



Proyecto cofinanciado con la
Contribución del Programa LIFE
de la Unión Europea

Project co-funded with the
contribution of the LIFE Programme
of the European Union



SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS DE ISOLAMENTO PARA EDIFÍCIOS NZEB

LIFE ReNatural NZEB

LIFE ReNatural NZEB

Soluções Sustentáveis de Isolamento para Edifícios NZEB

Edição:

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada do Paço do Lumiar, 22.

1649-038 Lisboa Portugal

novembro 2022

Autores:

Ana Paula Duarte, LNEG

Ana Gonçalves, LNEG

David Loureiro, LNEG

Mónica Ruiz - Roso Luna, Junta da Extremadura (Espanha)

Direção e coordenação:

Ana Paula Duarte, LNEG

ISBN: 978-989-675-126-5

Depósito Legal: 508795/22

Licença Creative Commons: O manual “Soluções Sustentáveis de Isolamento para Edifícios NZEB” está licenciado com uma Licença Creative Commons-Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual4.0 Internacional. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Este manual faz parte dos materiais desenvolvidos no projeto LIFE ReNaturalNZEB. O material, texto e gráficos (com exceção das fotografias) podem ser utilizados no todo ou em partes para qualquer finalidade educacional, com citação da fonte, de acordo com os direitos de uso da licença Creative Commons.



Proyecto cofinanciado con la
Contribución del Programa LIFE
de la Unión Europea

Project co-funded with the
contribution of the LIFE Programme
of the European Union



Prefácio

Este manual faz parte de uma coleção de manuais editados e publicados no âmbito do projeto LIFE ReNaturalNZeb - *Recycled and Natural Materials and Products to develop Nearly Zero Energy Buildings with low carbon footprint* (LIFE17 ENV/ES/000329) que procura valorizar materiais naturais e reciclados para obter edifícios de consumo de energia quase nulo, confortáveis, saudáveis e sustentáveis. Neste caso, o manual vai ser realizado em português e em Espanhol, permitindo a sua utilização por técnicos e entidades de ambos os países.

O manual tem como objetivo caracterizar os materiais de isolamento térmicos existentes no mercado e dar directrizes para escolha das soluções mais sustentáveis, com ênfase na utilização de materiais e produtos naturais com baixa pegada de carbono, bem como apresentar referências, estudos e empresas fabricantes de isolantes térmicos, sistemas de isolamento ou produtos associados em Portugal e Espanha.

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) é um laboratório de estado português pertencente ao Ministério do Ambiente e Ação Climática que desenvolve I&D orientada para as necessidades da sociedade e das empresas. Tem como visão ser uma instituição de referência capaz de contribuir com soluções de excelência para uma economia descarbonizada, tendo na área dos edifícios como objetivo geral desenvolver estudos de investigação, desenvolvimento e inovação, de apoio ao desenvolvimento sustentável do sector da construção.



Introdução e objetivos

Este manual está integrado no projeto LIFE ReNaturalNZEB - *Recycled and Natural Materials and Products to develop Nearly Zero Energy Buildings with low carbon footprint* (LIFE17 ENV/ES/000329).

O conceito de nZEB, edifício “com necessidades quase nulas de energia», isto é com um desempenho energético muito elevado, tal como indicado na Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) (UE, 2010), tornou-se um requisito crítico e um desafio no setor da construção, sobretudo para arquitetos e designers (Aelenei et al., 2022). Em primeiro lugar é preciso aumentar a eficiência energética dos edifícios, com utilização de soluções passivas, e apenas depois cobrir as necessidades energéticas que ainda existam através da geração de energia.

De acordo com a definição as necessidades de energia que possam existir deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo fontes produzidas no local ou nas suas proximidades (EU, 2010).

Assim é muito importante a adopção de soluções e estratégias passivas, como por exemplo considerar isolamento térmico na envolvente do edifício, já que o isolamento térmico limita as perdas e trocas de calor entre o exterior e o interior do edifício, com diminuição dos consumos energéticos e das emissões de CO₂, contribuindo para a eficiência energética e conforto da habitação.

O objetivo principal do projeto LIFE ReNaturalNZEB é a utilização de materiais e produtos naturais com baixa pegada de carbono. Neste contexto, o manual tem como objetivo caracterizar os isolamentos térmicos existentes no mercado e dar directrizes para escolha das soluções mais sustentáveis, com ênfase na utilização de materiais e produtos naturais com baixa pegada de carbono. Vai ser realizado em Português e em Espanhol, permitindo a sua utilização por técnicos de ambos os países.

