com a aplicação de materiais ecológicos na construção, e a enorme procura de isolamentos térmicos para diminuir os custos das necessidades energéticas e, conseqüentemente, o cumprimento da regulamentação em vigor, a cortiça integra o maior aliado no combate à redução de gases com efeito de estufa (GEE) e apresenta, neste contexto, as características ideais e únicas para integrar o desenvolvimento de sistemas construtivos.

Emblemáticos do clima quente e da terra árida, os montados protegem o solo contra a erosão e a conseqüente desertificação. Constituem uma barreira anti-incêndios devido à fraca combustão da cortiça e assumem um papel relevante na regulação do ciclo hidrológico. Também oferecem um contributo fundamental no que respeita ao ar que respiramos porque fixam dióxido de carbono, que sem eles seria libertado para a atmosfera. Calcula-se que todos os anos as florestas de sobreiro retenham cerca de 14 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, uma ajuda preciosa para a redução dos gases com efeito de estufa, a principal origem das alterações climáticas [20].

Igualmente surpreendente é o facto de os sobreiros aumentarem a capacidade de retenção destes gases durante o processo de regeneração natural que sucede após descortiçamento - um sobreiro descortiado fixa, em média, cinco vezes mais CO<sub>2</sub>. A capacidade de reter dióxido de carbono estende-se também aos produtos transformados de cortiça, que continuam a assegurar esta função de fixação de CO<sub>2</sub> [20].

Pelas razões apontadas anteriormente o sobreiro é uma espécie essencial e prioritária para o combate à desertificação. As florestas de sobreiro formam sistemas ecológicos e economicamente sustentáveis, constituindo um importante instrumento de prevenção contra a desertificação. Se adequadamente geridos, estes sistemas geram níveis elevados de biodiversidade, servindo de “habitação” para mais de 42 espécies de pássaros e habitat de 135 espécies de plantas, assim como condições essenciais à sobrevivência de espécies ameaçadas como o lince ibérico, abutre negro, cegonha preta ou a águia imperial; melhoram a matéria orgânica dos solos; contribuem para a regulação do ciclo hidrológico e travam o despovoamento, uma vez que segundo um relatório editado em 2006 pela WWF mais de 100 000 pessoas, espalhadas pela bacia do Mediterrâneo, depende direta ou indiretamente do ramo corticeiro [20].

Em todo o tratamento da cortiça desde a extração (descortiçamento), transporte e produção, o transporte é o único responsável por emissões de CO<sub>2</sub>, sendo o seu valor reduzido comparado com os outros materiais de isolamento convencionais, como podemos ver na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Comparação das emissões de CO<sub>2</sub> de alguns materiais de isolamento térmico

Função	Material	Critério	Unidades (m)	Peso (Kg/m)	Inércia Térmica (Mj/U)	Emissões de CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> eq/U)
Isolamento	Lã de Rocha	Resistência térmica 0,95 m <sup>2</sup> K/W	1 m <sup>2</sup> de painel	3,17	70,72	4,48
	Poliestireno EPS			0,5	58,97	8,70
	Aglomerado negro de cortiça			4,62	18,20	1,11

Importa realçar que a produção dos produtos de cortiça é natural, usando o pó de cortiça como biomassa para o aquecimento dos fornos responsáveis para a aglomeração dos granulados, sendo esta aglomeração também ela natural sem recurso a resinas sintéticas. Resumindo a cortiça é uma matéria-prima natural, renovável e reciclável que se enquadra nas necessidades da construção sustentável onde artistas e indústria portuguesa têm visto nela um material de qualidade superior com vasta empregabilidade em produtos vanguardistas e de luxo, sendo reconhecida em todo o mundo.

### 3.3 Descrição da cortiça

Mas que material é este e que características o constituem de forma a ser usado desde os nossos antepassados até à atualidade e que tanto contribui para o bem ambiente e conforto da sociedade?

A cortiça, (Figura 3.6) é um material 100% natural, representando a camada mais exterior da espécie *Quercus Suber L*, normalmente denominada de sobreiro, revestindo tronco e ramos, tendo como principal função proteger a árvore do frio, calor e perda de humidade, protegendo-a também dos ataques provocados pelos animais e fogo.



Figura 3.6 - Cortiça

Retirada a cada nove anos sem que nenhuma árvore seja cortada durante este processo, a cortiça dá origem a uma infinidade de produtos, desde os tradicionais, aos mais inovadores e inesperados. Cada sobreiro demora 25 anos até poder ser descortiçado pela primeira vez tendo este de ter 0,7m de perímetro a 1,2m de altura do solo. A extração da cortiça não pode ser total porque o sobreiro poderia não sobreviver. A cortiça retirada nas duas primeiras extrações, assim como a que é retirada das podas da árvore, resulta em matéria-prima para isolamentos, pavimentos e produtos para áreas tão diversas como a construção, a moda ou o *design*.

Ao longo de vários descortiçamentos a qualidade da cortiça vai aumentando. A primeira cortiça, denominada de “cortiça virgem” apresenta uma qualidade inferior e uma estrutura irregular, sendo a sua principal aplicação para a produção de aglomerados utilizados para revestimento de pavimentos e paredes. Passados nove anos da desbóia é retirada uma segunda cortiça, designada por cortiça de reprodução/secundeira, com uma estrutura mais regular e macia. É granulada e também esta utilizada em pavimentos e paredes [21]. A partir da terceira extração a cortiça obtida já atingiu a sua qualidade máxima da qual é conhecida por “*amadia*” em que devido à exigência de qualidade e características ideais é aplicada no fabrico de rolhas.

Recentemente todo o tempo de descortiçamento foi reduzido quando em 2002 Francisco Almeida Garrett, aquando da plantação de oliveiras em regime superintenso decidiu fazer uma produção de sobreiros em regadio. Para seu espanto ao fim de 8 anos os sobreiros reuniam as condições ideais para proceder ao primeiro descortiçamento. Ainda mais surpreendente foi que passados quatro anos depois da primeira extração, já havia sobreiros prontos para um segundo descortiçamento [22]. Todo este processo trás inúmeras vantagens desde a redução do tempo para a obtenção da cortiça de melhor qualidade (*Amadia*), como o aumento da produção levando a uma conseqüente redução do preço da cortiça e ainda como já falado anteriormente na fixação de mais dióxido de carbono, contribuindo assim para a redução dos GEE. Contudo, a produção em regadio deve ser controlada porque grandes produções podem levar a efeitos negativos como, degradação do solo, esgotamento dos aquíferos, intrusão de água do mar em áreas costeiras, a salinização e a contaminação do solo.

### **3.4 Estrutura e composição da cortiça**

#### **3.4.1 Estrutura macroscópica da cortiça**

No processo de descortiçamento, a desunião da cortiça do tecido inferior, o entrecasco, dá-se por rompimento das células da felogene e das células de cortiça mais recentes ficando assim o entrecasco exposto a fatores externos levando à morte da felogene. Após isto, novas células se vão formando no interior originando a “raspa”, que é o principal constituinte da “costa” da cortiça, ou seja, a parte mais externa, que seca, contrai e endurece, fendilhando devido ao

crescimento, servindo de proteção de toda a envolvente, sendo esta dependente do número de descortiçamentos, uma vez que a cortiça virgem não apresenta raspa (Figura 3.7).

Como acontece com a maioria das plantas lenhosas, o ciclo anual do sobreiro integra duas fases: a de atividade vegetativa e a de repouso invernal. Estas duas fases provocam que as células

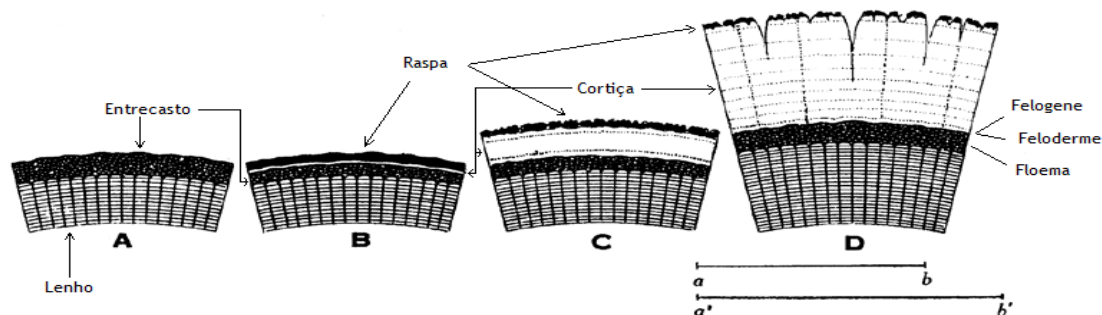


Figura 3.7 - Estrutura macroscópica da cortiça: A - Entrecasto após descortiçamento; B - 30 dias depois; C - No fim de Outono; D - 9 anos depois [23]

produzidas em cada um dos ciclos possuem características distintas, sendo visível na observação da cortiça os anéis de crescimento, onde são constituídos por células formadas com diferentes dimensões e com diferentes espessuras das suas paredes celulares, formadas na Primavera/Verão ou no Outono/Inverno, normalmente entre final de Outubro e meados de Abril a felogene encontra-se inativa [24].

As células de Primavera são mais longas radialmente e apresentam paredes mais delgadas devido ao crescimento mais rápido, contudo pela simples observação de diferentes cortiças é fácil apurar que crescimentos rápidos não são sinónimo de qualidade. A possibilidade de encontrar todas as classes de qualidade dentro da mesma espécie é uma indicação de que a intensidade de crescimento não determina, só por si, a qualidade da cortiça. Devido à maior espessura das paredes e à sua menor altura, as células de Outono são mais resistentes [24].

A qualidade da cortiça aumenta com o número de descortiçamentos como já pudemos constatar, contudo costumam ser considerados como indicadores da qualidade da cortiça: a cor clara da cortiça virgem, a maciez e a pequena espessura da costa, na cortiça amadia (Terceiro descortiçamento), em que esta apresenta características de homogeneidade e crescimento regulares que lhe certificam a qualidade necessária para a utilização em produtos mais exigentes, nomeadamente na produção de rolhas. Um outro fator da qualidade da cortiça é determinada pela homogeneidade da sua “massa”. Dentro das discontinuidades, existem os canais lenticulares que atravessam radialmente a cortiça e que transversalmente dão origem aos poros. O tipo de poros, a sua dimensão, quantidade e distribuição, são um fator determinante na qualidade da cortiça [25].

Quando a cortiça atinge porosidade na ordem dos 30% esta é denominada de frouxa ou bofe. O bofe é um defeito da cortiça causado por canais lenticulares extremamente largos e com

diâmetros superiores a 20 mm. Ele ocorre principalmente em cortiças de grandes crescimentos por colapso parcial das células de paredes mais finas, levando à construção da área afetada. Este bofe acontece em sobreiros a vegetar em solos com excesso de água, levando a pensar que este poderá ser uma reação da cortiça ao excesso de humidade no interior do tecido suberoso. O bofe, mancha amarela, o verde, o prego, fungos, etc, reduzem extremamente a qualidade da cortiça, impedindo a sua utilização para o fabrico de produtos mais nobres como por exemplo para aplicações rolheiras mas não para a construção civil.

A cortiça estruturalmente é anisotrópica. As três principais direções definidas para a cortiça são a radial (paralela aos raios da árvore), a axial (direção vertical na árvore) e tangencial (perpendicular às outras duas, tangente à circunferência da secção da árvore), como se pode observar na Figura 3.8. As secções perpendiculares a estas três direções são respetivamente designadas por tangencial, transversal e radial [26]. Contudo em produtos de cortiça para a construção civil, nomeadamente aglomerado de cortiça, a anisotropia deixa de ser sentida dada a distribuição/orientação aleatória dos grânulos.

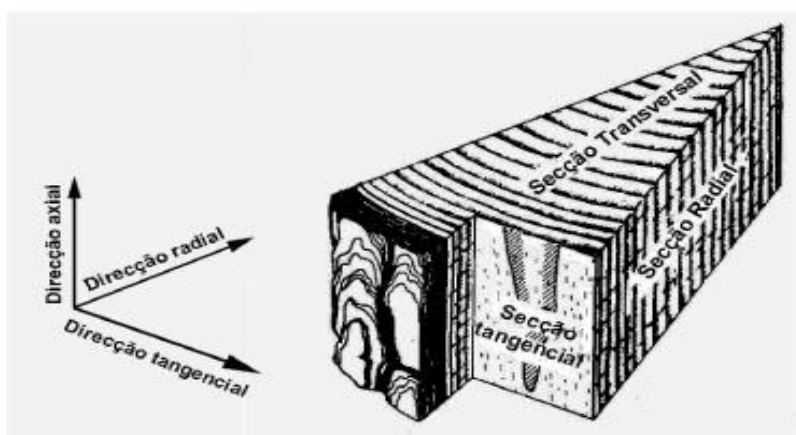


Figura 3.8 - Três principais direções da cortiça [26]

### 3.4.2 Estrutura microscópica da cortiça

A cortiça é um tecido constituído por membranas celulares mortas dispostas compactamente e sem espaços livres cujo interior desapareceu durante o crescimento, e têm um subseqüente processo de suberificação das membranas celulares. O seu aspeto microscópico tangencial é idêntico ao de um favo com a sua estrutura alveolar, (Figura 3.9).

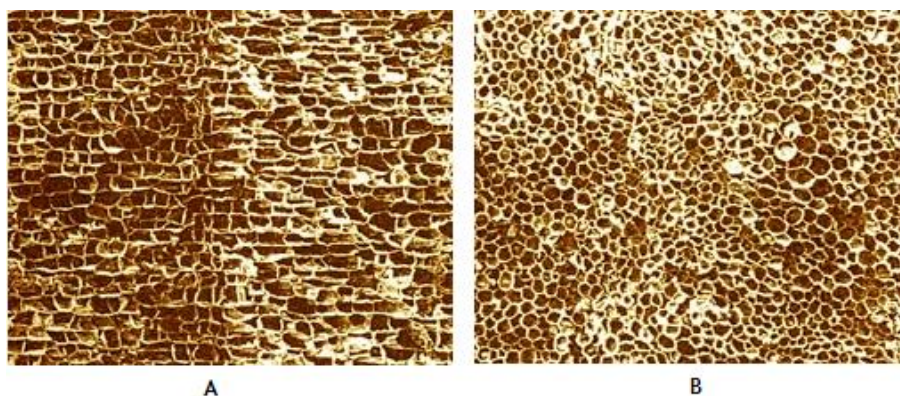


Figura 3.9 - Representação celular da cortiça: A - Corte radial; B - Corte tangencial [26]

Uma célula média pode ser formada por um prisma de secção hexagonal variando o contorno poligonal, usualmente entre 4 e 9 lados, mas preferencialmente entre 5 e 7. Um  $\text{cm}^3$  de cortiça contém em média entre 30 a 42 milhões de células, conforme se consideram amostras de rápido crescimento (Primavera) ou lento crescimento (Outono).

A comunicação entre as células é feita por microcanais denominados plasmodesmos que atravessam a parede celular. A dimensão das paredes das células é de cerca de 10-15 por cento do volume total, existindo assim um espaço vazio de cerca de 85-90% constituído por ar, concedendo a este material as suas propriedades de isolamento e resiliência [25].

As paredes celulares são constituídas por uma base estrutural de suberina e polifenóis poliméricos, tipo lenhina, com uma elevada quantidade de ceras extractáveis, ostentando cinco camadas: duas de natureza celulósica que forram as cavidades celulares; duas mais interiores suberificadas (conferem impermeabilidade) e uma camada média lenhificada (confere rigidez e estrutura). As camadas suberificadas dispõem lamelas alternadas de suberina e ceras [25].

As dimensões médias das células de cortiça formadas no período de maior atividade vegetativa (cortiça de Primavera) são: altura (dimensão transversal ou radial) de 30 a 40 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ); secção de 4 a  $6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$  e espessura da parede de 1 a 1,5  $\mu\text{m}$ , sendo esta espessura mais fina comparativamente com as células de Outono, onde estas podem chegar a dimensões na ordem dos 2 a 2,5  $\mu\text{m}$  devido às circunstâncias do meio, uma vez que, as baixas temperaturas e a secura dos solos devido ao verão, leva com que a árvore tenha maior dificuldade em produzir seiva, o que dificulta e reduz a atividade fisiológica, oferecendo uma cor mais escura ao lenho e à cortiça. Este facto, associado à maior ou menor dimensão das células interfere nas propriedades físico-mecânicas da cortiça, levando a que cortiças de rápido crescimento com anéis suberosos de maior espessura, sejam menos densas, mais compressíveis e menos elásticas do que as cortiças de Outono [25][26].

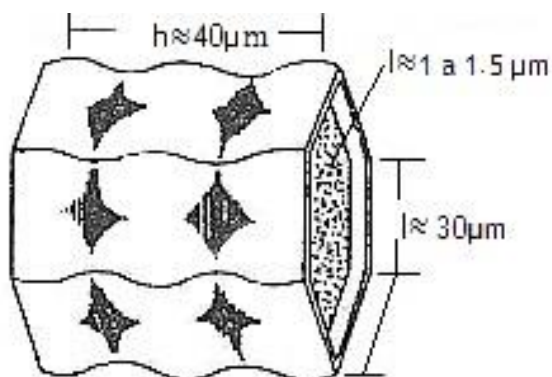


Figura 3.10 - Dimensão de uma célula de cortiça [26]

São estes minúsculos quartos pequenos (células) cheios de ar que conferem à cortiça ótimas características de isolamento térmico e acústico.

### 3.4.3 Composição química da cortiça

Inúmeras têm sido as considerações sobre a composição química da cortiça. Os primeiros estudos são devidos a BRUGNATELLI que, em 1787, após submeter a cortiça a um tratamento com ácido nítrico, obteve um produto que denominou ácido subérico. Mais tarde, em 1815 o químico francês CHEVREUL, após extrair a cortiça com diversos produtos obteve uma substância que não se dissolvia nem em água nem em álcool a que deu o nome de suberina [25].

A composição química da cortiça pode diferenciar. Tratando-se de um material natural, pode sofrer pequenas alterações influenciadas pelo tipo de solo, clima e condições vegetativas, ou até mesmo pela própria idade da árvore, que em suma leva a que a sua composição varie de autor para autor. Na Figura 3.11, estão representados os dados relativos à composição química da cortiça, apresentados por diferentes autores.

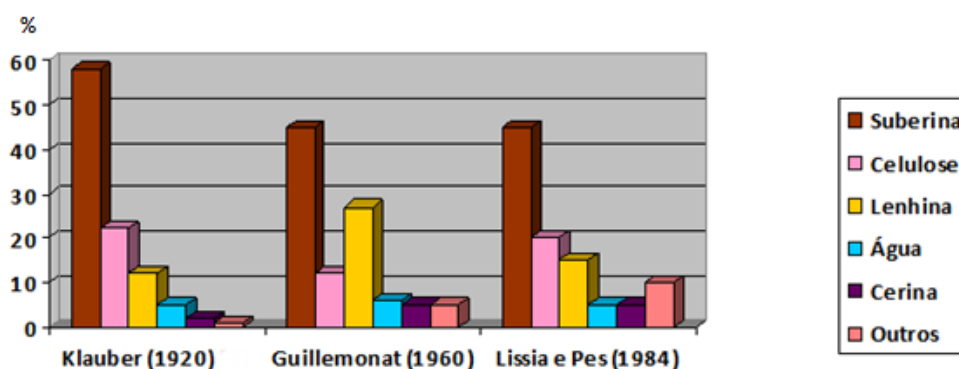


Figura 3.11 - Composição química da cortiça segundo os seguintes autores [27]

Da análise dos dados obtidos pelos diferentes autores todos foram conclusivos que a substância com mais presença nas células da cortiça era a suberina. Mais tarde, Pereira (1988) recolheu amostras da cortiça Virgem e da Amadia apresentando os resultados constituintes da Tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Composição química da cortiça virgem e amadia [23]

	Virgem (%)	Amadia (%)
Cinzas	0,7	1,2
Extrativos	15,3	14,2
Suberina	38,6	39,4
Lenhina	21,7	21,8
Polissacáridos	18,2	19,9

As restantes componentes podem ser distribuídos por dois grandes grupos: os extrativos e não extrativos/resíduo lenho-celulósico. Os extrativos dividem-se em fenólicos, tendo como função desempenhar funções protetoras contra ataques de organismos biológicos. Neste último encontram-se os taninos representando cerca de 95% da fração fenólica e 3% a 8% da cortiça. De seguida apresenta-se a função destes elementos que fazem parte da composição química da cortiça e que lhe conferem características espetaculares como isolante térmico, acústico e vibratório [25].

A suberina confere à cortiça a sua elasticidade e compressibilidade, sendo a componente com maior presença na composição das paredes das células (45%). Esta componente permite à cortiça ter a propriedade de ser o único sólido que ao sofrer compressão de um dos lados não aumenta o volume no outro [24].

A segunda componente com maior presença nas células da cortiça é a lenhina (27%), correspondendo à estrutura das paredes celulares assim como os polissacáridos (12%), conferindo-lhe rigidez.

Os ceroides (6%) repelem a água e contribuem para a impermeabilidade a líquidos e a gases, enquanto os taninos (6%) conferem à cortiça a cor e sua proteção. A sua resistência à humidade permite-lhe envelhecer sem se deteriorar.

Estas propriedades químicas funcionando em conjunto tornado a cortiça com propriedades físicas e mecânicas de excelência [24].

1. Leveza, uma vez que o interior das células é constituído maioritariamente por ar, contribuindo este fator para a fluabilidade da cortiça e assim a sua utilização em artigos de pesca, (como referido anteriormente);
2. Elasticidade e flexibilidade, permitindo a cortiça recuperar o seu volume em 90% em menos de 24 horas, daí a sua utilização como vedante ideal para garrafas;
3. Resistência ao desgaste mecânico, à corrosão e ao fogo, possuindo uma resistência ao desgaste por atrito bastante elevada. Apresenta valores de perdas de peso por desgaste de ladrilhos de cortiça aglomerada na ordem dos 0,09 g, tornando a cortiça um ótimo material para pavimentação ou até mesmo para a fabricação de calçado, comparando

com a madeira de carvalho e o mármore de Carrara, que apresentam perdas por desgaste na ordem dos 0,2 g e 0,93 g respetivamente. Imputrescível e inalterável sob a ação da humidade, devido à pobreza de elementos albuminoides e presença de taninos. Sob o ponto de vista da combustibilidade a cortiça arde dificilmente, possuindo uma combustão lenta, não faz chama nem liberta gases tóxicos durante a combustão;

4. Hipoalergénica, como não absorve pó contribui para a proteção contra alergias. É um produto suave ao toque, com uma temperatura natural aproximada ao corpo humano transmitindo uma sensação de conforto difícil de encontrar em qualquer outro material, sendo ideal para aplicação em revestimento de pisos.

### 3.5 Produção da cortiça

O setor corticeiro pode ser dividido em três:



Figura 3.12 - Produção da cortiça.

#### 3.5.1 Produção suberícola

Na produção suberícola ocorre o descortiçamento, normalmente efetuado por pessoal especializado com recurso a machados (Figura 3.13) de forma a não ferir o câmbio, responsável pela autorregeneração da cortiça. Não se pode despir a sobreiro completamente uma vez que este processo poderia levar à sua morte.



Figura 3.13 - Descortiçamento [28]

As pranchas extraídas são empilhadas por algum tempo ao ar (nunca deverá estar em contato com a madeira, pois esta poderá transmitir fungos indesejáveis à cortiça), cerca de 6 meses, de forma ordenada e com a parte convexa virada para cima de modo que estas percam a forma

cilíndrica do tronco da árvore, ganhando estabilidade e maturação. A divisão da qualidade da cortiça ocorre apenas nas indústrias próprias [21].

### 3.5.2 Indústria corticeira

Posteriormente, a cortiça segue para a indústria onde é preparada para a produção de vários produtos, sendo os isolantes térmicos, acústicos e vibratórios mais correntes para a construção civil. A primeira etapa da preparação da cortiça é a cozedura em caldeiras de água fervente de fogo direto, Figura 3.14, por cerca de uma hora, para lhe dar maior elasticidade e para que esta fique isenta de substâncias hidrossolúveis, com espessura aumentada (resulta daqui a baixa densidade).



Figura 3.14 - Cozedura em caldeiras de água fervente [29]

Este procedimento proporciona uma cortiça mais elástica e macia. É depois empilhada e na pilha mantêm-se em repouso por cerca de três semanas, conservando a humidade latente, tornando-a mais flexível e com consistência necessária para poder ser trabalhada. A cortiça destinada ao fabrico de aglomerados, vinda em fardos (prancha ou aparas, quando proveniente de outras fábricas que não efetuam a sua integral utilização) ou em redes (para a bocadagem), chega à unidade fabril e deve ser separada por qualidades e colocada sob telheiro, para que a chuva não caia sobre a cortiça e não a tornem demasiado húmida [30]. As aparas, adquiridas às fábricas que as não transformam em aglomerados e provenientes do desperdício daqueles citados produtos de cortiça natural, são divididos em três grupos distintos:

- Cortiça ordinária: refugo, virgem e bocadagem;
- Cortiça média: aparas ordinárias e médias, desperdícios da fabricação do aglomerado branco;
- Cortiça fina: apara fina.

Seguindo a cronologia, os granulados são obtidos através da ação de moinhos de estrelas ou de dentes, moinhos de martelos e moinhos de facas; os moinhos de atrito (mós) funcionam essencialmente como afinadores de granulometria e limpeza final [31]. O peso específico do granulado é função da sua secção, podendo tomar-se peso médio de  $90 \text{ Kg/m}^3$ .

Sempre que se verifique que a cortiça vem muito húmida, o que não sucede com frequência em Portugal, ao contrário das instaladas no estrangeiro que têm de efetuar a importação da cortiça virgem, aparas e bocadagem, há necessidade de fazer passar os grânulos por secadores antes de seguirem para o fabrico de aglomerados em que o secador deverá funcionar de modo tal, que: entre ar perfeitamente seco e saia ar carregado de humidade (saturado).

Obtidos os grânulos, (onde a granulometria final obtida é função do tipo de aglomerado a fabricar, sendo geralmente de 5 a 20 mm; mais propriamente 3 a 10 mm no caso de aglomerado acústico e de 5 a 22 mm para o aglomerado térmico), temos a produção de aglomerados compostos de cortiça, que resultam de um processo de aglutinação dos grânulos por ação conjunta da pressão, temperatura e um agente de aglutinação [25].

Existem três classes de aglomerados, Figura 3.15:

- Aglomerado negro/puro;
- Aglomerado branco/simples;
- Aglomerado composto.

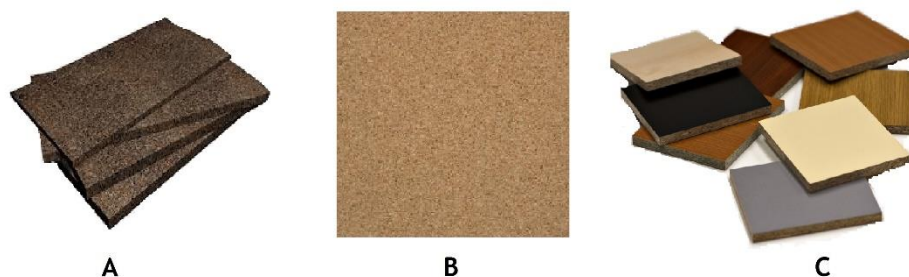


Figura 3.15 - Classes de aglomerados: A - Aglomerado negro; B - Aglomerado Branco; C - Aglomerado composto

Para a produção de aglomerado negro/puro são utilizados grânulos obtidos de refugos e bocados de cortiça amadia que não podem ser utilizados no fabrico de rolhas e discos, assim como, as cortiças virgem, secundeira e outros tipos menos nobres. São considerados granulados as partículas com dimensões entre 0,25 mm e 22,4 mm. Grânulos com dimensões inferiores a este intervalo são denominados “pó de cortiça” [25]. O cozimento é um processo que pode ser realizado por via seca ou húmida, no caso de fornos e autoclaves respetivamente, sendo o ultimo mais utilizado, não só por ser um processo mais homogéneo, como mais económico, uma vez que exige menor tempo de fabrico. Na autoclave a aglomeração faz-se pelo efeito do calor e da pressão. Este processo consiste na colocação dos grânulos num molde, onde o molde é o próprio autoclave (Figura 3.16) sobre ligeira pressão, o que não acontece com os fornos, onde é preciso aplicar moldes. Para que o aglomerado negro fique bem cozido, com as qualidades requeridas, é necessário que este esteja muito bem seco, caso contrário a sua cozedura não será homogénea levando ao aparecimento de manchas castanhas claras. A cozedura é efetuada por insuflação de vapor de água sobreaquecido, a uma temperatura média de cerca de 300-370 °C e com uma pressão de cerca de 30 a 65 Kpa. Este vapor promove a exsudação das resinas da

cortiça em que a cerina (resina da parede exterior das células) efetua a colagem dos grânulos entre si, não havendo assim qualquer aglomerante estranho, mas somente o aglutinante natural, tornando este processo 100% ecológico. O processo de cozedura é normalmente entre 17 a 30 minutos nos casos mais comuns, dependendo do teor de humidade do granulado, da temperatura do vapor e do volume/massa do granulado [25].



Figura 3.16 - Autoclave, produção de aglomerado negro

Como principal desvantagem tem a impossibilidade de fabricar aglomerados com elevadas massas volúmicas uma vez que à medida que se comprime o granulado, mais difícil se torna este ser atravessado pelo vapor injetado, com um limite de compactação na ordem dos  $300 \text{ Kg.m}^{-3}$  [14]

Durante o processo de cozimento ocorre um aumento do volume até 1,8 vezes, realizando a sua aglutinação. Neste processo o aglomerado perde holocelulose (9%) e extratáveis (10%) aumentando no teor de suberina (44%), lenhina (34%) e cinza (6%) [25].

Uma vez cozido o bloco uma prensa inferior atuará no sentido de levantar o bloco até que esteja fora da fôrma. Uma pressão lateral colocá-lo-á sobre um tapete rolante que o conduz diretamente à serragem e daí à câmara de arrefecimento, ou vice-versa, consoante o dispositivo ou o critério adotado. Num último processo, as placas são embaladas em dimensões standards de  $1000 \times 500 \text{ mm}$ , nas diferentes espessuras, podendo estas serem diferentes atendendo a algum pedido especial do cliente.

Os blocos executados em moldes para fornos intermitentes ou contínuos, têm geralmente as dimensões [30]:

$$101,6 \times 609,4 \times 914,4 \text{ ou } 101,6 \times 304,8 \times 914,4 \text{ (mm)},$$

normalmente estas medidas vêm em excesso para permitirem a serragem e ajuste do bloco às suas exatas dimensões comerciais.

Enquanto em autoclaves as dimensões são as seguintes:

304,8 x 609,4 x 914,4 ou 304,8 x 914,4 x 914,4 (mm).

No aglomerado branco a aglomeração é semelhante, com a particularidade de os grânulos apresentarem uma secção muito mais pequena. No seu fabrico usa-se granulado de boa qualidade normalmente aparas finas. A cor do aglomerado difere com o tempo de cozedura, ou seja, quando mais tempo for a cozedura mais escura será a cortiça e de densidade menor.

No aglomerado composto, há um aglomerante que efetua a aglomeração dos diversos grânulos entre si. Ele poderá ser:

1. Breu;
2. Betuminoso;
3. Cimento;
4. Gesso;
5. Cola e caseína;
6. Grude;
7. Resinas sintéticas; etc.

### **3.5.3 Comercialização**

Desde 1891 após a descoberta por coincidência de John T Smith que a cortiça tem vindo a ganhar cada vez mais aplicações podendo ainda ser possível encontrar mais aplicações para material tão nobre. Por isso cabe aos engenheiros e entidades competentes mostrar as mais-valias desta matéria natural de grande utilidade para a construção civil, promovendo assim o conforto dos ocupantes bem como o bem-estar do meio ambiente que tanto devemos preservar. Nesta altura a cortiça já era utilizada como boia devido à sua capacidade para flutuar. Desde aí que novas aplicações têm vindo a ser descobertas [30]:

#### 1 - Navais

- Jaquetas salva-vidas;
- Cintos de salvação;
- Boias de salvamento;
- Boias de amarração, etc.

#### 2 - Em automóveis

- Boias para carburadores;
- Juntas de aglomerado de cortiça para motores;
- Anilhas para vedação;
- Juntas de vibração, de forma a evitar ruídos, etc.

### 3 - Nos caminhos-de-ferro

- Anilhas para vedação do óleo nas chumaceiras;
- Juntas de aglomerado de cortiça;
- Placas de aglomerado negro, puro, de cortiça para isolamento das carruagens metálicas modernas, de passageiros;
- Isolamento térmico do pavimento, paredes e cobertura dos vagões frigoríficos, etc.

### 4 - Elétricas

- Juntas de aglomerado de cortiça nos transformadores;
- Isolamento anti vibratório das bases dos motores e geradores elétricos;
- Casquilhos de aglomerado de cortiça para evitar a fuga da composição isoladora do interior de um isolador de saída do cabo elétrico;
- Juntas de cortiça entre a tampa e a caixa dos transformadores, etc.

### 5 - Indústria têxtil

- Lançadeira de aglomerado que substitui com vantagem a de madeira forrada a coiro, por ser mais elástica e macia;
- Casquilho de aglomerado.

### 6 - Maquinaria

- Isolamento das fundações das diversas máquinas: rotativas na imprensa, compressoras em fábricas, martelos-pilões em fundições, motores elétricos em centrais, bases de elevadores nos edifícios, e, de modo geral, toda e qualquer máquina, para que não haja perda de rendimento com transmissão das vibrações e estas não incomodem quem trabalha nos edifícios onde aqueles se encontrem, ou nos edifícios circunvizinhos.

Sendo na construção civil a aplicação da cortiça caso de estudo, será citado de seguida com mais detalhe os fatores que contribuem para uma boa capacidade de isolamento térmico e acústico do edificado, realçando o aglomerado negro de cortiça expandida. A aplicação do isolamento térmico respeita as seguintes normas:

Normas aplicáveis:

- Isolamento térmico: NP EN 13170 acrescido de outros documentos para realização das montagens e fixações;

- Revestimento de piso: NP EN 12104, NPEN 655, NP EN 1817 para parquet e pisos com camada de PVC. Para o cumprimento dos requisitos essenciais da diretiva a norma é a NP EN 14041;
- Revestimento de parede: NP EN 12781 e NP EN 13085.

### **3.6 Aglomerados de cortiça para isolamento dos elementos opacos verticais e horizontais**

O aglomerado negro de cortiça é um material de excelência para a utilização na construção civil. A sua constituição e propriedades reúnem características ideais não só para este ser reconhecido como um material de isolamento térmico, acústico e vibratório, mas também quanto ao conforto e aspeto visual transmitido.

Para além do aspeto agradável, 100% natural e renovável a aplicação de aglomerado negro de cortiça transporta as seguintes vantagens [20]:

- Suporta temperaturas entre -180°C e +120°C;
- Isolamento térmico e acústico em simultâneo;
- Durabilidade praticamente ilimitada, mantendo as características técnicas (45 a 50 anos);
- Resistente à água;
- Permeável ao vapor de água, deixando as paredes “respirar”;
- Corrige as pontes térmicas das fachadas;
- Em caso de incêndio não liberta gases;
- Não atacável por roedores;
- Bom para pessoas que sofrem de alergia e de asma, uma vez que normalmente não tem elasticidade estática, não atraindo poeiras, pólen ou fibras pequenas;
- Resistente ao desgaste - Cortiça (-0,09g); Madeira (-0,2g) Mármore (-0,93g).

Estas características fazem com que a cortiça seja cada vez mais reconhecida para atuar como material de revestimento/isolamento nas habitações. Enumeras são as empresas que promovem este material aliando o mesmo a outros materiais e técnicas inovadoras desenvolvendo compósitos para utilização na construção civil.

Observando a Figura 3.17 constata-se as mais variadas aplicações da cortiça como isolamento de:

- a) Solução de isolamento térmico para coberturas plana ajardinada;
- b) Solução de isolamento térmico de coberturas planas tradicionais;
- c) Solução de isolamento térmico de paredes exteriores;
- d) Solução de isolamento térmico de paredes duplas;
- e) Solução de isolamento térmico de pavimentos;

- f) Solução de isolamento térmico de paredes interiores;
- g) Juntas de dilatação;
- h) Solução de isolamento térmico de coberturas inclinadas com ocupação;
- i) Solução de isolamento térmico de coberturas inclinadas sem ocupação.

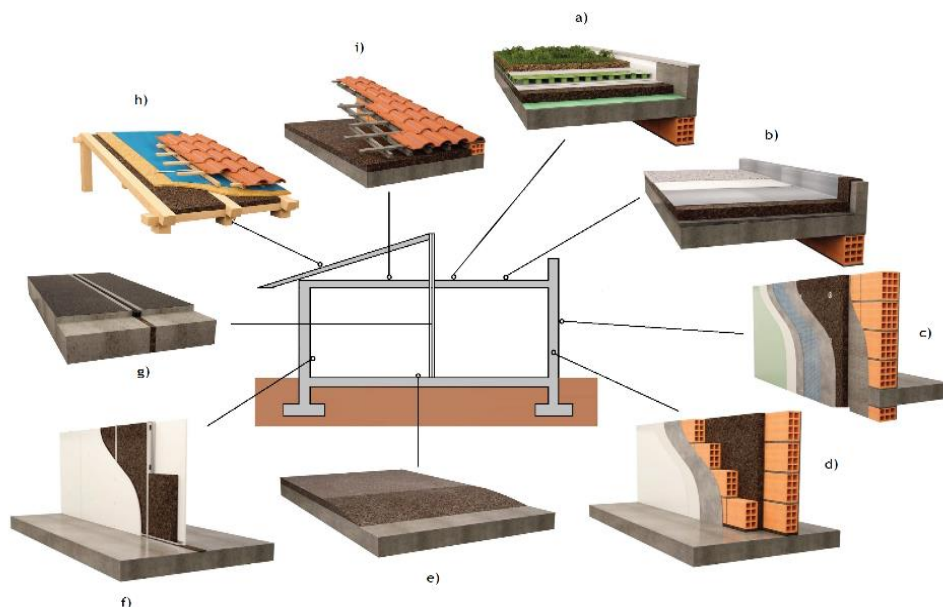


Figura 3.17 - Aplicações do aglomerado negro de cortiça

### 3.7 Conclusão do capítulo

Como podemos constatar a utilização da cortiça na construção civil acarreta vantagens ao nível do conforto térmico, acústico e visual. Importa divulgar a importância deste material na sustentabilidade e economia do país, informando/consciencializando as entidades competentes à implantação da mesma, promovendo um mercado competitivo e amigo do ambiente. A forma e disposição do aglomerado negro de cortiça para um melhor isolamento térmico e acústico de fachadas, pavimentos e coberturas será retratada no capítulo 4.

## **Capítulo 4 - Reabilitação Térmica de Edifícios de Habitação**

# Capítulo 4 - Reabilitação Térmica de Edifícios de Habitação

- 4.1 Caracterização do parque edificado
- 4.2 Caracterização da envolvente dos edifícios
- 4.3 Conclusão do capítulo

## Capítulo 4 - Reabilitação Térmica de Edifícios de Habitação

No presente capítulo pretende-se realçar a importância da reabilitação térmica do parque edificado português. Analisando a informação contida nos Censos de 2011 e do Instituto Nacional de Estatística, pretende-se compreender a evolução do parque habitacional português e o seu estado atual de conservação, reforçando a importância da reabilitação. A época de construção dos edifícios corresponde a uma variável importante no que se refere ao consumo de energia uma vez que antes da criação da regulamentação térmica (1990) estes não apresentavam qualquer tipo de isolamento térmico. Tendo como foco estes mesmos edifícios, apresenta-se toda a evolução construtiva da envolvente bem como medidas interventivas que vão ao encontro de técnicas eficientes de isolamento térmico para fachadas, pavimentos e coberturas.

### 4.1 Caracterização do parque edificado

#### 4.1.1 Idade do parque edificado

Observando os dados constatados na Tabela 4.1, relativamente ao número de edifícios de acordo com a época de construção, constata-se que a maior parte do parque habitacional português é de construção relativamente recente. O forte crescimento do parque edificado após a década de 70, (constituído por 32.09%), aliado ao número de edifícios com pouco mais de 10 anos (14,39%) constitui uma parcela relativamente jovem (com cerca de 46,5% dos edifícios com menos de 30 anos), justificando assim o seu baixo índice de envelhecimento.

Tabela 4.1 - Número de edifícios existentes, por época de construção, de acordo com os Censos 2011 [32]

Número de Edifícios	Época de Construção						Total
	Antes de 1946	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 2000	Depois de 2000	
	512.039	387.340	408.831	588.858	1.137.316	510.005	3.544.389
Percentagem do número de edifícios (%)	14,45	10,93	11,53	16,61	32,09	14,39	100,00

O parque habitacional do país a partir de 2000 cresceu a uma taxa anual média superior a 1% até 2008. A partir desse ano, muito por culpa da crise económica e consequente abrandamento das obras públicas e do investimento privado, as taxas de variação têm vindo a reduzir-se, registando um mínimo de 0,1% em 2015, Figura 5.1. Dados mais recentes, indicam que em 2015 existiam em Portugal cerca de 3 586 102 edifícios de habitação familiar clássica e 5 926 286 alojamentos familiares clássicos [33].

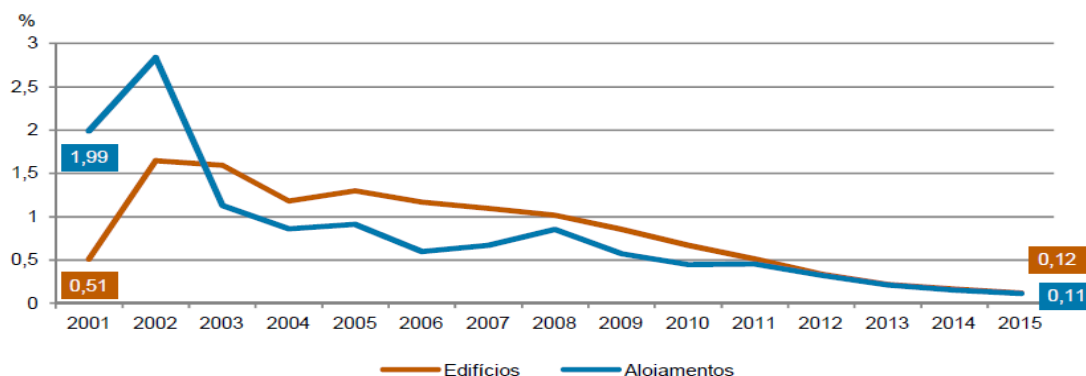


Figura 4.1 - Variação média anual do número de Edifícios clássicos e de Alojamentos - Portugal (2001-2015) [33]

Contudo, e tendo em conta o limite de vida útil estabelecido para edifícios de habitação pode-se afirmar que cerca de 30,38% já ultrapassaram este limite, reforçando a importância da reabilitação dos mesmos.

#### 4.1.2 Estado de conservação

Fazendo uma análise qualitativa dos dados relativos aos Censos de 2011 e por observação da Tabela 4.2 constata-se que aproximadamente 1,1% dos edifícios com cerca de 10 anos apresenta uma degradação bastante acentuada e que cerca de 27,3% apresenta necessidade de reparação, contabilizando-se cerca de 1 milhão de edifícios com necessidade de intervenção. Com o surgimento da regulamentação ocorreu uma melhoria do edificado, através de uma manutenção regular e uma boa dinâmica construtiva contribuindo para que 71% do edificado português não necessite de reparação. Contudo estes dados devem ser analisados com atenção uma vez que foram obtidos através de inspeção visual exterior da degradação da estrutura, cobertura, paredes e caixilharia, realizada por não especialistas podendo estes elementos estar em pior estado de conservação que a sua aparência exterior demonstra.

Tabela 4.2 - Estado de conservação dos edifícios existentes em Portugal em função das necessidades de reparação, por época de construção [32]

Estado de Conservação	Época de Construção						Total
	Antes de 1946	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 2000	Depois de 2000	
Sem Necessidades de Reparação	203.270	196.813	248.427	425.232	960.975	484.735	2.519.452
Percentagem de edifícios (%)	39,70	50,81	60,77	72,21	84,49	95,05	71,08
Com Necessidades de Reparação	268.633	181.111	156.093	160.883	174.341	24.721	965.782
Percentagem de edifícios (%)	52,46	46,76	38,18	27,32	15,33	4,85	27,25
Pequenas Reparações	130.720	107.390	104.723	120.211	141.426	19.852	624.322
Percentagem de edifícios (%)	25,53	27,72	25,62	20,41	12,44	3,89	17,61
Médias e Grande Reparações	137.913	73.721	51.370	40.672	32.915	4.869	341.460
Percentagem de edifícios (%)	26,93	19,03	12,57	6,91	2,89	0,95	9,63
Muito Degradado	40.136	9.416	4.311	2.743	2.000	549	59.155
Percentagem de edifícios (%)	7,84	2,43	1,05	0,47	0,18	0,11	1,67

### 4.1.3 Principais necessidades de reparação

Para que a reabilitação de edifícios vá ao encontro dos padrões de conforto hoje exigidos pela sociedade e melhorar a qualidade de vida nos centros urbanos é importante identificar quais os principais elementos do parque edificado em que importa intervir. Sendo o principal assunto o estudo das perdas térmicas ao nível da envolvente opaca, importa saber o estado de conservação de coberturas, estruturas e paredes uma vez que é por estas que ocorre maior dissipação de energia. Na Tabela 5.3, apresenta-se o número de edifícios por época de construção e a respetiva percentagem da necessidade de reparação destes elementos.