Encontra-se dividido em 4 capítulos:

- Isolamento Térmico - importância e conceitos básicos (primeiro capítulo);
- Tipos e Aplicação de Isolantes Térmicos (segundo capítulo);
- Isolamento Térmico na Reabilitação Energética de Edifícios (terceiro capítulo);
- Enquadramento Legislativo e Regulamentar em Portugal e Espanha (quarto capítulo).

De realçar que ao longo do texto vão existindo várias caixas com uma explicação mais pormenorizada sobre determinados materiais ou produtos, ou rotulagens ou pontos importantes que devem ser sublinhados.



Introduction

This manual is part of the LIFE ReNaturalNZEB project - Recycled and Natural Materials and Products to develop Nearly Zero Energy Buildings with low carbon footprint (LIFE17 ENV/ES/000329).

The concept of nZEB, building “nearly zero energy”, i.e. with a very high energy performance, as indicated in the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) (EU, 2010), has become a critical and important requirement, a challenge in the construction sector, especially for architects and designers (Aelenei et al., 2022). Firstly, it is necessary to increase the energy efficiency of buildings, using passive solutions, and only then to cover the energy needs that still exist through energy generation.

According to the definition, the energy needs should be covered to a large extent by energy from renewable sources, including sources produced on-site or nearby (EU, 2010).

Therefore, it is very important to adopt passive solutions and strategies, such as considering thermal insulation in the building’s surroundings, since thermal insulation limits heat losses and exchanges between the outside and the inside of the building, reducing energy consumption and of CO₂ emissions, contributing to energy efficiency and home comfort.

The main objective of the LIFE ReNaturalNZEB project is the use of natural materials and products with a low carbon footprint. In this context, the manual aims to characterize the thermal insulation available on the market and provide guidelines for choosing the most sustainable solutions, with an emphasis on the use of materials and natural products with a low carbon footprint. its use by technicians from both countries.

It is divided into 4 chapters:

- Thermal Insulation - importance and basic concepts (first chapter);
- Types and Application of Thermal Insulators (second chapter);
- Thermal Insulation in the Energy Rehabilitation of Buildings (third chapter);
- Legislative and Regulatory Framework in Portugal and Spain (fourth chapter).

It should be noted that throughout the text there are several boxes with a more detailed explanation about certain materials or products, or labels or important points that should be underlined.

1. Isolamento térmico

1.1. Importância do isolamento Térmico.....	18
1.2. Conceitos Básicos.....	19





2. Tipos e aplicação de isolantes térmicos

2.1. Classificação dos isolantes.....	36
2.2. Normas europeias aplicáveis aos isolantes térmicos.....	62
2.3. Condições para seleção de um isolante térmico.....	63
2.4. Como selecionar um isolante térmico sustentável?.....	67
2.5. Como escolher profissionais qualificados?.....	71

3. Isolamento térmico na reabilitação energética de edifícios

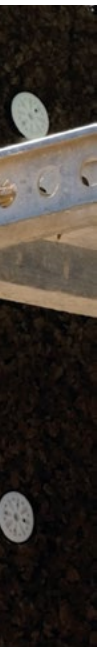
3.1. Introdução.....	74
3.2. Oportunidades.....	75



4.

Enquadramento legislativo e regulamentar em Portugal e Espanha

4.1. Portugal.....	80
4.2. Espanha.....	84



5. Referências bibliográficas

ANEXO 1 - Empresas fabricantes de isolantes térmicos, sistemas de isolamento ou produtos associados em Portugal.....	97
ANEXO 2 - Empresas fabricantes de isolantes térmicos, sistemas de isolamento ou produtos associados em Espanha.....	98

Índice de figuras

Figura 1 - Fronteira do sistema termodinâmico.....	19
Figura 2 - Diferenças entre sistema aberto e fechado.....	20
Figura 3 - Mecanismos de transferência de calor.....	21
Figura 4 - Exemplo simplificado dos mecanismos de transferência de calor	21
Figura 5 - Correntes de convecção numa sala aquecida por um radiador.....	23
Figura 6 - Exemplo de trocas de calor por convecção.....	23
Figura 7 - Interação corpo humano-edifício.....	25
Figura 8 - Interação Edifício – Clima local.....	25
Figura 9 - Equilíbrio Térmico no Edifício: exemplos de trocas de energia no edifício.....	26
Figura 10 - Balanço térmico na estação fria e na estação quente.....	26
Figura 11 - Exemplo de parede dupla com betão no interior, que conta para a inércia térmica.....	29
Figura 12 - Exemplo de pontes térmicas na caixa de estore (1).....	30
Figura 13 - Identificação de pontes térmicas lineares num edifício.....	31
Figura 14 - Classificação dos materiais de isolamento de acordo com o mecanismo de aplicação, natureza da matéria-prima e processo produtivo.	37
Figura 15 - Classificação dos isolantes naturais com base na origem da matéria-prima.....	38
Figura 16 - Aplicação da lã de rocha no teto.....	39
Figura 17 - Aplicação de lã de rocha nas paredes.....	40
Figura 18 - Lã de vidro em rolo.....	41

Figura 19 - Aplicação de lã de vidro no teto.....	41
Figura 20 - Vermiculite Expandida a granel.....	42
Figura 21- Painéis de vermiculite.....	43
Figura 22 - Perlite Expandida.....	44
Figura 23 - Argila Expandida.....	45
Figura 24 - Estrutura interna da argila expandida.....	46
Figura 25 - Isolamento com argila expandida.....	47
Figura 26 - Fibra de celulose.....	47
Figura 27 - Isolamento de sótão com celulose.....	48
Figura 28 - Montado de sobro.....	49
Figura 29 - Aglomerado de cortiça expandida.....	50
Figura 30 - Planta do arroz.....	52
Figura 31 - Placas de isolamento com casca de arroz a) 100 % casca de arroz, e b) casca de arroz em combinação com regranulado de cortiça expandida (protótipos).....	53
Figura 32 - Placas de cânhamo.....	54
Figura 33 - Placas de fibra de madeira.....	55
Figura 34 - Lã de ovelha.....	56
Figura 35 - Placas de EPS.....	57
Figura 36 - Placas de XPS.....	57
Figura 37 - Isolamento de coberturas inclinadas com XPS.....	58
Figura 38 - Aplicação de XPS em isolamento de paredes.....	58
Figura 39 - Elementos de um sistema ETICS.....	59
Figura 40 - Características físicas dos principais materiais de isolamento das ETICS.....	60
Figura 41 - Blocos de betão com inertes leves.....	61
Figura 42 - Indicação dos resultados consoante a posição do isolamento térmico nas paredes.....	65
Figura 43. Rótulo Ecológico da União Europeia.....	67
Figura 44 - Logo EUCEB.....	68
Figura 45 - Logo Eurofins.....	69
Figura 46 - Seleção de materiais isolantes.....	70
Figura 47 - Sequência ambiental e económica dos materiais isolantes.....	70
Figura 48 - Isolamento de paredes e coberturas.....	76
Figura 49 - Isolamento de pavimentos.....	77
Figura 50 - Evolução das diretivas europeias.....	80

1. Isolamento térmico

Importância e conceitos básicos





1.1. Importância do Isolamento Térmico

Na construção de edifícios nZEB a introdução de isolamentos térmicos na sua envolvente é muito importante já que permite reduzir as trocas de calor por condução (que são geralmente as mais relevantes), contribuindo para a eficiência energética e conforto da habitação.

O isolamento térmico é um parâmetro importante na eficiência energética de uma habitação. Com uma espessura reduzida, o isolamento térmico consegue introduzir uma resistência térmica elevada, diminuindo significativamente as trocas de calor pela envolvente (BUS-FORESEE, 2016). Quanto mais isolados estão os elementos de construção menos energia é necessária para manter a temperatura de conforto no interior.

A instalação de isolamento térmico aumenta a resistência térmica da envolvente de edifícios, o que tem impactes ambientais, e económicos positivos:

- Reduz as perdas térmicas e contribui para um melhor conforto térmico;
- Reduz as necessidades energéticas e conseqüente redução da emissão de gases com efeito de estufa;
- Reduz o ruído, uma vez que melhora também o isolamento acústico da nossa habitação.
- Diminui os custos associados ao consumo de energia, traduzindo-se numa poupança com o aquecimento e o arrefecimento;
- Garante um ambiente mais confortável e saudável, mantendo a temperatura ideal e evitando a humidade e a condensação.

Simplificando, no tempo mais frio evitam-se as perdas de calor e mantém-se a casa mais quente; no tempo mais quente, o isolamento térmico ajuda a manter os espaços mais frescos. E isto sem necessidade de recorrer a outros sistemas de climatização, e portanto, sem mais custos.

Em situações de reabilitação energética, o uso de isolamento térmico apresenta ainda mais valias adicionais, como seja a competitividade do edifício reabilitado face a outros edifícios análogos ou aumento da durabilidade da construção (BUS-FORESEE, 2016).





1.2. Conceitos Básicos

Para uma compreensão do funcionamento do isolamento térmico num edifício, apresentam-se neste subcapítulo alguns conceitos básicos.