Tabela 4.3 - Elementos da envolvente dos edifícios existentes que requerem maiores necessidades de intervenção, por época de construção [32]

Número de edifícios com necessidades de reparação	Época de Construção						Total
	Antes de 1946	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 2000	Depois de 2000	
Cobertura	327.219	209.446	183.267	196.149	222.645	30.865	1.169.591
Percentagem de edifícios (%)	63,91	54,07	44,83	33,31	19,58	6,05	33,00
Estrutura	316.507	198.959	170.152	176.286	196.828	29.117	1.087.849
Percentagem de edifícios (%)	61,81	51,37	41,62	29,94	17,31	5,71	30,69
Paredes exteriores e Caixilharias	338.204	220.266	194.420	209.771	252.388	41.045	1.256.094
Percentagem de edifícios (%)	66,05	56,87	47,56	35,62	22,19	8,05	35,44

Analisando a tabela anterior, conclui-se que mais de um terço dos edifícios existentes em Portugal apresenta carência de reparação ao nível da envolvente. Da análise, é de fácil perceção que a idade do edifício é diretamente proporcional à necessidade de intervenção nestes elementos. Para reabilitar estes elementos é preciso compreender a sua constituição e evolução de forma a determinar medidas eficientes, capazes de fornecer padrões de qualidade cada vez mais exigidos pela sociedade.

### 4.1.4 Incentivos à reabilitação dos edifícios

A importância de reabilitação do parque edificado português é cada vez mais uma realidade. São vários os incentivos apresentados pelo governo português para a reabilitação dos edifícios, onde recentemente foi aprovado um investimento de 155 milhões de euros financiando em parte, pelo Portugal 2020 para a reabilitação de dez municípios do Alto Minho, bem como o investimento até 115 milhões para reabilitar 8.500 habitações sociais, favorecendo mais de 25 mil pessoas, com apoio de 82 milhões de euros por parte do Portugal 2020, sendo os restantes 33 milhões, garantidos no âmbito da comparticipação nacional pelas autarquias ou empresas municipais [34]. Foca-se o investimento na intervenção da envolvente opaca, nomeadamente na colocação de isolamento térmico na cobertura, paredes, pavimentos e caixa de estores, na substituição ao nível dos envidraçados de vidro simples por vidro duplo com ou sem recorte térmico e intervenções relativas a sistemas de produção de águas quentes sanitárias (AQS). São

ainda selecionáveis intervenções relacionadas com a iluminação interior, sistemas de gestão de energia, sistemas de ventilação e utilização de energias renováveis para autoconsumo, com principal objetivo de tornar os edifícios mais eficientes bem como proporcionar melhores condições de habitabilidade a famílias mais carenciadas [35].

Ainda na linha do Portugal 2020 foi criado o IFRRU 2020, com destino a apoiar investimentos em reabilitação urbana, cobrindo todo o território nacional, financiado quer por fundos do Portugal 2020, quer por fundos provenientes de outras entidades como o Banco Europeu de Investimento e o Banco de Desenvolvimento do Conselho da Europa. Este fundo tem como foco o apoio a intervenções na reabilitação de edifícios com idade igual ou superior a 30 anos; Reabilitação de espaços e unidades industriais abandonadas; Reabilitação de frações privadas inseridas em edifícios de habitação social que sejam alvo de reabilitação integral [36].

O certificado energético integra também um portal de acesso a incentivos. Em 2015 foi criado o “*Aviso 10 - Edifício Eficiente*”, onde é promovida a implementação, em edifícios existentes de habitação, anteriores a 1990, de soluções de isolamento térmico em coberturas e paredes exteriores, promovendo assim a melhoria do desempenho energético dessas habitações e o conforto higrotérmico bem como a redução ou eliminação das patologias associadas. Para que o proprietário do edifício possa receber incentivos é necessário que o edifício disponha de certificado energético (SCE), no qual conste a medida de melhoria de eficiência energética para a tipologia que pretende reabilitar e no caso de edifícios multifamiliares deve ser apresentado o certificado energético de pelo menos uma das frações candidatas. Com isto e para edifícios com classe de eficiência energética A ou superior ou quando reabilitados de forma eficiente, os municípios podem fixar uma redução de 15% da taxa do imposto municipal [37].

Estes incentivos vêm reforçar a importância do Certificado Energético e das medidas de melhoria que nele constam, numa redução das necessidades de energia promovendo energia renovável. Estima-se que com a implementação das medidas de melhoria nos edifícios existentes seria possível gerar uma atividade económica de até 2 mil milhões de euros, e contribuir para uma poupança energética média de 40% de energia despendida nas habitações [37].

São ainda exemplos de incentivos à reabilitação dos edifícios os seguintes programas [38]:

- RECRIA, de apoio à recuperação de fogos arrendados;
- REHABITA, que apoia as autarquias na recuperação de centros históricos ou áreas de recuperação e reconversão urbanística;
- RECRIPH, apoiando a recuperação de edifícios antigos de habitação multifamiliar;

- SOLARH, que apoia a realização de obras nas habitações de famílias de fracos recursos e a colocação no mercado de fogos devolutos apoiando os respetivos proprietários;
- PROHABITA, permitindo que as autarquias locais se candidatem a financiamentos para aquisição de prédios e fogos devolutos degradados e também serem comparticipados nos custos das obras de recuperação do edifício e da envolvente em que este se insere.

## 4.2 Envolvente dos edifícios existentes

Os edifícios portugueses são caracterizados consoante a época construtiva, onde os materiais e sistemas construtivos são testemunhos importantes para perceber o património construído. A envolvente do edifício significa a barreira física que demarca verticalmente, superiormente e inferiormente o espaço útil separando-o do ambiente exterior, de espaços não úteis confinantes (garagens, zonas comerciais), de outras frações independentes adjacentes do mesmo edifício ou de outros edifícios circunvizinhos já construídos ou previstos. Da constituição da envolvente fazem parte os elementos verticais (envidraçados e paredes), e os elementos horizontais (coberturas), Figura 4.2. A nível estético, a envolvente, é um elemento de paisagem urbana na qual é preservada a história e técnicas usadas pelos nossos antepassados, caracterizando assim as cidades. Tem a função de proteção, intimidade, revestimento interior e exterior, estrutural, barreira de ar, resistência ao fogo e barreira térmica e acústica entre o interior e o exterior. A inexistência de isolamento térmico nestes elementos leva a que aja uma perda de calor no interior dos edifícios, uma vez que o fluxo de calor ocorre do espaço mais quente para o espaço mais frio (zona interior e exterior). Desde o início das primeiras civilizações que se procura uma melhoria da envolvente, tanto a nível das técnicas construtivas, como a nível estético, indo ao encontro dos padrões regulamentares.

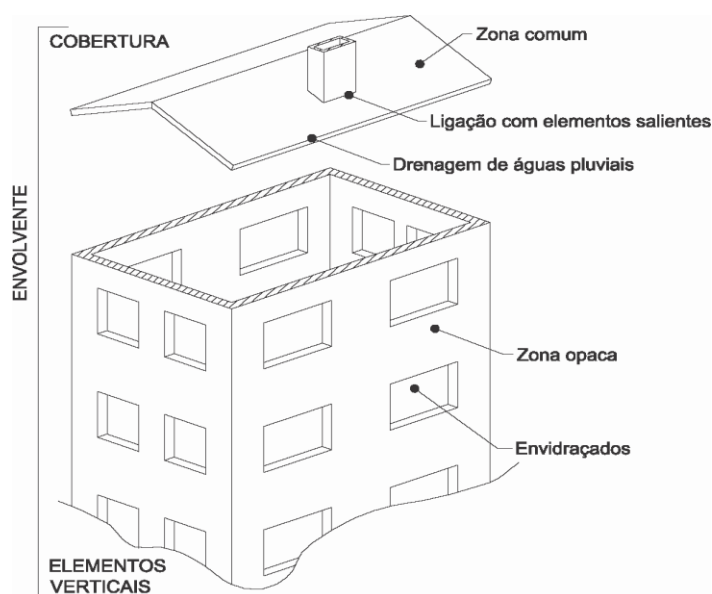


Figura 4.2 - Decomposição da envolvente [38]

### **4.2.1 Medidas de reabilitação térmica**

A presente dissertação foca a atenção nas perdas térmicas ao nível da envolvente para paredes, pavimentos e coberturas. Contudo na possibilidade de incluir medidas de eficiência energética deve-se ter em conta não só o estado de deterioração do edifício, mas também as características dos elementos construtivos da envolvente dos edifícios que podem conduzir a uma redução do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados, tanto no inverno como no verão, destacando-se:

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente (Correspondendo ao principal elemento a isolar);
- Presença de humidade;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas;
- Falta de proteções solares adequadas nos vãos envidraçados;
- Ventilação desregulada.

### **4.2.2 Evolução das técnicas construtivas**

Ao longo da evolução humana o homem procurou encontrar soluções de abrigo de forma a se proteger das intempéries e possíveis ataques de animais. Para isso utilizava os materiais que mais dispunha, aperfeiçoando-os, e melhorando as técnicas construtivas de acordo com as suas exigências. Na atualidade, são já muitos os edifícios por todo o mundo que espelham uma evolução notória de construção, diretamente associada a um desenvolvimento tecnológico nunca antes imaginado, levando ao surgimento de inúmeras possibilidades e técnicas construtivas, intervindo quer a nível estético quer a nível de eficiência e recurso dos materiais. As características físicas das habitações, principalmente os materiais e os sistemas construtivos, são indicadores importantes para compreender toda a evolução do património construído, estabelecendo uma ligação das características estruturais com a época de construção.

#### **4.2.2.1 Fachadas**

Em Portugal, ao longo das décadas as técnicas construtivas foram sendo aperfeiçoadas ocorrendo uma evolução não só nos materiais empregados mas também nas técnicas e disposições destes, havendo uma preocupação generalizada na eficiência e na obtenção de recursos. Na década de 40, as habitações eram construídas com recurso aos materiais locais, onde a pedra material abundante formava as fachadas exteriores dos edifícios através de paredes simples de cantaria e de alvenaria aparelhada. Consoante a zona do país esta pode ser encontrada sobre a forma de granito, predominante nas zonas de Trás-os-Montes, Beiras e Douro Litoral; De xisto, predominante no Douro e ainda nas Beiras. Em Lisboa e algumas zonas alentejanas, dominam os calcários, enquanto nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira a pedra utilizada é de origem vulcânica, geralmente basalto. Normalmente as paredes destes edifícios são de fácil identificação, uma vez que o paramento exterior (e por vezes também o

interior) é visível. São de grande espessura, possuindo assim uma elevada inércia térmica, mas em contrapartida ocorrem elevadas perdas térmicas através destes elementos.

Nos anos 50 desenvolve-se a construção estrutural de betão armado, com paredes de alvenaria de tijolo, em que não só reduzia a espessura das paredes como baixava o elevado custo que era a construção de fachadas com recurso à pedra. Desde então, ocorreu a substituição total da pedra pela alvenaria de tijolo, criando nos anos 60 paredes duplas com pano exterior mais espesso. Esta melhoria da constituição das paredes levou a que nos anos 70 tenha surgido a possibilidade de substituição do pano externo mais espesso por uma de menor espessura, caindo entretanto em desuso devido às várias fendas que surgiram pelo exterior.

Nos anos 90 é impulsionada pela legislação a utilização de isolamento térmico na caixa-de-ar das paredes duplas, fator essencial na redução das perdas de energia, mas a sua forma de aplicação/disposição ainda não era a ideal. A falta de isolamento em pilares, vigas e caixa de estores (pontes térmicas planas), tinha como consequência perdas de calor por estes elementos, tendo como consequência o surgimento de patologias. Contudo, só nos anos 90 aquando da criação do RCCTE é que apareceu o isolamento pelo exterior, tendo como foco o tratamento das pontes térmicas, Figura 4.3. Recentemente o tijolo térmico e acústico veio em substituição do tradicional, distinguindo-se pela sua geometria e características de isolamento. A sua colocação é realizada através de um sistema de encaixe evitando a utilização de argamassa na junta vertical, poupando-se em recursos e tempo, sendo assim uma material mais sustentável.

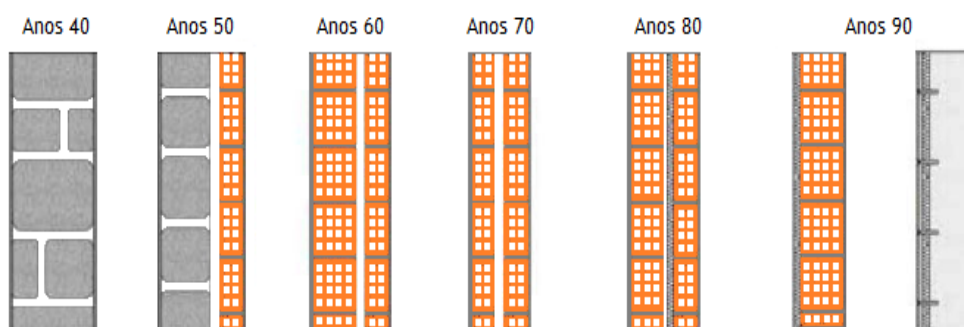


Figura 4.3 - Evolução das fachadas portuguesas ao longo dos anos [39]

Atualmente as fachadas portuguesas são apresentadas com as mais variadas soluções, garantindo elevadas exigências relativas ao design, qualidade a nível térmico e acústico, materiais, devendo ser pensadas na fase de projeto de forma a se relacionarem com o meio que as rodeia, bem como serem mais eficientes possíveis.

Contudo, e sabendo o envelhecimento do parque edificado português, importa intervir ao nível do isolamento térmico garantindo melhor conforto, redução dos consumos energéticos, promovendo a sustentabilidade ao mesmo tempo que se acompanha os padrões de evolução.

Não adianta investir em sistemas de climatização para obtenção de temperaturas interiores de conforto sem antes evitar que ocorra a dissipação desta temperatura para o exterior.

A eficiência térmica dos sistemas construtivos da envolvente dos edifícios é obtida através da utilização de materiais de baixa densidade, designados por isolantes térmicos, caracterizados por sua elevada resistência térmica. A escolha do tipo de isolante a usar deve ter em conta as características que o material isolante poderá representar, tais como forma de aplicação, espessura e densidades, exposições aos agentes atmosféricos, compatibilidade com outros materiais, peso, resistência ao fogo, impermeabilidade à água e permeabilidade ao vapor de água e não menos importante, a análise da sustentabilidade [40].

Reunindo todas estas características, o aglomerado negro de cortiça é considerada a melhor opção como isolamento térmico. De seguida são apresentadas as disposições possíveis da colocação do isolamento bem como as suas vantagens e desvantagens.

#### Isolamento térmico

Como já supracitado anteriormente a maioria dos edifícios em Portugal não possui isolamento térmico nas paredes, nomeadamente nos edifícios construídos antes de 1990, correspondendo a cerca de 69% do edificado [41]. O emprego de isolamento térmico nas fachadas apresenta-se como a solução mais eficaz para garantir os padrões de conforto no interior dos edifícios, bem como reduzir as preocupações associadas aos consumos energéticos e sustentabilidade ambiental.

O seu isolamento pode ser feito através de três tipos de soluções [42]:

- Isolamento pela face exterior da parede;
- Isolamento pela face interior da parede;
- Isolamento no interior das caixas-de-ar no caso de paredes duplas.

Não havendo restrições de ordem arquitetónica, o isolamento pelo exterior é considerado a melhor solução quando comparado com o isolamento pelo interior, nomeadamente no que diz respeito à eliminação das pontes térmicas e à preservação da inércia térmica interior do edifício. Para proceder a uma melhor escolha da solução de isolamento, deve-se ter em atenção os seguintes fatores:

Tabela 4.4 - Vantagens e desvantagens do isolamento pelo exterior de elementos opacos verticais [43]

Isolamento pelo exterior	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de aplicação com o edifício ocupado;</li> <li>• Isolamento total, impedindo as pontes térmicas;</li> <li>• Aproveitamento máximo da capacidade de armazenamento térmico da parede;</li> <li>• Reduzido risco de condensações internas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode alterar o aspeto das fachadas, não sendo permitido em edifícios históricos;</li> <li>• Pode ser frágil aos impactos;</li> <li>• As zonas mais frágeis necessitam de proteção;</li> <li>• Risco de desenvolvimento de colonização biológica.</li> </ul>

Tabela 4.5 - Vantagens e desvantagens do isolamento pelo interior de elementos opacos verticais [43]

Isolamento pelo interior	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais económico quando comparado com o isolamento pelo exterior;</li> <li>• A parede interna tem mais ganhos térmicos;</li> <li>• Mantêm-se a aparência da fachada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode possibilitar a redução do espaço interior;</li> <li>• Os seus trabalhos de aplicação são incómodos para os ocupantes;</li> <li>• Necessária avaliação das pontes térmicas.</li> </ul>

O isolamento de paredes duplas com caixa-de-ar é realizado através de injeção de isolamento. Existem várias formas de isolar pelo exterior, podendo ser adotados sistemas como fachadas ventiladas, sistema ETICS ou a colocação direta do isolamento ficando este à vista. Na presente dissertação devido às propriedades funcionais da cortiça e inúmeras possibilidades estéticas, adotou-se a colocação direta da cortiça como isolante das fachadas. São exemplos desta utilização as obras constantes da Figura 4.4:

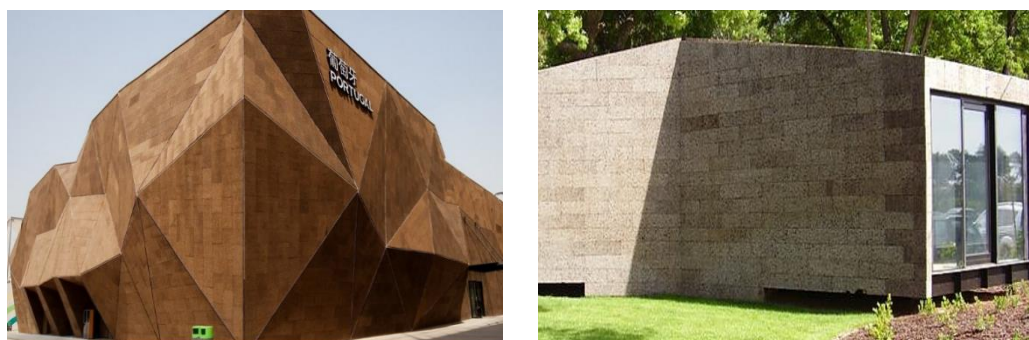


Figura 4.4 - Aplicação da cortiça como isolamento de fachadas pelo exterior [20]

#### 4.2.2.2 Pavimentos

Em edificações antigas os pavimentos mais usuais eram constituídos por estrutura de madeira sendo mais tarde substituídos por estrutura com laje aligeira ou maciça.

Na contabilização das perdas térmicas deve-se ter em conta o contato destes com espaços não aquecidos (ENU) por exemplo garagens, cave não-habitável, coberturas sem ocupação etc, e espaços exteriores, pois é na separação destes espaços que ocorrem as perdas de calor no edifício. Tal como acontece nos restantes elementos opacos da envolvente (paredes e coberturas), os pavimentos devem ser isolados termicamente de modo a minimizar os fluxos de calor. O isolamento térmico deve ser posicionado de modo a maximizar a inércia térmica interior, devendo optar-se, sempre que possível, por soluções de isolamento sob o suporte (laje).

#### Isolamento térmico

Para o reforço do isolamento térmico dos pavimentos existem três grandes opções:

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

Os pavimentos com cortiça correspondem a uma solução com inúmeras vantagens, uma vez que amortecem os choques dado à sua elasticidade, diminuem o ruído devido à sua capacidade de absorção, e são confortáveis, naturais, ecológicos, higiénicos, resistentes e de fácil manutenção. A aposta no *design* e nas mais avançadas tecnologias de preparação e tratamento de superfícies permitem disponibilizar os mais variados tipos de textura, cores e formatos que acompanham as tendências.

#### 4.2.2.3 Coberturas

Nas edificações anteriores a 1960 as coberturas eram maioritariamente executadas em estrutura de madeira. Na mesma linha da evolução das fachadas estas foram sendo substituídas por estruturas de betão. Contudo, a contabilização das perdas térmicas só começou a ser motivo de preocupação a partir de 2005, Figura 4.5.

A cobertura de um edifício corresponde à parte dos edifícios onde se encontram as principais flutuações térmicas, representando cerca de 30% das perdas de calor um edifício, correspondendo assim a um dos principais elementos a isolar, uma vez que no verão, o isolamento térmico nestes elementos permite evitar o sobreaquecimento e a transmissão de calor ao interior, enquanto no inverno reduz as fugas de calor para o exterior. No entanto deve-se ter em conta a espessura de isolamento a usar, uma vez a sua aplicação em excesso associado a uma ventilação deficiente e a falta de isolamento nas paredes pode conduzir a um sobreaquecimento dos espaços do edifício durante o verão, uma vez que o calor que entra pela envolvente vertical tem tendência a subir (ar quente mais leve) ficando retido junto às coberturas. Por essa razão, é importante conjugar o estudo térmico de todos os elementos da envolvente como um todo não esquecendo a importância da ventilação no edifício [44].

As coberturas podem ser inclinadas com aproveitamento ou não do sótão, e horizontais/planas. Consoante a sua disposição são possíveis diferentes opções de colocação de isolamento térmico, promovendo a sua eficiência [44].

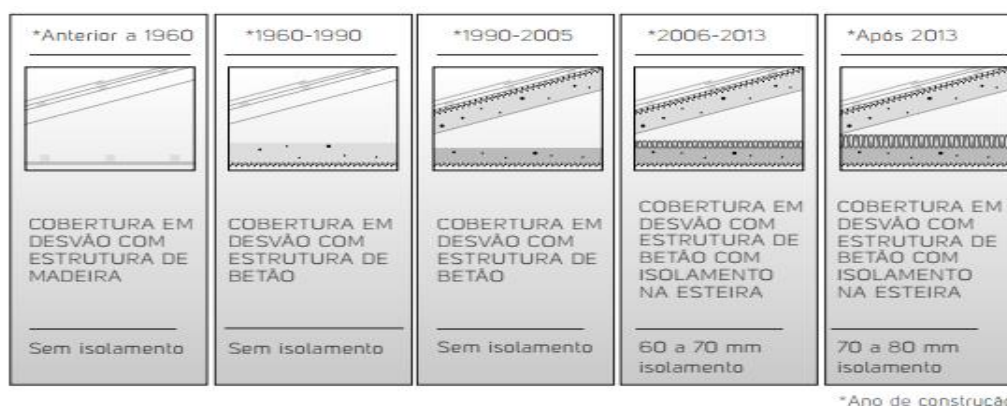


Figura 4.5 - Evolução das coberturas ao longo dos anos [44]

### Isolamento térmico

Em coberturas inclinadas a colocação do isolamento térmico apresenta as seguintes opções principais:

- Isolamento aplicado ao longo das vertentes, em posição superior;
- Isolamento aplicado ao longo das vertentes, em posição inferior;
- Isolamento aplicado na esteira do teto, em posição superior (desvão não habitado);
- Isolamento aplicado na esteira do teto, em posição inferior (desvão não habitado).

Nas coberturas horizontais existem três grandes opções de isolamento térmico a aplicar:

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

Atualmente nas coberturas horizontais pode-se recorrer a coberturas ajardinadas que se transformam em espaços de atenuação climática. Funcionando como barreira de proteção da radiação solar.

## 4.3 Conclusão do capítulo

O presente capítulo pretendeu reforçar a importância da reabilitação do parque habitacional português. Avaliando os dados presentes no último recenseamento habitacional (Censos 2011) pode-se enumerar um conjunto de fatores que provam que a solução não passa por fazer novos edifícios mas sim requalificar os existentes.

Portugal é um país cada vez mais na moda, onde os fatores paisagísticos e arquitetónicos correspondem aos pontos de principal interesse para quem nos visita. Observando o estado de conservação dos edifícios portugueses principalmente os mais antigos denota-se a importância da reabilitação dos mesmos numa promoção e ressalva histórica que tanto caracteriza as nossas cidades.

Apresentou-se um conjunto de incentivos à reabilitação de edifícios servindo de suporte financeiro para a possível requalificação térmica dos edifícios. Estudou-se toda a evolução e técnicas construtivas servindo de avaliação para a importância da envolvente opaca dos edifícios nomeadamente (paredes, pavimentos e coberturas) na garantia e comportamento térmico global dos edifícios.

## **Capítulo 5 - Metodologia de Cálculo**

## Capítulo 5 - Metodologia de Cálculo

- 5.1. Regulamento do desempenho energético de edifícios de habitação (REH)
- 5.2. Parâmetros dos elementos opacos
- 5.3. Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência
- 5.4. Níveis de qualidade
- 5.5. Catálogo de soluções técnicas para a reabilitação térmica de edifícios incorporando cortiça
- 5.6. Conclusão do capítulo

## Capítulo 5 - Metodologia de Cálculo

O presente capítulo apresenta a metodologia necessária para a apresentação de soluções de isolamento térmico com aplicação de aglomerado negro de cortiça para as principais constituições existentes da envolvente. Esta metodologia determina-se com base no Regulamento Energético de Edifícios de Habitação, onde são explicados todos os parâmetros necessários para quantificar a envolvente ao nível da qualidade térmica.

### 5.1 Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Habitação - REH

O REH é caracterizado por ser uma junção dos dois regulamentos usados anteriormente, RCCTE e RSECE, adotando simultaneamente os requisitos estabelecidos pela Diretiva de modo a que exista uma coesão natural de conceitos utilizados, ao mesmo tempo suscitando a facilidade de interpretação por parte de todos os utilizadores, sejam eles peritos qualificados ou utilizadores com um entendimento mínimo dos conceitos necessários. De acordo com o artigo 22º do Decreto-Lei n.º 118/2013, o REH “estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente” [45].

Os objetivos a alcançar com o REH são os seguintes [45]:

- Promover a melhoria do comportamento térmico;
- Promover a eficiência dos sistemas técnicos;
- Minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

O REH aplica-se aos edifícios destinados a habitação, nas seguintes situações [45]:

- Projeto e construção de edifícios novos;
- Grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes;
- Avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes, no âmbito do SCE.

#### 5.1.1 Zonamento Climático

Os dados climáticos são um dos parâmetros mais importantes na simulação térmica dos edifícios, principalmente na previsão das necessidades de aquecimento/arrefecimento e

respetivo dimensionamento dos sistemas de climatização. Estes parâmetros são explicados pelo Despacho n.º 15793-F/2013 de 3 de dezembro, com as retificações introduzidas pela Declaração de Retificação n.º 130-2014, publicada no DR n 29, Série II, de 11 de fevereiro de 2014. O regulamento divide o país em 3 zonas de inverno (I1-I2-I3) e 3 zonas de verão (V1-V2-V3), como se pode ver na Figura 5.1, de forma a identificar o tipo de clima para aplicação de requisitos de qualidade térmica, onde (I1-V1) representa um clima mais ameno e (I3-V3) representa um clima mais agreste [46].

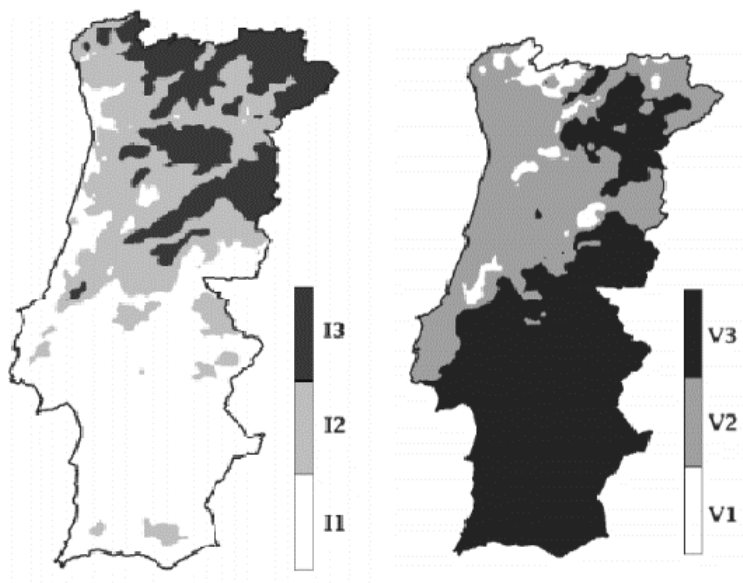




Figura 5.1 - Zonas climáticas de Inverno e Verão segundo o REH [46]

O zoneamento climático do País tem por base a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, sendo a composição por municípios baseada no Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de abril de 2008, entretanto demudado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto, e está especificado na Tabela 5.1. O REH determina as condutas para adequar os parâmetros climáticos da região (exceto a radiação solar). Para isso é necessário conhecer a região do território Nacional onde se localiza o edifício, a altitude de referência e a altitude do local de implantação do mesmo [46].

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) desenvolveu uma folha de cálculo em “Excel” para Políticas Públicas, onde são apresentadas de forma didática as informações climatéricas de cada município como: as zonas de verão e inverno; a latitude, longitude e altitude do local, bem como os dados climáticos referentes à estação de aquecimento e arrefecimento, como podemos ver no exemplo para a cidade da Covilhã, na Figura 5.2. A folha de cálculo pode ser adquirida em: <http://www.lneg.pt/servicos/35/2171/>.

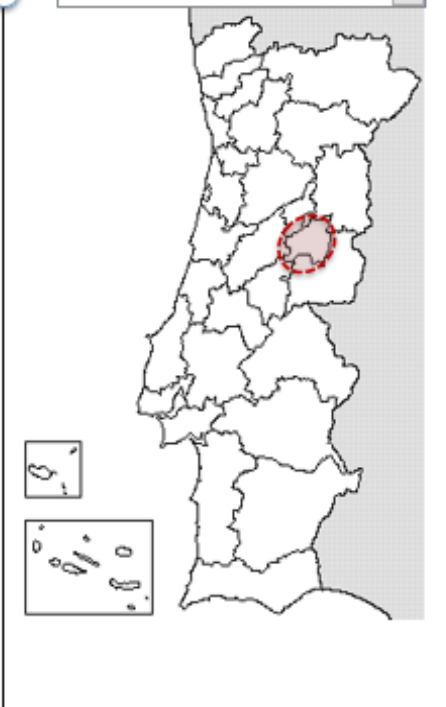
Tabela 5.1 - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos [46]

NUTS III	MUNICÍPIOS
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira
Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Cávado	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde
Ave	Cabeceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela
Grande Porto	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia
Tâmega	Amarante, Baião, Castelo de Paiva, Celorico de Basto, Cinfães, Felgueiras, Lousada, Marco de Canaveses, Paços de Ferreira, Paredes, Penafiel, Resende
Douro	Alijó, Armamar, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Lamego, Mesão Frio, Moimenta da Beira, Murça, Penedono, Peso da Régua, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Tarouca, Torre de Moncorvo, Vila Nova de Foz Coa, Vila Real
Entre Douro e Vouga	Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Vale de Cambra
Baixo Vouga	Águeda, Albergaria-a-Velha, Anadia, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Sever do Vouga, Vagos
Baixo Mondego	Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Mealhada, Mira, Montemor-o-Velho, Mortágua, Penacova, Soure
Beira Interior Norte	Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Guarda, Manteigas, Mêda, Pinhel, Sabugal, Trancoso
Beira Interior Sul	Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Penamacor, Vila Velha de Ródão
Cova da Beira	Belmonte, Covilhã, Fundão
Serra da Estrela	Fornos de Algodres, Gouveia, Seia
Dão - Lafões	Aguiar da Beira, Carregal do Sal, Castro Daire, Mangualde, Nelas, Oliveira de Frades, Penalva do Castelo, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Sátão, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu, Vouzela
Pinhal Interior Norte	Alvaiázere, Ansião, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penela, Tábua, Vila Nova de Poiares
Pinhal Litoral	Batalha, Leiria, Marinha Grande, Pombal, Porto de Mós
Oeste	Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras
Médio Tejo	Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila Nova da Barquinha
Lezíria do Tejo	Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém
Grande Lisboa	Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira
Península de Setúbal	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal
Alto Alentejo	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre
Alentejo Central	Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Sousel, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vila Viçosa
Alentejo Litoral	Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém, Sines
Baixo Alentejo	Aljustrel, Almodôvar, Alvíto, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Mértola, Moura, Ourique, Serpa, Vidigueira
Algarve	Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, S. Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo, Vila Real de Santo António
Região Autónoma dos Açores	Vila do Porto, Lagoa, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande, Vila Franca do Campo, Angra do Heroísmo, Praia da Vitória, Santa Cruz da Graciosa, Calheta, Velas, Lajes do Pico, Madalena, São Roque do Pico, Horta, Lajes das Flores, Santa Cruz das Flores, Vila do Corvo
Região Autónoma da Madeira	Calheta, Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana, São Vicente, Porto Santo

**Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica**    
 versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

**Seleção por município**

Covilhã



**preparar ficheiro**

EPW (formato EnergyPlus Weather)

**Zona climática**

NUTS 3: Cova da Beira  
 Latitude: 40,2 °N (nominal)  
 Longitude: 7,5 °W (nominal)  
 Altitude: 507 m (referência)

**Local específico**

Município: Covilhã  
 Altitude: **507** m

**Dados climáticos**

Referência: **local**

**Estação de aquecimento**

Período:	7,1	7,1 meses
T média:	7,5	7,5 °C
Graus-dia:	###	## °C

**Estação de arrefecimento**

T média:	22,5	## °C
----------	------	-------

**Zonas de verão e inverno**

V 3 I 2



Sistema Nacional de Certificação de Edifícios  
 Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.2 - Software para Políticas Públicas LNEG [47]

### 5.1.2 Estação de aquecimento/Zonamento de Inverno

A estação de aquecimento tem início no primeiro decêndio a 1 de outubro em que a temperatura média diária é inferior a 15°C e termina no último decêndio anterior a 31 de maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C. O limiar para os graus-dia de aquecimento é de 18°C. Segundo o REH todos os edifícios sobre o zonamento climático de Inverno em Portugal Continental que se encontram a uma altitude superior aos 600m, passam automaticamente a pertencer ao zonamento climático I3.

Nas Regiões Autónomas (Açores e Madeira) existem algumas variações, Tabela 5.2:

Tabela 5.2 - Influência da altitude sobre o zonamento climático de inverno nas Região Autónomas (Madeira e Açores) [48]

REH	
Altitude do local (h) - [m]	Zona Climática de Inverno
$h < 600\text{m}$	I1
$600\text{m} < h < 1000\text{m}$	I2
$h > 1000\text{m}$	I3

As zonas climáticas de inverno são explicadas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento, conforme a Tabela 5.3:

Tabela 5.3 - Dados climáticos de inverno de acordo com o número de graus-dias [46]

Critério	$\text{GD} \leq 1300$	$1300 < \text{GD} \leq 1800$	$\text{GD} > 1800$
Zona	I1	I2	I3

Os parâmetros climáticos relativos à estação de aquecimento (inverno) são os seguintes:

- GD - Número de graus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento;
- M - Duração da estação de aquecimento;
- $\theta_{\text{ext},i}$  - Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;
- $G_{\text{Sul}}$  - Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m<sup>2</sup>.mês]. O ajuste dos parâmetros climáticos GD referidos a um determinado local, são conseguidos a partir de valores de referência XREF definidos para cada região, tabela 5.4, adaptados com base na altitude desse local (Z), conforme a seguir se indica. Nas fórmulas apresentadas, os valores de Z e ZREF devem ser utilizados em Km.

Tabela 5.4 - Parâmetros climáticos referentes à estação de aquecimento [46]

PARÂMETRO	CÁLCULOS DE AJUSTE
GD [°C.dia]	$\text{GD} = \text{GD}_{\text{REF}} + a \times (Z - Z_{\text{REF}})$
M [meses]	$M = M_{\text{REF}} + a \times (Z - Z_{\text{REF}})$
$G_{\text{Sul}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> .mês)]	Leitura direta da (Tabela 2.5)
$\theta_{\text{ext},i}$ [°C]	$\theta_{\text{ext},i} = \theta_{\text{ext},i,\text{REF}} + a \times (Z - Z_{\text{REF}})$

Os valores de referência e declives para ajustes em altitude estão tabelados por NUTS III na Tabela 5.5:

Tabela 5.5 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [46]

	z	M		GD		$\Theta_{ext,i}$		Gsul kWh/m <sup>2</sup> por mês
	REF m	REF meses	a mês/Km	REF °C	a °C/Km	REF °C	a °C/Km	
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Tâmega	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135
Pinhal Interior Norte	361	6,8	0	1555	1600	8,3	-5	140
Pinhal Interior Sul	361	6,7	1	1511	1500	8,4	-4	145
Pinhal Litoral	126	6,6	0	1323	1900	9,6	-5	140
Oeste	99	5,6	0	1165	2200	10,3	-8	145
Médio Tejo	168	5,9	0	1330	1300	9,5	-4	145
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1135	2700	10,2	-7	145
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150
Península de Setúbal	47	4,7	0	1045	1500	10,7	-4	145
Alto Alentejo	246	5,3	2	1221	1200	9,6	-3	145
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1089	1100	10,8	-2	150
Baixo Alentejo	178	5,0	0	1068	1000	10,7	-2	155
Algarve	145	4,8	0	987	1800	11,3	-6	155
R.A. Açores	10	2,9	1	604	1500	14,4	-7	110
R.A. Madeira	380	3,2	1	618	1500	14,8	-7	105

### 5.1.3 Estação de arrefecimento/Zonamento de Verão

No regulamento são definidos valores de referência para os parâmetros climáticos, estabelecidos para uma altitude de referência desses locais, sendo que quanto maior esta for menos intensa será a zona correspondente como se pode verificar na Tabela 5.6. Esses valores e altitudes de referência são estabelecidos para cada uma das regiões definidas nas NUTS (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) de nível III, Tabela 5.1. A

estação de arrefecimento inicia-se a 1 de junho, terminando a 30 de setembro, ou seja, 4 meses = 2928 horas.

Tabela 5.6 - Influência da altitude no zonamento de Verão em Portugal Continental e nas regiões autónomas [48]

REH	
Altitude do local (h) em [m]	Zona Climática
600 m < h < 800 m	V2
h > 800 m	V1

A temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ), é que define a zona climática de verão conforme a Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Critérios para a determinação da zona climática de verão [46]

CRITÉRIO	$\theta_{ext,v} \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$20 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22 \text{ }^\circ\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22 \text{ }^\circ\text{C}$
ZONA	V1	V2	V3

Os parâmetros climáticos relativos à estação de arrefecimento (verão) são os seguintes:

- $L_v$  [horas] - Duração da estação = 4 meses = 2928 horas
- $\theta_{ext,v}$  [ $^\circ\text{C}$ ] - Temperatura exterior média, [ $^\circ\text{C}$ ]
- $I_{sol}$  [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ] - Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação  $0^\circ$ ), e em superfícies verticais (inclinação  $90^\circ$ ) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [ $\text{kWh}/\text{m}^2$  acumulados de Junho a Setembro].

O ajuste dos parâmetros climáticos referidos a um determinado local, são conseguidos a partir de valores de referência definidos para cada região (Tabela 5.8), adaptados com base na altitude desse local (Z). Na aplicação das fórmulas apresentadas, os valores de Z e ZREF devem ser utilizados em Km.

Tabela 5.8 - Parâmetros climáticos referentes à estação de aquecimento [46]

PARÂMETRO	CÁLCULOS DE AJUSTE
$L_v$ [horas]	Valor fixo = 4 meses = 2928 horas
$\theta_{ext,v}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v,REF} + a \times (Z - Z_{REF})$
$I_{sol}$ [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ]	Leitura direta da (Tabela 2.9)

Os valores de referência e declives para ajustes em altitude estão tabelados por NUTS III na Tabela 5.9:

Tabela 5.9 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento [46]

	z REF m	Θ <sub>ext,v</sub>		I <sub>sol</sub> kWh/m <sup>2</sup> acumulados de junho a setembro								
		REF °C	a °C/Km	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	
				N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	130	425	485	475	345
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	125	425	485	480	345
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	125	425	490	485	345
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	125	425	490	490	350
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	130	425	490	490	350
Tâmega	320	21,4	-3	800	220	350	490	135	425	490	490	350
Douro	579	22,7	-6	805	220	350	490	135	420	490	490	350
Entre Douro e Vouga	298	20,6	-3	805	220	350	490	135	425	490	490	350
Baixo Vouga	50	20,6	-2	810	220	355	490	140	420	490	490	355
Baixo Mondego	67	20,9	0	825	225	360	495	140	420	495	495	360
Beira Interior Norte	717	21,7	-5	820	220	355	495	135	425	500	495	355
Beira Interior Sul	328	25,3	-7	830	220	360	500	140	420	495	500	360
Cova da Beira	507	22,5	-6	825	225	360	495	140	425	495	495	360
Serra da Estrela	553	21,0	-4	820	225	355	495	135	420	495	495	355
Dão - Lafões	497	21,2	-3	815	220	355	495	135	415	490	495	355
Pinhal Interior Norte	361	21,2	-2	825	220	357	500	140	420	495	500	357
Pinhal Interior Sul	361	22,4	-3	830	225	360	500	145	420	500	500	360
Pinhal Litoral	126	20,1	-2	830	225	360	500	140	415	495	500	360
Oeste	99	21,0	0	835	225	360	500	145	415	495	500	360
Médio Tejo	168	22,1	-7	835	220	360	500	145	415	495	500	360
Lezíria do Tejo	73	23,1	-6	835	225	365	500	145	410	495	500	365
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	150	410	495	500	365
Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	145	410	495	505	365
Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	145	415	500	505	365
Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	150	415	500	510	370
Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	150	405	495	510	365
Baixo Alentejo	178	24,7	0	855	225	370	510	155	405	495	510	370
Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	155	405	500	515	375
R.A. Açores	10	21,3	-6	640	195	285	375	110	235	375	375	285
R.A. Madeira	380	20,2	-6	580	195	260	325	320	280	320	325	260

## 5.2 Parâmetros dos elementos opacos

Na envolvente opaca de (paredes, pavimentos e coberturas exteriores, pavimentos térreos, pavimentos e paredes enterradas, e paredes, pavimentos e coberturas interiores) acontece troca de energia térmica devida às diferenças de temperatura entre o espaço exterior e interior das habitações. Esta troca, transmissão de calor por convecção, condução e radiação, tem como consequência a perda da temperatura interior de conforto. Para quantificar toda a envolvente ao nível das perdas térmicas é necessária a caracterização das soluções construtivas como a espessura, os materiais constituintes e suas resistências térmicas e a disposição das camadas, de forma a obter o coeficiente de transmissão térmica (U) do elemento construtivo.

Nas paredes, as diferentes soluções construtivas estão diretamente relacionadas com a época do edificado; dessa forma é possível fazer uma divisão das tipologias dos edifícios segundo esse critério, porém, por vezes devido à falta de projeto construtivo é difícil obter os dados referentes aos materiais construtivos. Para tal existem métodos, como a extração de um carote do material que constitui a parede ou ainda através da utilização de um termofluxímetro, em que este possibilita a medição in-situ do fluxo de calor para a determinação da resistência térmica de acordo com a EN ISO 6946.

Considerando as espessuras e características dos materiais calcula-se o valor do coeficiente de transmissão térmica (U), essencial para perceber se a solução construtiva constitui ou não um bom isolante, representado pela fórmula (2.1):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}, \text{ em [w/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \quad (2.1)$$

em que:

- U = Coeficiente de transmissão térmica, em [W/(m<sup>2</sup>.°C)]
- R<sub>j</sub> = Resistência térmica da camada j, em camadas homogéneas, R<sub>j</sub> = e/λ, [m<sup>2</sup>.°C/W];
- R<sub>si</sub> = Resistência térmica superficial interior, [m<sup>2</sup>.°C/W];
- R<sub>se</sub> = Resistência térmica superficial exterior, [m<sup>2</sup>.°C/W];
- e = Espessura da camada j;

Principais conceitos para melhor compreensão do tema [40]:

- Coeficiente de transmissão térmica - O coeficiente de transmissão térmica (U), expresso em [W/(m<sup>2</sup>.°C)], é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperaturas entre os ambientes que ele separa.
- Condutividade Térmica - A condutividade térmica (λ), expressa em [W/(m.°C)] é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogéneos, e que representa a quantidade de calor (expressa em [W] por unidade de área [m<sup>2</sup>]) que

atravessa uma espessura unitária [m] de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1°C).

- **Inércia Térmica** - A inércia térmica refere-se à capacidade de um elemento armazenar calor, libertando-o passado algo tempo, captando os ganhos de calor durante o dia (evitando o sobreaquecimento) e libertá-lo à noite (evitando o arrefecimento), contribuindo para uma maior permanência das temperaturas interiores, relativamente às oscilações térmicas exteriores, permitindo assim o uso mais racional de sistemas de climatização. Esta depende da massa dos elementos da construção e da condutividade térmica dos materiais.
- **Resistências Térmicas Superficiais (Interior e Exterior)** - A resistência térmica (R) de um determinado material corresponde à capacidade que este tem em impedir a transmissão de calor, e é determinada pelo quociente entre a espessura do material (E) e a sua condutividade térmica ( $\lambda$ ), expressa em  $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$ .

É importante realçar que quanto mais baixo for o valor do U mais eficiente é o elemento construtivo. Este parâmetro depende da resistência térmica (R) de cada material que constitui o elemento em estudo, que por sua vez quanto mais alto for este valor mais eficiente é o material termicamente. Sabendo o valor de U de todo elemento construtivo é possível calcular a espessura de isolamento térmico necessário para garantir os padrões de conforto regulamentares e reduzir os gastos energéticos [43].

Os valores da resistência térmica superficial interior e exterior são de acordo com Tabela 5.10 apresentada de seguida, variando estes de acordo com a direção e sentido do fluxo de calor.

Tabela 5.10 - Valores das resistências térmicas superficiais, R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub> [46]

Sentido do fluxo de calor		Resistência Térmica [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]	
		Exterior R <sub>se</sub>	Interior R <sub>si</sub>
Horizontal (paredes)		0,04	0,13
Vertical	Ascendente (pavimentos e coberturas)	0,04	0,10
	Descendente (pavimentos e coberturas)	0,04	0,17

Em caso de dúvida das soluções construtivas, do tipo de material, respetivas resistências térmicas e condutividades térmicas, utiliza-se como referência as publicações do LNEC, servindo de base para os cálculos das soluções construtivas o “*ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*” e a publicação do LNEC “*ITE 54 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios*”. Prontamente são apresentadas as principais constituições de paredes, pavimentos e coberturas

mais usuais em Portugal e seus respectivos coeficientes de transmissão térmica sem isolamento, para proceder ao cálculo necessário para o melhoramento térmico.

### 5.2.1 Fachadas

Para contabilizar o coeficiente de transmissão térmica (U) de todo o elemento é necessário saber a resistência de todos os materiais que constituem a mesma.

A pedra nos anos 40 como constatado no capítulo 4, era um dos materiais mais utilizados na estruturação das fachadas das habitações Portuguesas. Porém este material apresenta uma baixa resistência térmica (R) (Tabela 5.11), tendo como consequência um elevado coeficiente de transmissão térmica (U), ou seja, é um ótimo condutor térmico fazendo com que o calor no interior dos edifícios seja dissipado pela envolvente para o exterior. Para inverter esta situação, neste tipo de tipologias construtivas é necessária a colocação de isolamento térmico de forma a baixar o coeficiente de transmissão térmica (U), aumentando assim os padrões de conforto. Consideram-se isolantes térmicos os materiais e produtos que apresentem uma condutividade térmica inferior a 0,065 [W/(m.°C)] e uma resistência térmica superior a 0,030 [(m².°C)W], variando esta de acordo com a espessura do material. De seguida são apresentados os principais materiais que mais constituem as paredes exteriores dos edifícios existentes e suas respectivas propriedades, necessárias para proceder ao cálculo do U das tipologias em estudo.

Tabela 5.11 - Propriedade térmicas dos materiais construtivos [40]

Material	Condutividade térmica $\lambda$ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	Resistência Térmica R [m².°C/W]
Pedra	2,8	0,20	0,07
		0,40	0,14
		0,60	0,21
Tijolo cerâmico	0,41	0,11	0,27
		0,15	0,39
		0,20	0,49
		0,25	0,56
Bloco de betão normal	0,76	0,11	0,14
		0,15	0,20
		0,20	0,26
		0,25	0,33
Betão armado	2	0,10	0,05
		0,15	0,075
		0,20	0,10
Argamassa e reboco tradicional	1,3	0,02	0,015
Estuque tradicional	0,40	0,02	0,05
Taipa ou adobe	1,11	0,40	0,36
		0,60	0,55
		0,80	0,73
		100	0,91
Madeira densa	0,23	0,020	0,09
		0,030	0,13
		0,040	0,17
Laje aligeirada de tijolo cerâmico	0,88	0,15	0,17

Camada de regularização	1,65	0,05	0,03
Telha cerâmica	0,04	-	0,17
Aglomerado de cortiça expandida	0,045	0,030 0,060	0,67 1,33
Forro de madeira	0,17	0,030	0,12
Ladrilho cerâmico	1,30	0,02	0,015
Caixa-de-ar	0,03	0,18	0,17

Para facilitar a criação das Tabelas 5.12 e 5.13, as paredes exteriores são tipificadas da seguinte forma uma vez que são as constituições mais usuais dos edifícios anteriores a 1990 :

- PE1 - Paredes exteriores simples:
  - PE 1.1 - Betão armado
  - PE 1.2 - Bloco de betão normal
  - PE 1.3 - Pedra
  - PE 1.4 - Taipa ou adobe
  - PE 1.5 - Tijolo furado
  
- PE2 - Paredes exteriores duplas:
  - PE 2.1 - Betão armado + bloco de betão normal
  - PE 2.2 - Betão armado + tijolo furado
  - PE 2.3 - Bloco de betão normal 2x
  - PE 2.4 - Pedra + bloco de betão normal
  - PE 2.5 - Pedra + tijolo furado
  - PE 2.6 - Tijolo furado 2x

Prontamente apresenta-se os valores de coeficiente de transmissão térmica de paredes simples sem isolamento térmico, onde estes podem ser utilizados para soluções de paredes sem revestimento numa ou em ambas as faces. Para as paredes, com sentido do fluxo de calor horizontal,  $R_{si} = 0,13$  e  $R_{se} = 0,04$ . Os valores de U presentes apresentados de seguida para paredes, pavimentos e coberturas foram determinados de forma analítica com base nos valores do ITE 50 e ITE 54.

Tabela 5.12 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples exteriores [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

Paredes simples exteriores		
Tipologia	Espessura [m]	U [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
PE 1.1	(0,10 a 0,20)	3,64
PE 1.2	(0,20 a 0,30)	1,89
PE 1.3	(0,40 a 0,60)	2,74
PE 1.4	(0,40 a 1,00)	1,40
PE 1.5	(0,40 a 0,24)	1,32

Para a solução de paredes duplas exteriores, são apresentadas diferentes espessuras e seus respectivos coeficientes de transmissão térmica sem isolamento. Estes valores já contabilizam de fora para dentro - reboco exterior com  $R = 0,015$  (exceto paredes de pedra); resistência da estrutura de suporte; estuque tradicional com  $R = 0,05$  (Tabela 5.11), e  $R_{si} = 0,13$  e  $R_{se} = 0,04$ . Nas tipologias PE 2.1; PE 2.2; PE 2.4 e PE 2.5 não se considerou a existência de uma caixa-de-ar, estando assim do lado da segurança.

Tabela 5.13 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes duplas exteriores [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

Paredes duplas exteriores		
Tipologia	Espessura [m]	Coeficiente de transmissão térmica U [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
PE 2.1	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,90
	(0,10 a 0,20) + 0,15	1,74
PE 2.2	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,55
	(0,10 a 0,20) + 0,15	1,31
PE 2.3	0,11 + 0,11	1,80
	0,11 + 0,15	1,68
	0,15 + 0,15	1,57
PE 2.4	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,79
	0,40 a 0,60) + 0,15	1,67
PE 2.5	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,50
	0,40 a 0,60) + 0,15	1,27
PE 2.6	0,11 + 0,11	1,29
	0,11 + 0,15	1,12
	0,15 + 0,15	0,99

Por observação das tabelas anteriores conclui-se que estes elementos construtivos apresentam um elevado coeficiente de transmissão térmica quando comparados com os valores de referência e máximos adotados pelo REH (apresentados prontamente), para as três zonas climáticas de inverno (I1-I2-I3), concluindo-se pelo seu mau isolamento térmico.

## 5.2.2 Pavimentos

Os pavimentos foram divididos em:

- Pavimento com laje de madeira;
- Pavimento com laje de betão armado;
- Pavimento com laje aligeirada de tijolo cerâmico.

As resistências térmicas superficiais exteriores e interiores dos pavimentos variam consoante a zona de contato a que este estão sujeitos. Os pavimentos que requerem mais atenção ao nível das perdas térmicas são os seguintes:

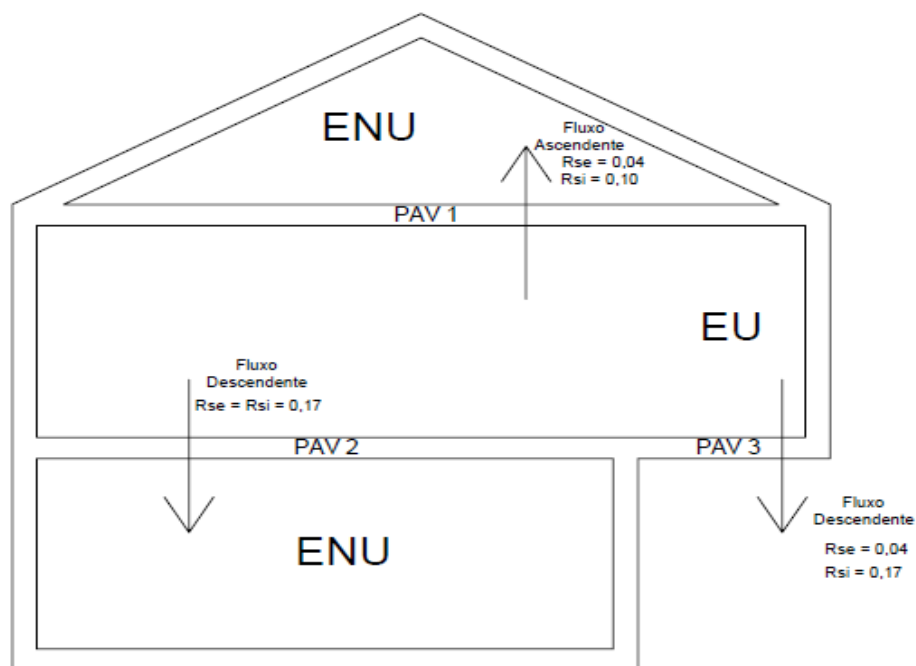


Figura 5.3 - Fluxos de calor e resistências térmicas superficiais dos pavimentos [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

- PAV 1 - Pavimento interior que separa o espaço útil (aquecido) do espaço não útil (não aquecido), por exemplo pavimento de esteira. Para o sentido do fluxo de calor ascendente  $R_{se} = 0,10$  e  $R_{si} = 0,04$  [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];
- PAV 2 - Pavimento interior que separa o espaço útil (aquecido) do espaço não útil (não aquecido), por exemplo (garagem, zona comercial). Para o sentido do fluxo de calor no sentido descendente  $R_{si} = R_{se} = 0,17$  [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];
- PAV 3 - Para pavimentos em contato com o exterior,  $R_{se} = 0,04$  [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];  $R_{si} = 0,17$  [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ].

De seguida apresenta-se os valores de U para os principais pavimentos em análise:

Tabela 5.14 - Coeficientes de transmissão térmica de pavimentos [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]

Pavimentos			
Tipo de laje		Espessura [m]	U [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]
PAV 1	Laje madeira	0,020	1,92
	Laje de betão	0,20	3,51
	Laje aligeirada de tijolo cerâmico	0,15	2,82
Tipo de laje		Espessura [m]	U [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]
PAV 2	Laje madeira	0,020	1,40
	Laje de betão	0,25	1,34
	Laje aligeirada de tijolo cerâmico	0,15	1,75
Tipo de laje		Espessura [m]	U [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]
PAV 3	Laje de betão	0,20	1,63
	Laje aligeirada de tijolo cerâmico	0,15	2,27

Os valores de U são referentes à constituição total do elemento, de cima para baixo, com revestimento de piso de madeira  $R = 0,09$ , ou ladrilho cerâmico,  $R = 0,015$ ; Camada regularização  $R = 0,03$  (exceto PV1 com cobertura sem ocupação); Resistência do tipo de suporte; Revestimento de teto  $R = 0,015$ .

### 5.2.3 Coberturas

As coberturas foram divididas em:

- Coberturas inclinadas sem ocupação (maciças, aligeiradas ou leves);
- Coberturas inclinadas com ocupação (maciças, aligeiradas ou leves);
- Coberturas horizontais (maciças ou aligeiradas).

Se a cobertura for inclinada sem ocupação (espaço não útil), adota-se a colocação do isolamento térmico sobre o pavimento de esteira, por isso o valor de U será o mesmo do adotado para os pavimentos de esteira - PAV 1. Se a cobertura for inclinada e o sótão tiver ocupação, adota-se a colocação do isolamento térmico sob a laje de cobertura, onde neste caso é contabilizada a resistência térmica da telha. A laje da cobertura tem um  $R_{se} = 0,04$  e um  $R_{si} = 0,10$ .

De seguida apresenta-se os valores de U referentes às coberturas em análise:

Tabela 5.15 - Coeficientes de transmissão térmica de coberturas [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

Tipo de cobertura	Constituição		
Cobertura inclinada sem com ocupação	Madeira	Betão armado	Aligeirada cerâmica
Espessura [m]	0,04	0,20	0,15
Coeficiente de transmissão térmica [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]	1,92	3,51	2,82
Cobertura inclinada com ocupação	Madeira	Betão armado	Aligeirada cerâmica
Espessura [m]	0,04	0,20	0,15
Coeficiente de transmissão térmica [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]	2,33	2,26	1,95
Cobertura horizontal	Madeira	Betão armado	Aligeirada cerâmica
Espessura [m]	-	0,20	0,15
Coeficiente de transmissão térmica [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]	-	3,33	2,70

## 5.3 Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência

### 5.3.1 Envoltente Exterior

Conforme o REH, o coeficiente de transmissão térmica de elementos da envoltente exterior opaca dos edifícios onde se incluem elementos construtivos do tipo paredes, pavimentos, coberturas, estão limitados por valores máximos ( $U_{m\acute{a}x}$ ), com a finalidade de assegurar um conforto térmico adequado e evitar condensações. Estes valores estão definidos na Tabela 5.16, variando consoante a zona climática e aplicam-se tanto a Portugal Continental com às Regiões Autónomas, onde em comparação com os valores de  $U$  dos elementos calculados anteriormente, denota-se que estes não cumprem os mínimos regulamentares.

Tabela 5.16 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos opacos  $U_{m\acute{a}x}$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] [49]

Zona corrente da envoltente	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais em contato com o exterior - Paredes	1,75	1,60	1,45
Elementos opacos horizontais em contato com o exterior - Pavimentos e Coberturas	1,25	1,00	0,90
Vãos envidraçados (portas e janelas)	4,20		

O REH também apresenta valores de referência ( $U_{ref}$ ) (Tabela 5.17), para o coeficiente de transmissão térmica para os elementos da envoltente. Estes valores têm vindo a ser atualizados observando-se melhorias na ordem dos 43%, podendo ainda ser aperfeiçoados de forma a ir ao encontro com as políticas de eficiência energética já aqui citados.

Tabela 5.17 - - Coeficientes de transmissão térmica de referência  $U_{ref}$ , referentes a Portugal Continental [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] [49]

Zona corrente da envoltente	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais em contato com exterior - Paredes	0,40	0,35	0,30
Elementos opacos horizontais em contato com o exterior - Pavimentos e coberturas	0,35	0,30	0,25
Vãos envidraçados (portas e janelas)	2,80	2,40	2,20

### 5.3.2 Pontes térmicas planas

Como definição, as pontes térmicas são determinadas zonas específicas da envoltente do edifício, ou seja, zona de pilares, vigas e caixas de estores onde ocorre uma redução

considerável da resistência térmica em relação à zona corrente, devida essencialmente às diferenças construtivas que levam com que haja distintas resistências térmicas.

Com a evolução dos sistemas construtivos começou-se a colocar isolamento nas paredes deixando as zonas dos pilares, vigas e estores desprotegidas. Estando estas zonas desprotegidas de isolamento térmico, a sua superfície encontra-se mais fria em relação à sua envolvente, o que faz com que haja uma migração da temperatura mais quente para estas determinadas zonas mais frias. A falta de isolamento nestes elementos é responsável pelo aparecimento de patologias sendo as mais graves as condensações que levam ao aparecimento de machas negras. Por essa razão é importante fazer um isolamento contínuo entre paredes, pilares, vigas e caixas de estores, aumentando assim a eficiência energética e reduzindo o aparecimento de condensações.

O isolamento contínuo pelo exterior é a melhor solução para eliminar o surgimento de pontes térmicas, Figura 5.5. Se tal não for possível (na maioria dos casos por impossibilidade arquitetónica), deve-se proteger os pilares, vigas e estores pelo interior conforme se prevê a Figura 5.6. Tal como para os elementos opacos verticais, horizontais e envidraçados, o REH apresenta coeficientes de transmissão térmica máximos para as pontes térmicas ( $U_{máx}$ ), para as três diferentes zonas climáticas, conforme a Tabela 5.18.

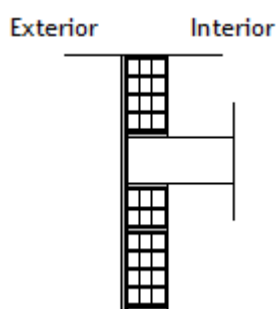


Figura 5.4 - Tipologia sem correção de pontes térmicas

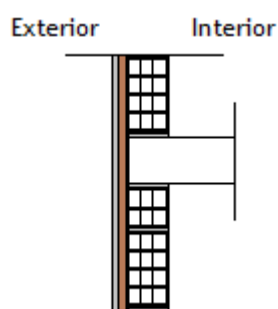


Figura 5.5 - Correção de pontes térmicas com isolamento pelo exterior

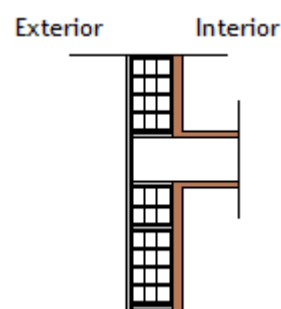


Figura 5.6 - Correção de pontes térmicas com isolamento pelo interior

Tabela 5.18 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos das pontes térmicas  $U_{máx}$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] [49]

Zona climática	Ponte térmica plana		
	I1	I2	I3
$U_{máx}$	3,5 ou 1,75	3,2 ou 1,6	2,9 ou 1,45

### 5.3.3 Fator solar máximos admissíveis de vãos envidraçados

De acordo com o REH (Portaria n.º349-B/2013) nenhum vão envidraçado exterior com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, (desde que não orientado a Norte (entre Noroeste e Nordeste)), pode apresentar um fator solar (gt) correspondente ao vão envidraçado com o(s) respetivo(s) dispositivo(s) de proteção 100% ativo(s), que exceda os valores indicados na Tabela 5.19. É recomendável que as medidas de melhoria propostas para os edifícios existentes conduzam ao mesmo nível de exigência. Os fatores solares máximos admissíveis por definição correspondem ao “*coeficiente entre a energia transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respetivo dispositivo de proteção e energia da radiação solar que nele incide*”. Os valores do zonamento climático de arrefecimento (V1-V2-V3) variam consoante a inércia térmica. Para melhor compreensão, um edifício com inércia térmica fraca (por exemplo estrutura de madeira) vai reagir rapidamente à radiação solar aquecendo rapidamente durante o dia mas também arrefecendo rapidamente à noite. Contrariamente, edifícios com inércia térmica forte (por exemplo estrutura de betão ou alvenaria de pedra) mantêm-se mais frescos durante o dia, conservando o calor, que vão libertar lentamente à noite.

Tabela 5.19 - Fatores solares máximos admissíveis de vão envidraçados, gT máx [49]

Inércia	Zona Climática		
	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Os valores dos cálculos dos vãos envidraçados e das pontes térmicas apresentados prontamente foram determinados com a finalidade de expor a importância de reabilitar estes elementos. Contudo, apenas são apresentados níveis de qualidade térmica para os elementos opacos para as 3 zonas climáticas de inverno (I1,I2,I3), apresentados na Tabela 5.21 seguintes.

## 5.4 Níveis de qualidade

### 5.4.1 Considerações iniciais

Em conformidade com os dados relativos aos elementos construtivos existentes, pretende-se estabelecer um nível mínimo de intervenção capaz de cumprir os requisitos previstos no REH. Os níveis de qualidade servem como referência para os projetistas/avaliadores para quantificarem as soluções construtivas no que diz respeito ao seu comportamento térmico, permitindo servir de estudo prévio no projeto de reabilitação, no sentido de caracterizar a eficiência térmica dos elementos da envolvente do edifício. Atribuindo níveis de qualidade à situação existente é possível identificar os elementos da envolvente mais “frágeis” do ponto de vista térmico e nos quais é prioritário intervir.

Para proceder à determinação dos níveis de qualidade térmica teve-se como base os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis ( $U_{m\acute{a}x}$ ) e de referência ( $U_{ref}$ ), (Tabelas 5.16 e 5.17) respetivamente. Utilizando estes coeficientes como referência consegue-se garantir o cumprimento das exigências mínimas e determinar opções de reabilitação mais favoráveis. Todo o processo é apresentado em forma de cálculo no ponto 5.4.2 - Parâmetros necessários para obtenção dos níveis de qualidade.

Com base na metodologia de cálculo apresentada de seguida consegue-se determinar os níveis a que se encontram as tipologias construtivas existentes, podendo de seguida atuar ao nível do reforço do isolamento térmico com recurso ao aglomerado negro de cortiça, aumentando assim o nível de qualidade. Para apoiar este conceito serviu de apoio o trabalho desenvolvido na tese “*Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção*” [38]. O autor definiu uma escala “*negativa*” que vai desde (N-1 até N-5) e uma escala “*positiva*” (N1 até N5). A escala “*negativa*” é obtida pela multiplicação do  $U_{m\acute{a}x}$  por uma percentagem enquanto a escala “*positiva*” é caracterizada por todos os valores que sejam inferiores ao valor regulamentar. O procedimento de cálculo para obtenção dos níveis qualidade sofreram alterações uma vez que os regulamentos desenvolvidos apresentam valores de U cada vez mais exigentes. Com o intuito de melhor compreender estes níveis foi atribuída uma classificação, para a escala positiva, conforme a Tabela 5.20 seguinte.

Tabela 5.20 - Classificação dos níveis de qualidade

Níveis	Requisito e Critérios de avaliação
N5	Solução com um nível de qualidade <b>Excelente</b> <sup>(1)</sup>
N4	Solução com um nível de qualidade <b>Muito Bom</b> <sup>(2)</sup>
N3	Solução com um nível de qualidade <b>Bom</b> <sup>(3)</sup>
N2	Solução com um nível de qualidade <b>Médio bom</b> <sup>(4)</sup>
N1	Solução com um nível de qualidade <b>Médio</b> <sup>(5)</sup>
N0	Solução com um nível de qualidade <b>mínimo regulamentar</b> <sup>(6)</sup>

- (1) A tipologia tem um desempenho que confirma um maior grau de qualidade que o nível muito bom, associado a soluções que contribuem para um maior conforto dos ocupante e baixos consumos energéticos. Representa o nível mais elevado da escala de qualidade térmica.
- (2) A tipologia tem um desempenho que confirma um maior grau de qualidade que o nível bom, associado a soluções que contribuem para um maior conforto dos ocupantes e baixos consumos energéticos.
- (3) A tipologia tem um desempenho que confirma um maior grau de qualidade que o nível Médio bom.
- (4) A tipologia tem um desempenho que confirma um maior grau de qualidade que o nível Médio.

(5) A tipologia tem um desempenho que confirma um maior grau de qualidade que o nível Mínimo.

(6) A tipologia tem um desempenho que satisfaz os mínimos definidos pelo REH.

Todos os restantes níveis (N-1 a N-5) apresentam grandes défices de isolamento térmico, não garantindo o mínimo regulamentar, onde para garantir os níveis de conforto aceitáveis é necessário recorrer a sistemas de climatização. De seguida são apresentados todos os cálculos para obtenção de valores limite do intervalo (U) e respetivo nível correspondente para os diferentes elementos da envolvente, consoante as zonas climáticas previstas no REH.

#### 5.4.2 Parâmetros necessários para obtenção dos níveis de qualidade

Considerou-se que o valor máximo de N0 corresponde aos valores de  $U_{máx}$  para os diferentes elementos, garantindo assim o nível mínimo regulamentar. Como forma de melhoria da qualidade térmica considerou-se que o valor máximo de N4 corresponde aos valores de  $U_{ref}$  e os níveis N1, N2 e N3 obtiveram-se através da seguinte relação:

$$K = \frac{(U_{máx} - U_{ref})}{4} \quad (2.2)$$

$$N1 = U_{máx} - K \quad (2.3)$$

$$N2 = N1 - K \quad (2.4)$$

$$N3 = N2 - K \quad (2.5)$$

$$N4 = U_{ref} \quad (2.6)$$

$$N5 = U_{ref} \times 0,9 \quad (2.7)$$

Na equação (2.2) o valor obtido através da subtração de ( $U_{máx} - U_{ref}$ ) é dividido por 4, que corresponde ao número de intervalos de N0 a N4. O valor máximo de N5 é obtido através da multiplicação de  $U_{ref}$  por uma percentagem (2.7), com objetivo de reduzir o valor de U abaixo do nível de referência. A escala negativa tem como objetivo consciencializar o quanto o valor de U das tipologias existentes está afastado dos valores mínimos regulamentares. Todos os níveis apresentam um intervalo de valores, Tabela 5.21. Para melhor compreensão são apresentados cálculos de exemplo para a zona climática da Covilhã (I2, V3), dos diferentes elementos da envolvente.

- **Elementos opacos verticais em contato com o exterior: Paredes**

Cálculo auxiliar:

$$\frac{U_{máx} - U_{ref}}{4} = \frac{1,60 - 0,35}{4} = 0,31 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$$

$$N0 = U_{máx} = 1,60 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$$

$$N1 = U_{máx} - 0,31 = 1,60 - 0,31 = 1,29 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$$

$$N2 = N1 - 0,31 = 1,29 - 0,31 = 0,98 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N3 = N2 - 0,31 = 0,98 - 0,31 = 0,66 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N4 = U_{ref} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N5 = U_{ref} \times 0,9 = 0,32$$

$$N - 1 = U_{m\acute{a}x} \times 1,10 = 1,60 \times 1,10 = 1,76 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 2 = U_{m\acute{a}x} \times 1,20 = 1,60 \times 1,20 = 1,92 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 3 = U_{m\acute{a}x} \times 1,30 = 1,60 \times 1,30 = 2,08 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 4 = U_{m\acute{a}x} \times 1,40 = 1,60 \times 1,40 = 2,24 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 5 = \text{Todos os valores superiores a } N - 4 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)] (Ver tabela 5.21)}$$

- **Elementos opacos horizontais em contato com o exterior: Pavimentos e coberturas:**

Cálculo auxiliar:

$$\frac{U_{m\acute{a}x} - U_{ref}}{4} = \frac{1,00 - 0,30}{4} = 0,18 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N0 = U_{m\acute{a}x} = 1,00 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N1 = U_{m\acute{a}x} - 0,18 = 1,00 - 0,18 = 0,83 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N2 = N1 - 0,18 = 0,83 - 0,18 = 0,65 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N3 = N2 - 0,18 = 0,65 - 0,18 = 0,48 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N4 = U_{ref} = 0,30 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N5 = U_{ref} \times 0,9 = 0,27$$

$$N - 1 = U_{m\acute{a}x} \times 1,10 = 1,00 \times 1,10 = 1,10 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 2 = U_{m\acute{a}x} \times 1,20 = 1,00 \times 1,20 = 1,20 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 3 = U_{m\acute{a}x} \times 1,30 = 1,00 \times 1,30 = 1,30 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 4 = U_{m\acute{a}x} \times 1,40 = 1,00 \times 1,40 = 1,40 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 5 = \text{Todos os valores superiores a } N - 4 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)] (Ver tabela 5.21)}$$

- **Envidraçados:**

$$N0 = \frac{U_{m\acute{a}x} + U_{ref}}{2} = \frac{4,2 + 2,4}{2} = 3,30 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N1 = U_{ref} \times 1 = 2,40 \times 1 = 2,40 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N2 = U_{ref} \times 0,95 = 2,40 \times 0,95 = 2,28 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N3 = U_{ref} \times 0,90 = 2,40 \times 0,90 = 2,16 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N4 = U_{ref} \times 0,85 = 2,20 \times 0,85 = 2,04 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 1 = U_{\text{máx}} \times 1,05 = 4,20 \times 1,05 = 4,41 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 2 = U_{\text{máx}} \times 1,10 = 4,20 \times 1,10 = 4,62 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 3 = U_{\text{máx}} \times 1,15 = 4,20 \times 1,15 = 4,83 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 4 = U_{\text{máx}} \times 1,20 = 4,20 \times 1,20 = 5,04 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

- **Fator solar máximos admissíveis dos vãos envidraçados:**

$$N0 \text{ mín} = gT \text{ máx} \times 0,80 = 0,56 \times 0,80 = 0,45 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N1 = gT \text{ máx} \times 0,6 = 2,40 \times 1,0 = 0,34 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N2 = gT \text{ máx} \times 0,4 = 0,56 \times 0,40 = 0,22 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N3 = gT \text{ máx} \times 0,2 = 0,56 \times 0,20 = 0,11 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N4 = gT \text{ máx} \times 0,1 = 0,56 \times 0,10 = 0,06 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 1 = U_{\text{máx}} \times 1,05 = 0,56 \times 1,05 = 0,59 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 2 = U_{\text{máx}} \times 1,10 = 0,56 \times 1,10 = 0,61 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 3 = U_{\text{máx}} \times 1,15 = 0,56 \times 1,15 = 0,64 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 4 = U_{\text{máx}} \times 1,20 = 0,56 \times 1,20 = 0,67 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

- **Pontes térmicas:** Os valores das pontes térmicas correspondem ao dobro do valor obtido para as paredes

$$N0 = 2 \times U_{\text{máx}} = 3,20 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N1 = 2 \times N1 \text{ (paredes)} = 2 \times 1,29 = 2,58 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N2 = 2 \times N2 \text{ (paredes)} = 2 \times 0,98 = 1,96 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N3 = 2 \times N3 \text{ (paredes)} = 2 \times 0,66 = 1,32 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N4 = 2 \times N4 \text{ (paredes)} = 2 \times 0,35 = 0,70 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N5 = 2 \times N5 \text{ (paredes)} = 2 \times 0,32 = 0,64 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 1 = 2 \times N - 1 \text{ (paredes)} = 2 \times 1,76 = 3,52 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 2 = 2 \times N - 2 \text{ (paredes)} = 2 \times 1,92 = 3,84 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 3 = 2 \times N - 3 \text{ (paredes)} = 2 \times 2,08 = 4,16 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

$$N - 4 = 2 \times N - 4 \text{ (paredes)} = 2 \times 2,24 = 4,48 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

Tabela 5.21 - Valores de U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] em função dos níveis de qualidade

		Paredes exteriores					Pavimentos e coberturas		
		I1	I2	I3			I1	I2	I3
Níveis de qualidade	N5	0,36	0,32	0,27	N5	0,32	0,27	0,23	
	N4	0,36	0,32	0,27	N4	0,32	0,27	0,23	
		0,40	0,35	0,30		0,35	0,30	0,25	
	N3	0,40	0,35	0,30	N3	0,35	0,30	0,25	
		0,74	0,66	0,59		0,58	0,48	0,41	
	N2	0,74	0,66	0,59	N2	0,58	0,48	0,41	
		1,08	0,98	0,88		0,80	0,65	0,58	
	N1	1,08	0,98	0,88	N1	0,80	0,65	0,58	
		1,41	1,29	1,16		1,03	0,83	0,74	
	N0	1,41	1,29	1,16	N0	1,03	0,83	0,74	
		1,75	1,60	1,45		1,25	1,00	0,90	
	N-1	1,75	1,60	1,45	N-1	1,25	1,00	0,90	
		1,93	1,76	1,60		1,38	1,10	0,99	
	N-2	1,93	1,76	1,60	N-2	1,38	1,10	0,99	
		2,10	1,92	1,74		1,50	1,20	1,08	
	N-3	2,10	1,92	1,74	N-3	1,50	1,20	1,08	
		2,28	2,08	1,89		1,63	1,30	1,17	
	N-4	2,28	2,08	1,89	N-4	1,63	1,30	1,17	
		2,45	2,24	2,03		1,75	1,40	1,26	
	N-5	2,45	2,24	2,03	N-5	1,75	1,40	1,26	

## 5.5 Catálogo de Soluções Técnicas para a Reabilitação de Edifícios Incorporando Cortiça

O presente catálogo tem a finalidade de ajudar Engenheiros, Projetistas e outros interessados a propor medidas de reabilitação térmica para paredes exteriores, pavimentos e coberturas mais usuais em Portugal. Tendo em conta a zona climática da habitação a reabilitar, são apresentadas tabelas, em que numa fase inicial é apresentado um esquema da constituição do elemento existente sem isolamento, o seu coeficiente de transmissão térmica e nível de qualidade correspondente. Numa segunda fase são apresentadas várias espessuras de isolamento com aglomerado negro de cortiça e seus níveis de qualidade correspondentes, podendo o utilizador definir qual o nível de qualidade desejado. Representam-se no pormenor construtivo, as possibilidades de colocação do isolamento consoante as tipologias a reabilitar.

Partindo do conceito apresentado nas Tabelas 5.22 a 5.48 apresentam-se os elementos relativos ao catálogo de soluções de reabilitação incorporando cortiça em paredes, pavimentos e coberturas para as situações mais correntes em Portugal.

### 5.5.1 Zonamentos climáticos

Para facilitar a utilização do catálogo indicam-se os principais municípios de Portugal e a sua zona climática de acordo com o REH.

Zona I1	Zona I2	Zona I3
Alcochete	Arcos de Valdevez	Alfândega da Fé
Alter do Chão	Aveiro	Almeida
Barreiro	Barcelos	Boticas
Beja	Batalha	Bragança
Caldas da Rainha	Braga	Celorico da Beira
Castelo Branco	Cabeceiras de Basto	Chaves
Espinho	Coimbra	Figueira de Castelo Rodrigo
Évora	Covilhã	Fornos de Algodres
Faro	Entroncamento	Gouveia
Feira	Esposende	Guarda
Golegã	Estarreja	Mirandela
Gondomar	Figueira da Foz	Montalegre
Idanha-a-Nova	Fundão	Pinhel
Lisboa	Gois	Ribeira de Pena
Loulé	Guimarães	Sabugal
Matosinhos	Lamego	Seia
Mértola	Leiria	Trancoso
Nazaré	Mangualde	Valpaços
Nisa	Monção	Vila Pouca de Aguiar
Óbidos	Nelas	
Olhão	Oliveira de Azeméis	
Portalegre	Ourém	
Porto	Paços de Ferreira	
Reguengos de Monsaraz	Ponte de Lima	
Rio Maior	Resende	
Santarém	São Pedro do Sul	
Setúbal	Sertã	
Torres Vedras	Tondela	
Trofa	Torres Novas	
Valongo	Viana do Castelo	
Vila do Conde	Vila Real	

## 5.5.2 Paredes simples exteriores

Tabela 5.22 - Parede simples de betão armado (PE 1.1)

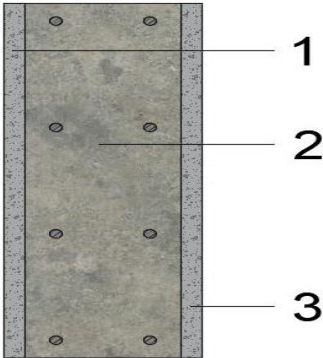
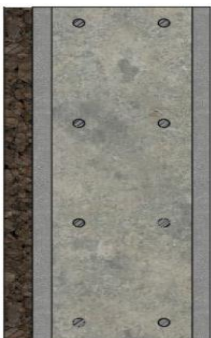

Pormenor construtivo existente				
		<p><b>Legenda:</b></p> <p>1 - Reboco tradicional</p> <p>2 - Parede simples de betão armado</p> <p>3 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,15 a 0,20		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		3,64		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento pelo exterior		Isolamento pelo interior		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	2,02	N - 2	N - 3	N - 4
20	1,40	N1	N0	N0
30	1,00	N2	N1	N1
40	0,84	N2	N2	N2
60	0,61	N3	N3	N2
80	0,48	N3	N3	N3
100	0,40	N4	N3	N3
120	0,33	N5	N4	N3
140	0,29	N5	N5	N4

Tabela 5.23 - Parede simples de bloco de betão normal (PE 1.2)

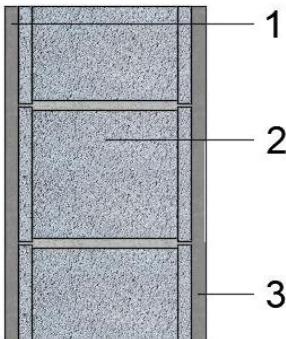
Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede simples de bloco de betão normal                  3 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,25 a 0,30		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,89		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 1	N - 2	N - 4
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento pelo exterior		Isolamento pelo interior		
				
Espessura [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,33	N1	N0	N0
20	1,03	N2	N1	N1
30	0,81	N2	N2	N2
40	0,69	N3	N2	N2
60	0,53	N3	N3	N3
80	0,43	N3	N3	N3
100	0,36	N4	N3	N3
120	0,31	N5	N5	N3
140	0,28	N5	N5	N4

Tabela 5.24 - Parede simples de alvenaria de pedra (PE 1.3)



Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Alvenaria de pedra 2 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,40 a 0,60		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,74		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento pelo interior				
<p>Por razões arquitetónicas adota-se que neste tipo de tipologias o isolamento térmico é feito pelo interior de forma a manter o aspeto exterior da fachada.</p>				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,75	N - 1	N - 1	N - 3
20	1,27	N1	N1	N0
30	0,98	N2	N1	N1
40	0,81	N2	N2	N2
60	0,60	N3	N3	N2
80	0,47	N3	N3	N3
100	0,39	N4	N3	N3
120	0,33	N5	N4	N3
140	0,29	N5	N5	N4

Tabela 5.25 - Parede simples de taipa ou adobe (PE 1.4)

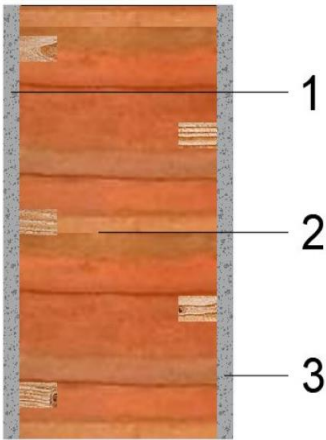


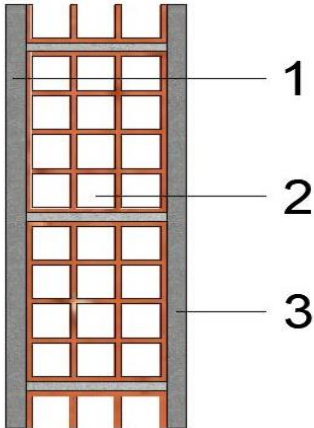
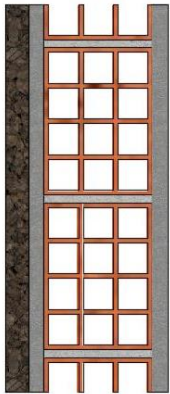
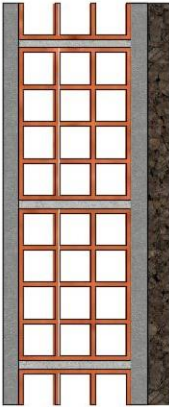
Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede simples de taipa/adobe                  3 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,40 a 1,00		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,40		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N1	N0	N0
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento pelo exterior		Isolamento pelo interior		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,1	N1	N1	N1
20	0,88	N2	N2	N2
30	0,74	N3	N2	N2
40	0,63	N3	N3	N2
60	0,50	N3	N3	N3
80	0,40	N4	N3	N3
100	0,34	N5	N4	N3
120	0,30	N5	N5	N4
140	0,26	N5	N5	N5

Tabela 5.26 - Parede simples de tijolo furado (PE 1.5)

Pormenor construtivo existente				
		<p><b>Legenda:</b></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede simples de tijolo furado                  3 - Reboco</p>		
Espessura [m]		0,20 a 0,25		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,32		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N1	N0	N0
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento pelo exterior		Isolamento pelo interior		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,02	N2	N1	N1
20	0,83	N2	N2	N2
30	0,69	N3	N2	N2
40	0,60	N3	N3	N2
60	0,47	N3	N3	N3
80	0,39	N4	N3	N3
100	0,34	N5	N4	N3
120	0,29	N5	N5	N4
140	0,26	N5	N5	N5

### 5.5.3 Paredes duplas exteriores

Tabela 5.27 - Parede dupla de betão armado + bloco de betão normal (PE 2.1)

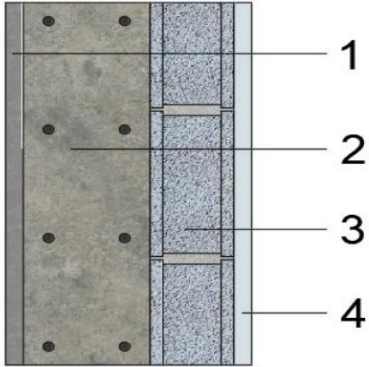
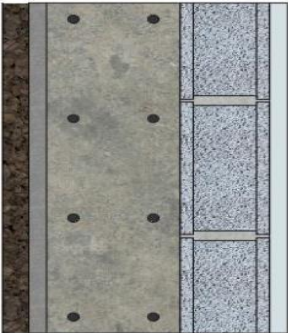
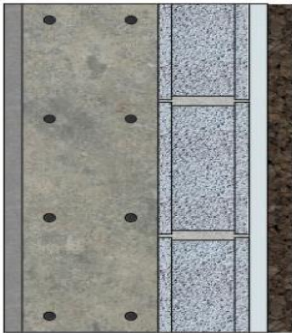
Pormenor construtivo existente									
					<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede de betão armado                  3 - Parede de bloco de betão normal                  4 - Estuque</p>				
Espessura [m]		(0,10 a 0,20) + 0,11			(0,10 a 0,20) + 0,15				
Coeficiente de transmissão térmica U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,90			1,74				
Zonamento climático		I1	I2	I3	I1	I2	I3		
Nível de qualidade		N - 1	N - 2	N - 4	N0	N - 1	N - 2		
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça									
Isolamento pelo exterior					Isolamento pelo interior				
									
(0,40 a 0,60) + 0,11					(0,40 a 0,60) + 0,15				
ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3
10	1,32	N1	N0	N0	10	1,26	N1	N1	N0
20	1,03	N2	N1	N1	20	0,99	N2	N1	N1
30	0,83	N2	N2	N2	30	0,80	N2	N2	N2
40	0,70	N3	N2	N2	40	0,68	N3	N3	N2
60	0,54	N3	N3	N3	60	0,52	N3	N3	N3
80	0,43	N3	N3	N3	80	0,42	N3	N3	N3
100	0,36	N4	N3	N3	100	0,35	N5	N4	N3
120	0,31	N5	N5	N3	120	0,31	N5	N5	N4
140	0,27	N5	N5	N5	140	0,27	N5	N5	N5

Tabela 5.28 - Parede dupla de betão armado + tijolo furado (PE 2.2)

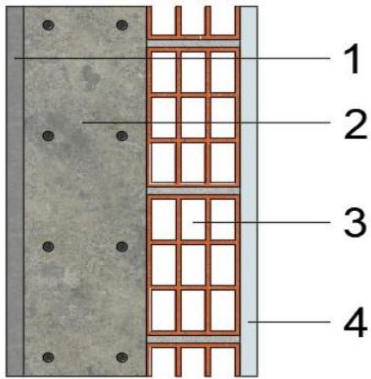
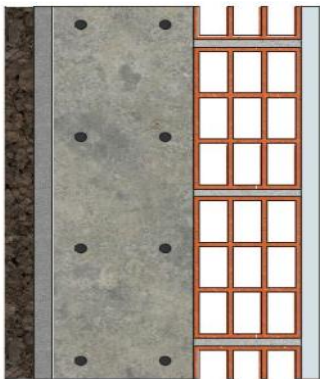
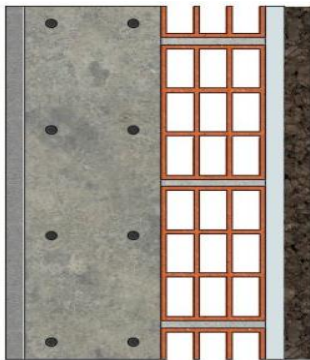
Pormenor construtivo existente									
					<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede de betão armado                  3 - Parede de tijolo furado                  4 - Estuque</p>				
Espessura [m]		(0,10 a 0,20) + 0,11			(0,10 a 0,20) + 0,15				
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,55			1,31				
Zonamento climático		I1	I2	I3	I1	I2	I3		
Nível de qualidade		NO	NO	N - 1	N1	NO	NO		
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça									
Isolamento pelo exterior					Isolamento pelo interior				
									
(0,40 a 0,60) + 0,11					(0,40 a 0,60) + 0,15				
ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3
10	1,16	N1	N1	NO	10	1,02	N2	N1	N1
20	0,92	N2	N2	N1	20	0,83	N2	N2	N2
30	0,76	N2	N2	N2	30	0,70	N3	N2	N2
40	0,65	N3	N3	N2	40	0,60	N3	N3	N2
60	0,51	N3	N3	N3	60	0,48	N3	N3	N3
80	0,41	N3	N3	N3	80	0,40	N4	N3	N3
100	0,35	N5	N4	N3	100	0,34	N5	N4	N3
120	0,30	N5	N5	N4	120	0,29	N5	N5	N4
140	0,27	N5	N5	N5	140	0,26	N5	N5	N5

Tabela 5.29 - Parede dupla de bloco de betão normal (PE 2.3)

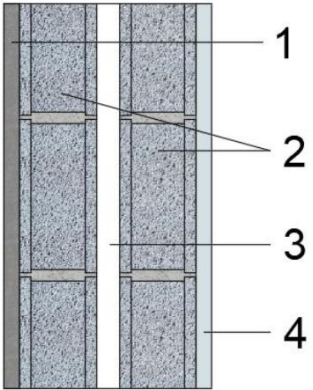
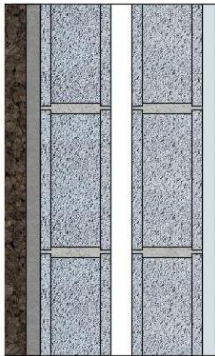
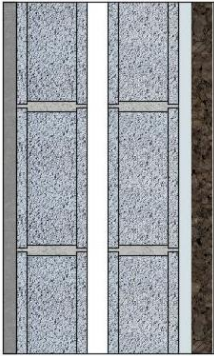
Pormenor construtivo existente														
					<p><b>Legenda:</b></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede de bloco de betão normal                  3 - Caixa-de-ar                  4 - Estuque</p>									
Espessura [m]					(0,11 + 0,11)			(0,11 + 0,15)			(0,15 + 0,15)			
U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]					1,80			1,68			1,57			
Zonamento climático	I1	Nível de qualidade	N - 1			N0			N0					
	I2		N - 2			N - 1			N0					
	I3		N - 3			N - 2			N - 1					
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça														
Isolamento pelo exterior							Isolamento pelo interior							
														
(0,11 + 0,11)					(0,11 + 0,15)					(0,15 + 0,15)				
ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3
10	1,29	N1	N0	N0	10	1,23	N1	N1	N0	10	1,17	N1	N1	N0
20	1,01	N2	N1	N1	20	0,97	N2	N2	N1	20	0,93	N2	N2	N1
30	0,82	N2	N2	N2	30	0,79	N2	N2	N2	30	0,77	N2	N2	N2
40	0,69	N3	N2	N2	40	0,67	N3	N2	N2	40	0,66	N3	N3	N2
60	0,53	N3	N3	N3	60	0,52	N3	N3	N3	60	0,51	N3	N3	N3
80	0,43	N3	N3	N3	80	0,42	N3	N3	N3	80	0,41	N3	N3	N3
100	0,36	N4	N3	N3	100	0,36	N4	N3	N3	100	0,35	N5	N4	N3
120	0,31	N5	N5	N3	120	0,31	N5	N5	N4	120	0,30	N5	N5	N4
140	10,27	N5	N5	N4	140	0,27	N5	N5	N5	140	0,27	N5	N5	N5

Tabela 5.30 - Parede dupla de pedra + bloco de betão normal (PE 2.4)

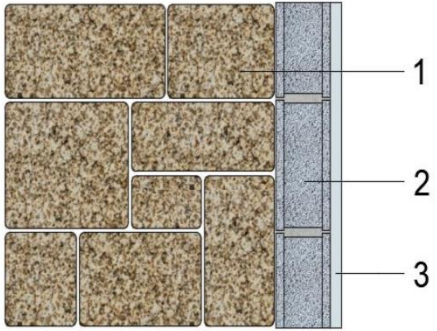

Pormenor construtivo existente										
					<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Paredes de alvenaria de pedra 2 - Paredes de bloco de betão normal 3 - Estuque</p>					
Espessura [m]		(0,40 a 0,60) + 0,11			(0,40 a 0,60) + 0,15					
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,79			1,67					
Zonamento climático		I1	I2	I3	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Nível de qualidade		N - 1	N - 2	N - 3	N0	N - 1	N - 2	N - 1	N - 2	N - 3
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça										
Isolamento pelo interior										
<p>Nota:</p> <p>Por razões arquitetónicas adota-se que neste tipo de tipologias o isolamento térmico é feito pelo interior de forma a manter o aspeto exterior da fachada.</p>										
(0,40 a 0,60) + 0,11					(0,40 a 0,60) + 0,15					
ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	
10	1,28	N1	N1	N0	10	1,22	N1	N1	N0	
20	1,00	N2	N1	N1	20	0,96	N2	N2	N1	
30	0,81	N2	N2	N2	30	0,79	N2	N2	N2	
40	0,69	N3	N2	N2	40	0,67	N3	N2	N2	
60	0,53	N3	N3	N3	60	0,52	N3	N3	N3	
80	0,43	N3	N3	N3	80	0,42	N3	N3	N3	
100	0,36	N4	N3	N3	100	0,35	N5	N4	N3	
120	0,31	N5	N5	N3	120	0,31	N5	N5	N3	
140	0,27	N5	N5	N5	140	0,27	N5	N5	N5	

Tabela 5.31 - Parede dupla de pedra + tijolo furado (PE 2.5)



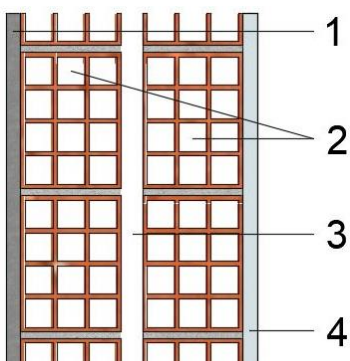
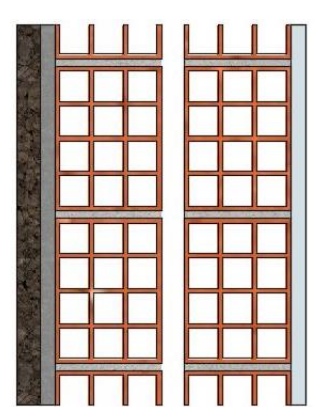
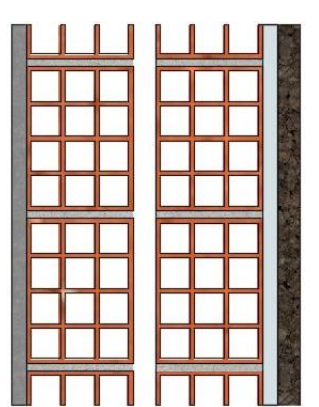
Pormenor construtivo existente									
					<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Parede de alvenaria de pedra 2 - Parede de tijolo furado 3 - Estuque</p>				
Espessura [m]		(0,40 a 0,60) + 0,11			(0,40 a 0,60) + 0,15				
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,50			1,27				
Zonamento climático		I1	I2	I3	I1	I2	I3		
Nível de qualidade		N0	N0	N - 1	N1	N1	N0		
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça									
Isolamento pelo interior									
<p>Nota:</p> <p>Por razões arquitetónicas adota-se que neste tipo de tipologias o isolamento térmico é feito pelo interior de forma a manter o aspeto exterior da fachada.</p>									
(0,40 a 0,60) + 0,11					(0,40 a 0,60) + 0,15				
ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3
10	1,12	N1	N1	N1	10	0,99	N2	N1	N1
20	0,90	N2	N2	N1	20	0,81	N2	N2	N2
30	0,75	N2	N2	N2	30	0,68	N3	N2	N2
40	0,64	N3	N3	N2	40	0,60	N3	N3	N3
60	0,50	N3	N3	N3	60	0,47	N3	N3	N3
80	0,40	N4	N3	N3	80	0,39	N4	N3	N3
100	0,35	N5	N4	N3	100	0,33	N5	N4	N3
120	0,30	N5	N5	N4	120	0,29	N5	N5	N4
140	0,26	N5	N5	N5	140	0,26	N5	N5	N5

Tabela 5.32 - Parede dupla de tijolo furado (PE 2.6)

Pormenor construtivo existente														
					<p><b>Legenda:</b></p> <p>1 - Reboco tradicional                  2 - Parede tijolo furado                  3 - Caixa-de-ar                  4 - Estuque</p>									
Espessura [m]					(0,11 + 0,11)			(0,11 + 0,15)			(0,15 + 0,15)			
U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]					1,29			1,12			0,99			
Zonamento climático	I1	Nível de qualidade	N1			N1			N2					
	I2		N0			N1			N1					
	I3		N0			N1			N1					
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça														
Isolamento pelo exterior							Isolamento pelo interior							
														
(0,11 + 0,11)					(0,11 + 0,15)					(0,15 + 0,15)				
ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3	ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	I1	I2	I3
10	1,01	N2	N1	N1	10	0,90	N2	N2	N1	10	0,81	N2	N2	N2
20	0,82	N2	N2	N2	20	0,75	N2	N2	N2	20	0,69	N3	N2	N2
30	0,69	N3	N2	N2	30	0,64	N3	N3	N2	30	0,59	N3	N3	N3
40	0,60	N3	N3	N2	40	0,56	N3	N3	N3	40	0,52	N3	N3	N3
60	0,48	N3	N3	N3	60	0,45	N3	N3	N3	60	0,43	N3	N3	N3
80	0,39	N4	N3	N3	80	0,37	N4	N3	N3	80	0,36	N4	N3	N3
100	0,33	N5	N4	N3	100	0,32	N5	N4	N3	100	0,31	N5	N5	N3
120	0,29	N5	N5	N4	120	0,28	N5	N5	N4	120	0,27	N5	N5	N4
140	0,26	N5	N5	N5	140	0,25	N5	N5	N5	140	0,24	N5	N5	N5

## 5.5.4 Pavimentos

### 5.5.4.1 Pavimento de esteira, que separa um espaço útil de um não útil, fluxo de calor ascendente (PV1)

Tabela 5.33 - Pavimento de madeira

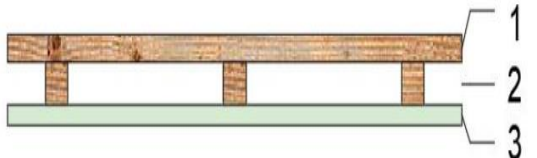

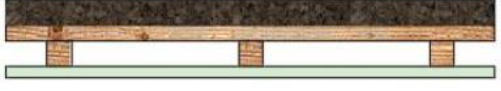
Pormenor construtivo existente				
		<b>Legenda:</b> 1 - Soalho de madeira 2 - Caixa-de-ar 3 - Forro de Madeira		
Espessura [m]		0,15		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,92		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sob o pavimento de esteira		Isolamento sobre o pavimento de esteira		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,35	N - 1	N - 4	N - 5
20	1,04	N0	N - 1	N - 2
30	0,84	N1	N0	N0
40	0,71	N2	N1	N1
60	0,54	N3	N2	N2
80	0,43	N3	N3	N2
100	0,36	N3	N3	N3
120	0,31	N5	N3	N3
140	0,28	N5	N4	N3

Tabela 5.34 - Pavimento com laje de betão armado



Pormenor construtivo existente				
		<b>Legenda:</b> 1 - Argamassa de regularização 2 - Estrutura de suporte com laje de betão armado 3 - Reboco tradicional		
Espessura [m]		0,27		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		3,51		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento de esteira				
		Neste tipo de pavimentos adota-se a colocação do isolamento térmico sobre o pavimento de esteira, uma vez que a colocação sob o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil.		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,98	N - 5	N - 5	N - 5
20	1,38	N - 1	N - 4	N - 5
30	1,05	N0	N - 1	N - 2
40	0,85	N1	N0	N - 1
60	0,62	N2	N2	N1
80	0,48	N3	N3	N2
100	0,40	N3	N3	N3
120	0,34	N4	N3	N3
140	0,29	N5	N4	N3

Tabela 5.35 - Pavimento com laje aligeirada - cerâmica

Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Argamassa de regularização</p> <p>2 - Estrutura de suporte com laje aligeirada - cerâmica</p> <p>3 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,22		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,82		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento face superior				
		<p>Neste tipo de pavimentos adota-se a colocação do isolamento sobre o pavimento de esteira, uma vez que a colocação sob o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil.</p>		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,74	N - 4	N - 5	N - 5
20	1,26	N - 1	N - 3	N - 4
30	0,98	N0	N0	N - 1
40	0,80	N1	N1	N0
60	0,59	N2	N2	N1
80	0,47	N3	N3	N2
100	0,39	N3	N3	N3
120	0,33	N4	N3	N3
140	0,29	N5	N4	N3

### 5.5.4.2 Pavimento interior que separa um espaço útil de um não útil (garagem, zona comercial), fluxo de calor descendente (PV2).

Tabela 5.36 - Pavimento de madeira

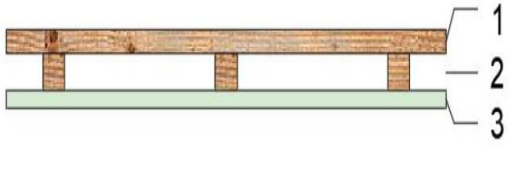

Pormenor construtivo existente				
		<b>Legenda:</b> 1 - Soalho de madeira 2 - Caixa-de-ar 3 - Forro de Madeira		
Espessura [m]		0,15		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,40		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 2	N - 4	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sob o pavimento		Neste tipo de pavimentos adota-se a colocação do isolamento sob o pavimento uma vez que a colocação sobre o pavimento provocaria a redução do pé direito, bem como a possível necessidade de reduzir a altura das portas.		
				
Espeçura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,06	N - 2	N - 3	N - 5
20	0,86	N1	N0	N0
30	0,72	N2	N1	N1
40	0,62	N2	N2	N1
60	0,49	N3	N2	N2
80	0,40	N3	N3	N3
100	0,34	N4	N3	N3
120	0,29	N5	N4	N3
140	0,26	N5	N5	N3

Tabela 5.37 - Pavimento de betão armado.

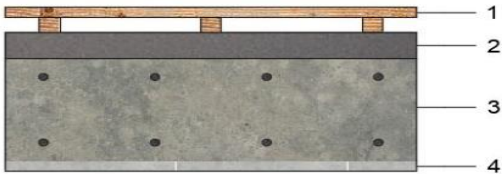
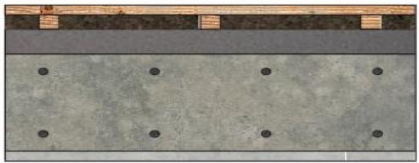
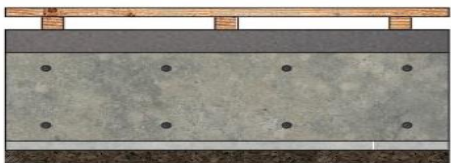
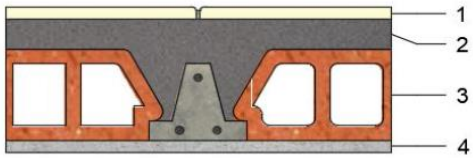
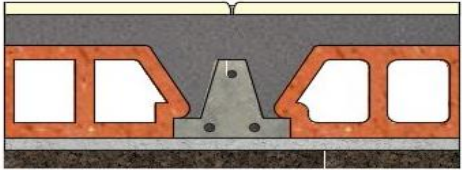
Pormenor construtivo existente				
		Legenda: 1 - Soalho de madeira 2 - Argamassa de regularização 3 - Estrutura de suporte com laje de betão aarmado 4 - Reboco tradicional		
Espessura [m]		0,32		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,34		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 1	N - 4	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça				
Isolamento sobre o pavimento		Isolamento sob o pavimento		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,04	N0	N - 1	N - 2
20	0,84	N1	N0	N0
30	0,71	N2	N1	N1
40	0,61	N2	N2	N1
60	0,48	N3	N3	N2
80	0,40	N3	N3	N3
100	0,34	N4	N3	N3
120	0,29	N5	N4	N3
140	0,26	N5	N5	N3

Tabela 5.38 - Pavimento com laje aligeirada - cerâmica

Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Ladrilho cerâmico                  2 - Argamassa de regularização                  3 - Estrutura de suporte com laje aligeirada - cerâmica                  4 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,22		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,75		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 4	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de cortiça				
<p>Isolamento sob o pavimento</p> 		<p>Neste tipo de pavimentos adota-se a colocação do isolamento sob o pavimento uma vez que a colocação sobre o pavimento provocaria a redução do pé direito, bem como a possível necessidade de reduzir a altura das portas.</p>		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,27	N - 1	N - 3	N - 5
20	0,99	N1	N0	N - 1
30	0,81	N1	N1	N0
40	0,68	N2	N1	N1
60	0,53	N3	N2	N2
80	0,43	N3	N3	N2
100	0,36	N3	N3	N3
120	0,31	N5	N3	N3
140	0,27	N5	N4	N3

### 5.5.4.3 Pavimentos em contato com o exterior

Tabela 5.39 - Pavimento com laje de betão armado


Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Soalho de madeira                  2 - Argamassa de regularização                  3 - Estrutura de suporte com laje de betão armado                  4 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,32		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,63		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 3	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento		Isolamento sob o pavimento		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,20	N0	N - 2	N - 4
20	0,95	N1	N0	N - 1
30	0,78	N2	N1	N0
40	0,66	N2	N1	N1
60	0,51	N3	N2	N2
80	0,42	N3	N3	N2
100	0,35	N4	N3	N3
120	0,30	N5	N4	N3
140	0,27	N5	N5	N3

Tabela 5.40 - Pavimento com laje aligeirada - cerâmica.

Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Ladrilho cerâmico                  2 - Argamassa de regularização                  3 - Estrutura de suporte com laje aligeirada - cerâmica                  4 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,24		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,27		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sob o pavimento		<p>Neste tipo de pavimentos adota-se a colocação do isolamento sob o pavimento uma vez que a colocação sobre o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil, bem como a possível necessidade de reduzir a altura das portas.</p>		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,52	N - 3	N - 5	N - 5
20	1,14	N0	N - 2	N - 3
30	0,90	N1	N0	N0
40	0,75	N2	N1	N0
60	0,56	N3	N2	N2
80	0,45	N3	N3	N2
100	0,38	N3	N3	N3
120	0,32	N4	N3	N3
140	0,28	N5	N4	N3

## 5.5.5 Coberturas

### 5.5.5.1 Cobertura inclinada sem ocupação

Tabela 5.41 - Cobertura inclinada de madeira.

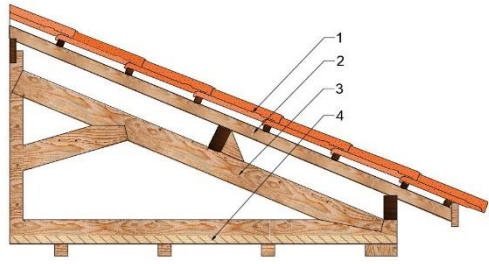


Pormenor construtivo existente				
		<p>Legenda:</p> <p>1 - Tenha cerâmica 2 - Forro de madeira 3 - Estrutura de suporte de madeira 4 - Taco de madeira (piso cobertura)</p>		
Espessura [m]		0,15		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,92		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento de esteira		Isolamento sob o pavimento de esteira		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,35	N - 1	N - 4	N - 5
20	1,04	N0	N - 1	N - 2
30	0,84	N1	N0	N0
40	0,71	N2	N1	N1
60	0,54	N3	N2	N2
80	0,43	N3	N3	N2
100	0,36	N3	N3	N3
120	0,31	N5	N3	N3
140	0,28	N5	N4	N3

Tabela 5.42 - Cobertura inclinada com laje de betão armado.

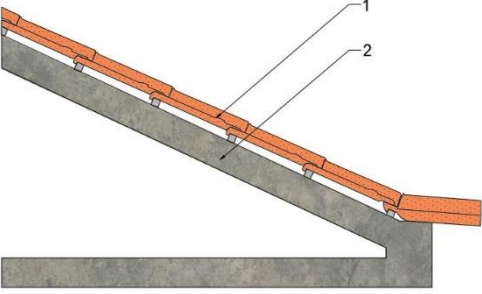
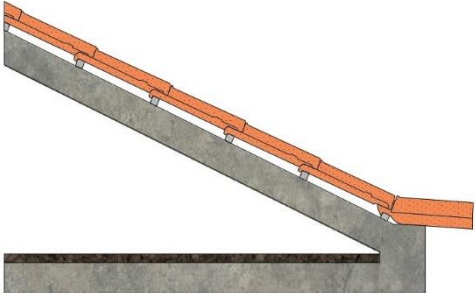
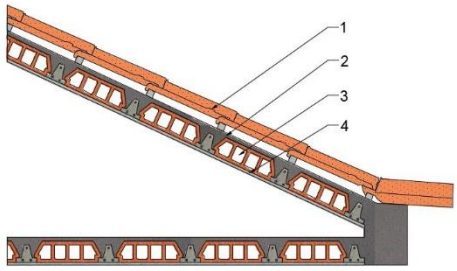
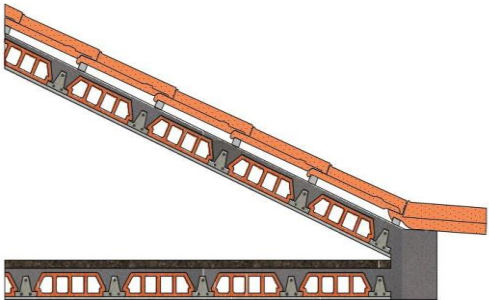
Pormenor construtivo existente				
		<p><b>Legenda:</b></p> <p>1 - Telha cerâmica 2 - Estrutura de suporte de betão armado</p>		
Espessura [m]		0,27		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		3,51		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento de esteira				
		<p>Em coberturas inclinadas sem ocupação adota-se a aplicação do isolamento térmico sobre o pavimento de esteira uma vez que a colocação sob o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil.</p>		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,98	N - 5	N - 5	N - 5
20	1,38	N - 1	N - 4	N - 5
30	1,05	N0	N - 1	N - 2
40	0,85	N1	N0	N - 1
60	0,62	N2	N2	N1
80	0,48	N3	N3	N2
100	0,40	N3	N3	N3
120	0,34	N4	N3	N3
140	0,29	N5	N4	N3

Tabela 5.43 - Cobertura inclinada com laje aligeirada - cerâmica.

Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Telha cerâmica                  2 - Argamassa de regularização                  3 - Estrutura de suporte com laje aligeirada - cerâmica                  4 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,22		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,82		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento de esteira		<p>Em coberturas inclinadas sem ocupação adota-se a aplicação do isolamento térmico sobre o pavimento de esteira uma vez que a colocação sob o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil.</p>		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,74	N - 4	N - 5	N - 5
20	1,26	N - 1	N - 3	N - 4
30	0,98	N0	N0	N - 1
40	0,80	N1	N1	N0
60	0,59	N2	N2	N1
80	0,47	N3	N3	N2
100	0,39	N3	N3	N3
120	0,33	N4	N3	N3
140	0,29	N5	N4	N3

### 5.5.5.2 Cobertura inclinada com ocupação

Tabela 5.44 - Cobertura inclinada de madeira.

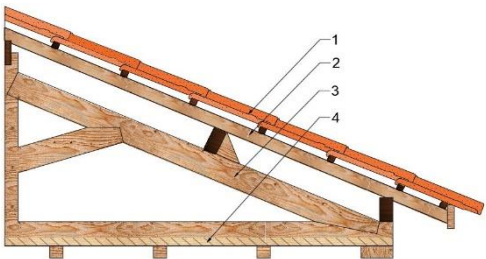

Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Tenha cerâmica                  2 - Forro de madeira                  3 - Estrutura de suporte de madeira                  4 - Taco de madeira (pavimento)</p>		
Espessura [m]		0,10		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,33		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sob o pavimento de cobertura				
		<p>Por facilidade de colocação adota-se a aplicação do isolamento sob a laje de cobertura. Contudo este também pode ser colocado sobre o pavimento de cobertura.</p>		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,54	N - 3	N - 5	N - 5
20	1,15	N0	N - 2	N - 3
30	0,91	N1	N0	N - 1
40	0,76	N2	N1	N0
60	0,57	N3	N2	N1
80	0,45	N3	N3	N2
100	0,38	N3	N3	N3
120	0,32	N4	N3	N3
140	0,28	N5	N4	N3

Tabela 5.45 - Cobertura inclinada com laje de betão armado.

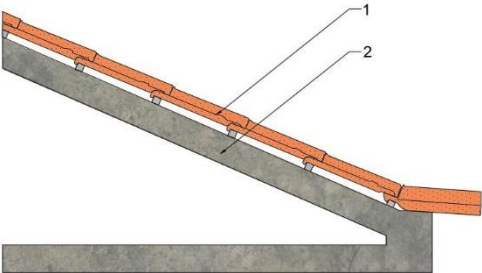
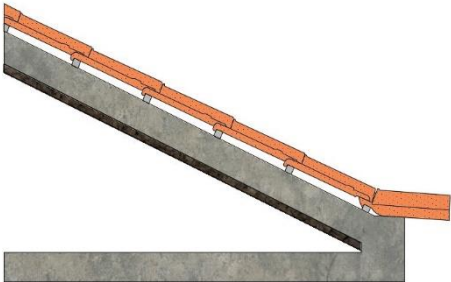
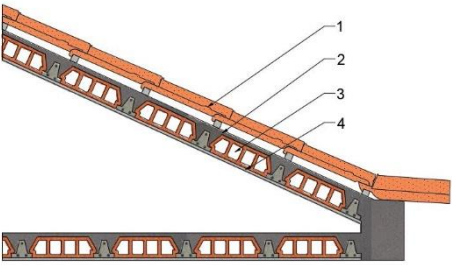

Pormenor construtivo existente				
		<p><b>Legenda:</b></p> <p>1 - Telha cerâmica 2 - Estrutura de suporte de betão armado</p>		
Espessura [m]		0,30		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,26		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sob pavimento de cobertura				
		<p>Por facilidade de colocação adota-se a aplicação do isolamento térmico sob a laje de cobertura. Contudo este também pode ser colocado sobre o pavimento de cobertura.</p>		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,51	N - 3	N - 5	N - 5
20	1,13	N0	N - 2	N - 3
30	0,90	N1	N0	N0
40	0,75	N2	N1	N0
60	0,56	N3	N2	N2
80	0,45	N3	N3	N2
100	0,38	N3	N3	N3
120	0,32	N4	N3	N3
140	0,28	N5	N4	N3

Tabela 5.46 - Cobertura inclinada com laje aligeirada - cerâmica.

Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Telha cerâmica                  2 - Argamassa de regularização                  3 - Estrutura de suporte com laje aligeirada - cerâmica                  4 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,25		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		1,95		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sob pavimento de cobertura				
		<p>Por facilidade de colocação adota-se a aplicação do isolamento térmico sob a laje de cobertura. Contudo este também pode ser colocado sobre o pavimento de cobertura.</p>		
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,36	N - 1	N - 4	N - 5
20	1,05	N0	N - 1	N - 2
30	0,85	N1	N0	N0
40	0,71	N2	N1	N1
60	0,54	N3	N2	N2
80	0,44	N3	N3	N2
100	0,37	N3	N3	N3
120	0,31	N5	N3	N3
140	0,28	N5	N4	N3

### 5.5.5.3 Cobertura plana

Tabela 5.47 - Cobertura plana com laje de betão armado.

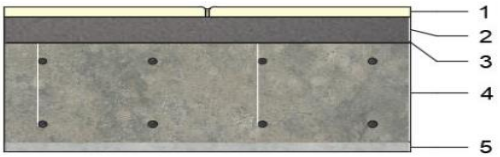
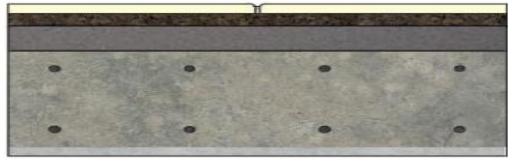
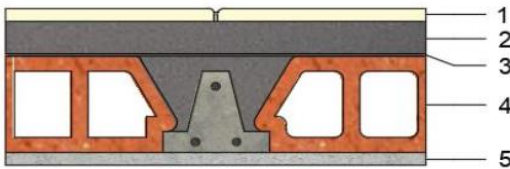
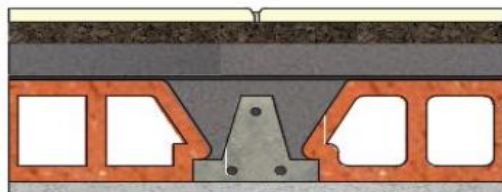
Pormenor construtivo existente				
		<p><u>Legenda:</u></p> <p>1 - Ladrilho cerâmico                  2 - Argamassa de regularização                  3 - Sistema de impermeabilização                  4 - Estrutura de suporte com laje de betão armado                  5 - Reboco tradicional</p>		
Espessura [m]		0,30		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		3,33		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento de cobertura		Em coberturas planas adota-se a aplicação do isolamento térmico sobre o pavimento de cobertura uma vez que a colocação sob o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil.		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,92	N - 5	N - 5	N - 5
20	1,35	N - 1	N - 4	N - 5
30	1,03	N0	N - 1	N - 2
40	0,84	N1	N0	N0
60	0,61	N2	N2	N1
80	0,48	N3	N3	N2
100	0,40	N3	N3	N3
120	0,33	N4	N3	N3
140	0,29	N5	N4	N3

Tabela 5.48 - Cobertura plana com laje aligeirada - cerâmica.

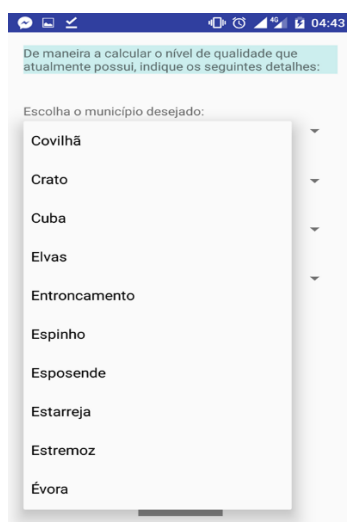
Pormenor construtivo existente				
		<b>Legenda:</b>		
		1 - Ladrilho cerâmico 2 - Argamassa de regularização 3 - Sistema de impermeabilização 4 - Estrutura de suporte com laje aligeirada - cerâmica 5 - Reboco tradicional		
Espessura [m]		0,25		
Coeficiente de transmissão térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		2,70		
Zonamento climático		Zona I1	Zona I2	Zona I3
Nível de qualidade		N - 5	N - 5	N - 5
Solução de isolamento térmico com aglomerado negro de Cortiça				
Isolamento sobre o pavimento de cobertura		Em coberturas planas adota-se a aplicação do isolamento térmico sobre o pavimento de cobertura uma vez que a colocação sob o pavimento provocaria a redução do pé direito do espaço útil.		
				
Espessura ICB [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona I1	Zona I2	Zona I3
10	1,69	N - 4	N - 5	N - 5
20	1,23	N0	N - 3	N - 4
30	0,96	N1	N0	N - 1
40	0,79	N2	N1	N0
60	0,59	N2	N2	N1
80	0,47	N3	N3	N2
100	0,39	N3	N3	N3
120	0,33	N4	N3	N3
140	0,29	N5	N4	N3

## 5.6 Modelo da aplicação móvel “*Pocket Engineer*”

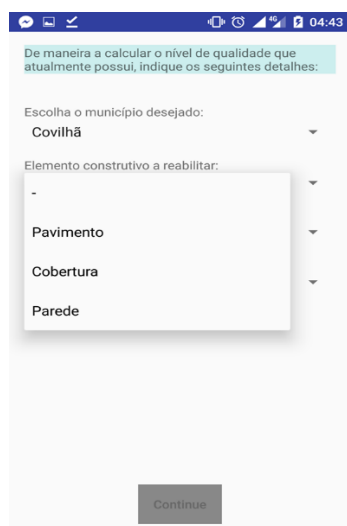
Em complemento do catálogo anteriormente proposto é criada uma aplicação móvel com o objetivo de facilitar o trabalho aos intervenientes na ação de reabilitação térmica dos elementos opacos da envolvente dos edifícios de habitação, evitando-se a implementação de soluções não fundamentadas no cálculo.

Seguindo um conjunto de opções interativas será fornecida ao utilizador a solução de espessura ideal proposta para o reforço de isolamento térmico com cortiça, consoante o nível de qualidade pretendido. Para o efeito o utilizador terá de seguir os procedimentos que se descrevem de seguida. São apresentadas imagens da aplicação móvel em funcionamento.

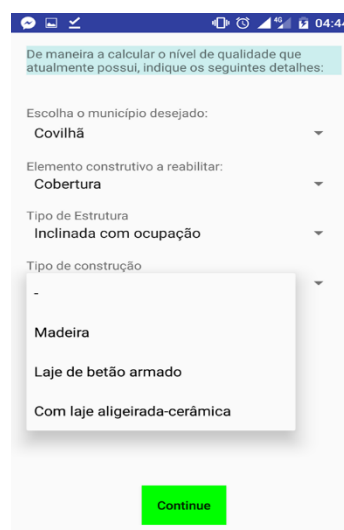
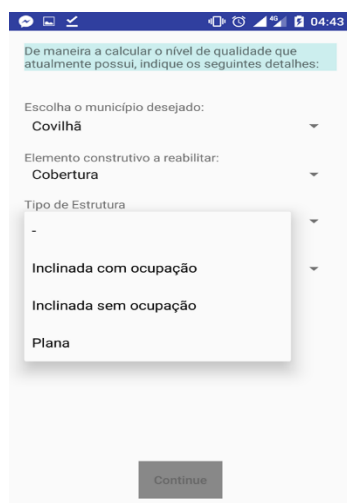
1. Escolha do município onde está implantado o edifício a reabilitar de forma a obter o zonamento climático correspondente;



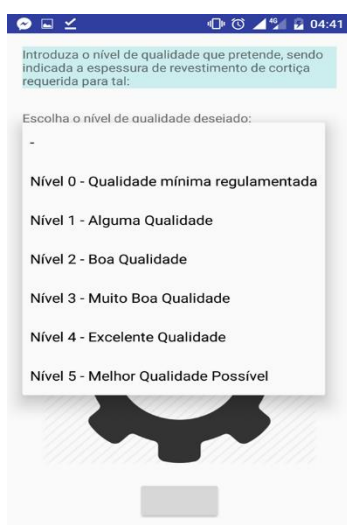
2. Escolha do elemento da envolvente opaca a reabilitar termicamente (parede, pavimento e/ou cobertura);



- Escolha da opção do elemento construtivo existente que permitirá obter o coeficiente de transmissão térmica (U) de forma automática, essencial para a classificação do nível de qualidade térmica atual;



- Escolha do nível de qualidade pretendido pelo utilizador, disponibilizando a aplicação a solução construtiva aconselhada com a indicação da espessura de isolamento térmico a aplicar;



Estes procedimentos podem ser repetidos para todos os restantes elementos da envolvente opaca do edifício a reabilitar. No final será possível obter um ficheiro PDF com a descrição e pormenores construtivos da solução a implementar.

## 5.7 Conclusão do capítulo

Ao longo deste capítulo apresentou-se o Regulamento Energético atualmente em vigor, seus requisitos e exigências principais servindo de base para estruturação de toda a metodologia de cálculo.

Apresentou-se o conceito de níveis de qualidade para avaliar de forma objetiva a situação existente e as possíveis hipóteses de reforço do isolamento térmico.

Propôs-se um catálogo de soluções de reforço térmico dos elementos da envolvente cujo objetivo é ajudar os técnicos nas opções de projeto a propor. Por fim apresenta-se a estruturação de uma aplicação móvel de apoio, incorporando de forma interativa toda a informação contida no catálogo de soluções de reabilitação térmica de edifícios incorporando cortiça.

## **Capítulo 6 - Conclusões**

## **Capítulo 6 - Conclusões**

- 6.1 Conclusões principais
- 6.2 Propostas de trabalhos futuros

## 6.1 Conclusões principais

O presente trabalho consistiu no acompanhamento e interligação de toda a realidade atual onde a consciencialização e intervenção de todos constitui um fator chave na construção de um Planeta capaz de suportar as nossas necessidades e evolução, contribuindo para tal com práticas e medidas sustentáveis.

O fenómeno das alterações climáticas há muito que é colocado em cima da mesa e os cientistas alertam para a mudança de hábitos de forma a atenuar as emissões de GEE. Mais do que nunca estamos informados sobre o impacto que a utilização de combustíveis fósseis tem no bom funcionamento ecológico do nosso Planeta, onde a redução deste tipo de combustíveis contribuirá não só para minimizar o fenómeno do aquecimento global, mas também para a redução da dependência energética dos países.

Na última década, a evolução tecnológica e melhoria de vida das populações aliada a um maior grau de exigência de conforto levou a um crescimento da procura de sistemas de climatização no nosso país, fazendo com que o setor dos edifícios apresente a mais elevada taxa de consumo energético de entre os setores da economia nacional. O consumo de energia não renovável pelos edifícios corresponde assim a um fator cada vez mais preocupante para obtenção de um futuro sustentável. Portugal tem cumprido os protocolos que limitam as emissões dos GEE, investindo em energia renovável, contudo continua a ser um dos países da UE com maior dependência externa de energia. O setor dos edifícios é responsável por cerca de 40% da energia final consumida na UE a 28 países e onde a intervenção de reabilitação nomeadamente ao nível da envolvente opaca como atenuação das perdas térmicas dispõe um enorme potencial para a diminuição da dependência energética e conseqüentemente para a redução da fatura energética e das emissões dos GEE.

A caracterização do parque habitacional português permitiu concluir que o elevado consumo energético provocado pela utilização dos edifícios é em parte resultante da ausência na definição de qualidade, nomeadamente térmica, uma vez que todos os edifícios anteriores a 1990 aquando do surgimento do RCCTE e que não tenham sido sujeitos a obras de requalificação apresentam défice significativo de isolamento térmico.

Com base no REH (onde são definidos valores de U máximos e mínimos para os diferentes elementos constituintes da envolvente, consoante o zonamento climático) e no estudo das técnicas e materiais de construção da envolvente dos edifícios existentes, propôs-se um catálogo de soluções de reforço térmico com incorporação de cortiça para os principais elementos da envolvente, com o objetivo de ajudar os técnicos nas opções de projeto a propor, reduzindo assim as perdas térmicas e conseqüentemente contribuição para a redução dos consumos energéticos associados.

A escolha da cortiça como material de isolamento térmico deveu-se às suas características ótimas como isolamento térmico e acústico bem como a sua contribuição para a sustentabilidade do Planeta por ser um material 100% natural e abundante no nosso país.

Por fim apresenta-se a estruturação de uma aplicação móvel de apoio, incorporando de forma interativa toda a informação contida no catálogo de soluções de reabilitação térmica de edifícios incorporando cortiça. A criação desta aplicação surgiu da necessidade de acompanhar todo o processo evolutivo que temos presenciado tendo como principal objetivo fornecer, de forma simplificada, todo o modelo desenvolvido no presente trabalho. Esta é mais uma contribuição para a promoção da reabilitação do parque edificado existente e redução dos consumos energéticos que ano após ano tem aumentado.

## 6.2 Propostas de trabalhos futuros

A reabilitação dos edifícios é um tema atual e compreendido por todos como um fator essencial para o impulsionamento da economia construtiva e eficiência energética. A continuação da aplicação e estudo da temática será um fator decisivo para a redução dos consumos energéticos e contribuição para a redução dos GEE.

Pelas razões apontadas sugerem-se algumas propostas para trabalhos futuros:

- Implementação prática da aplicação móvel “*Pocket Engineer*” e validação da sua aplicabilidade;
- Obtenção de custos aproximados de intervenção e período estimado para o retorno do investimento;
- Complemento da aplicação com a consideração de outros elementos da envolvente, nomeadamente pontes térmicas planas e lineares;
- Relacionar as intervenções de reforço do isolamento térmico utilizando cortiça com a melhoria do desempenho acústico;
- Incluir no catálogo e aplicação móvel a utilização de outros materiais naturais de isolamento térmico, de preferência disponíveis no local e com emissões reduzidas na sua extração, produção e transporte.

## Referências Bibliográficas

- [1] <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>, consultado em Novembro de 2016.
- [2] Instituto Nacional de Estatística, I.P; “Estatísticas do Ambiente 2015”, Edição 2016.
- [3] Santos. P.A.C.; “NZEB: Nearly Zero Energy Building Metodologias para Implementação NZEB Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo” dissertação de mestrado em Engenharia Civil, ISEC - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- [4] Torgal, F.P.; Jalali, S.; “A Sustentabilidade dos Materiais de Construção” , Edição: TecMinho, Novembro 2010.
- [5] <http://www.globalchange.gov/> , consultado em Novembro de 2016.
- [6] Pachauri, R.K.; Meyer,L.; “Climate change 2014 Synthesis Report”, IPCC, Geneva, Switzerland.
- [7] <http://www.eurostat.com/>, consultado em Fevereiro 2017.
- [8] Fernandes, A.C.;Guerra, M.; Ribeiro, R.; Rodrigues, S.; “ Relatório do Estado do Ambiente 2016”, Edição: Agência Portuguesa do Ambiente, Dezembro 2016.
- [9] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241.
- [10] <http://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>, consultado em Janeiro de 2017.
- [11] L. Bourdeau, P. Huovila, R. Lanting, and A. Gilham, CIB W82. Sustainable Development and the Future of Construction. A comparison of visions from various countries. 1998.
- [12] CIB Report Publication, “ Agenda 21 on sustainable construction”, julho 1999.
- [13] Nepomuceno, M.C.S.; “Desempenho Energético de Edifícios Parte I - Edifícios de habitação” Universidade da Beira Interior, Covilhã 2014.
- [14] APCOR, “Cork INformation Bureau 2016, Cortiça - História,” pp. 1-15, 2015.
- [15] <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/nasceu-o-primeiro-tapete-de-cortica-feito-em-tear/->, consultado em Fevereiro 2017.
- [16] <http://www.ruralea.com/assobiador-o-sobreiro-mais-antigo-do-mundo/>, consultado em Fevereiro 2017.
- [17] <http://www.amorim.com/a-cortica/localizacao-do-montado/>, consultado em Fevereiro 2017.
- [18] <https://eco.pt/2017/02/12/cortica-vive-melhor-ano-de-sempre/>, consultado em Fevereiro 2017.
- [19] Instituto Nacional de Estatística, “Estatísticas do Comércio Internacional 2015,” vol. 2015, pp. 2-9, 2015.
- [20] <http://www.amorimisolamentos.com/>
- [21] Fortes, H.; Amaral,M.; Pereira, M.E.; “ A Cortiça”, Instituto Superior Técnico, Lisboa 2004.

- [22] <http://expresso.sapo.pt/economia/2016-10-16-Este-sobreiro-em-regadio-deu-a-primeira-cortica-aos-oito-anos>, consultado em Março 2017.
- [23] Gil, L.; “A cortiça como material de construção - Manual Técnico”, APCOR, 2007
- [24] Natividade, J.V. (1950). Subericultura. Minist. Econ. - Dir. Ger. Serv. Flor. e Aquícolas. Porto.
- [25] Gill, L.M. (1998). Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação. INETI - Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 1998.
- [26] Gibson, L. J.; Ashby, M.F.; “Cellular Solids, Structure and properties” Livro, segunda edição, 1998.
- [27] Vieira, H.; “Análise de Características da Cortiça Amadia Relevantes para a sua Qualidade Industrial”, dissertação em Engenharia Civil, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa 2009.
- [28] <http://www.apcor.pt/media-center/multimedia/fototeca/> consultado em Março 2017.
- [29] [https://www.geocaching.com/geocache/GC53QZW\\_9pt-o-sobreiro-preparacao-da-cortica-cozedura?guid=80ac20f5-04f8-4513-9a15-82d86d526fec](https://www.geocaching.com/geocache/GC53QZW_9pt-o-sobreiro-preparacao-da-cortica-cozedura?guid=80ac20f5-04f8-4513-9a15-82d86d526fec) , consultado em Março 2017.
- [30] Garret, A.; “Cortiça Aplicada”, Edições Altura, 1946.
- [31] EGF, “Análise Tecnológica do Sector Corticeiro”, vols I e II, Lisboa 1982.
- [32] Silva, C. S. N.; “Reabilitação de Edifícios Multifamiliares das décadas de 50, 60 e 70” - dissertação de mestrado em Engenharia Civil, UBI - Universidade da Beira Interior, Covilhã, outubro de 2013.
- [33] INE, “Estatísticas da Construção e Habitação 2015, Edição 2016.
- [34] <http://www.portugal.gov.pt/pt/ministerios/mpi/noticias/20170317-sedc-reab-urbana.aspx>, consultado em Março 2017 .
- [35] <http://www.portugal.gov.pt/pt/ministerios/mpi/noticias/20170217-mpi-reab-bairros-sociais.aspx>, consultado em Março 2017.
- [36] <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/reabilitacao/>, consultado em Março 2017
- [37] FEE (2015); Fundo de Eficiência Energética; Aviso 10 - Edifício Eficiente 2015; Aviso para a Apresentação de Candidatura ao Fundo de Eficiência Energética.
- [38] Lanzinha, J. C.; “Reabilitação de edifícios. Metodologia de diagnóstico e intervenção” tese de doutoramento em Engenharia Civil, UBI - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2006
- [39] Freitas, V.P.; Guimarães, A.; Ferreira, C.; Alves, S.; “Edifícios existentes, medida de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, edição ADENE.
- [40] Santos, L.P.; Matias, C. A.; Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, ITE 50,. LISBOA, 2006.
- [41] “ADENE; 10 Soluções de Eficiência Energética: Saiba mais sobre Isolamento de Paredes; Lisboa; 2016;”.
- [42] DGGE, Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. 2004.
- [43] P. Delgado, Aline G., Mendonça, “Guia para a reabilitação energética de edifícios - Portal da Construção Sustentável,” 2005.

- [44] “ADENE; 10 Soluções de Eficiência Energética: Saiba mais sobre Isolamento de Coberturas; Lisboa; 2016;”.
- [45] DL No 118/2013, “Decreto-Lei n.o 118/2013, de 20 de Agosto,” Diário da República N.o 159, 1.a série, p. 4988-5005, Lisboa, Portugal (in Portuguese), 2013.
- [46] N. R. De Pena, V. Flor, S. Vouga, “ O zonamento climático - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos ( NUTS ) de nível III , cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei no 68 / 2008 de 14 de abril de 2008,” no. 26, pp. 26-31, 2013.
- [47] <http://www.lneg.pt/serviços/35/2171/>, consultado em Maio 2017.
- [48] Coutinho, R.N.; “Relação entre o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação com o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia,” 2014.
- [49] O. S. De Estado, “Diário da República, 1.a série - N.o232 - Portaria n.o 349 - B/2013,” no. 18, pp. 18-29, 2013.