A **Termodinâmica** tem como objetivo estudar a variação da energia total de um sistema. A análise termodinâmica de um sistema pode ser realizada num limite geométrico (fronteira) “fixo”, que pode ser fictício ou real, mas que delimita um volume finito. Assim, transferências de trabalho, calor ou matéria e energia entre o sistema e o ambiente podem ter lugar através desta fronteira.

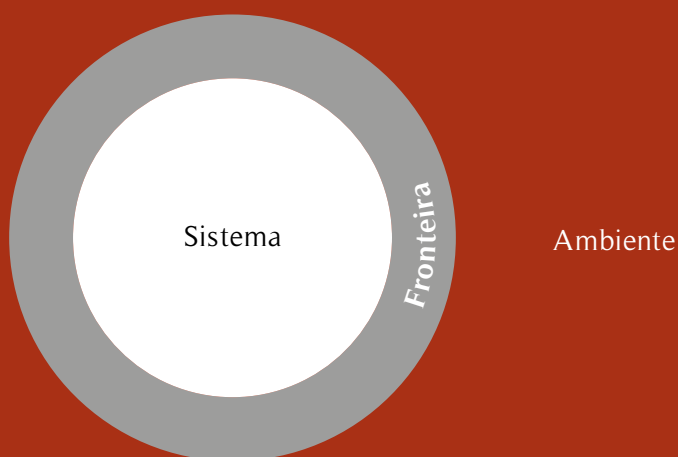


Figura 1 – Fronteira do sistema termodinâmico. Fonte: Aelenei, 2016.

Existem dois tipos de sistemas termodinâmicos: **sistema fechado**: capaz de trocar energia (calor e trabalho), mas não se importa com o seu ambiente e **sistema aberto** (Fig. 2).

Sistema Termodinâmico



Figura 2 – Diferenças entre sistema aberto e fechado. Fonte: Aelenei, 2016.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR E SEUS MECANISMOS

A transferência de calor consiste na troca de energia térmica, entre sistemas físicos, dependendo da temperatura e da pressão, por dissipação de calor.

O calor é uma quantidade direcional (vetor), e por isso tem, uma magnitude e uma direção.

Q (J) quantidade de calor transferida

Q (W) taxa de transferência de calor

No estudo do comportamento térmico dos edifícios, a transferência de calor resulta da combinação de três mecanismos distintos: **condução**, **convecção** e **radiação** (Figs. 3 e 4).

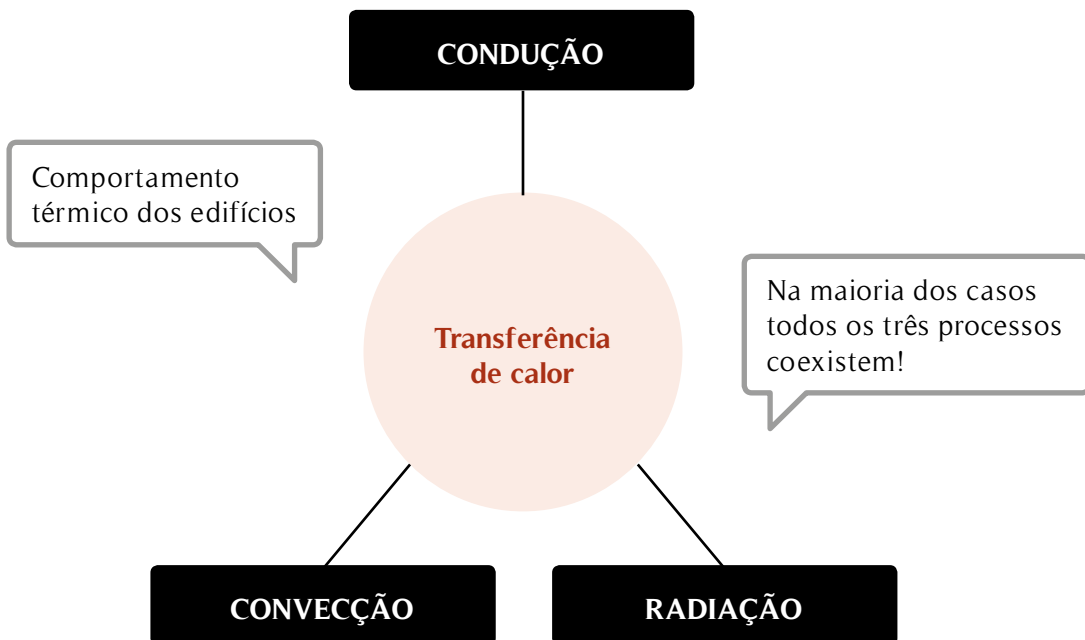


Figura 3 – Mecanismos de transferência de calor. Fonte: Aelenei, 2016.

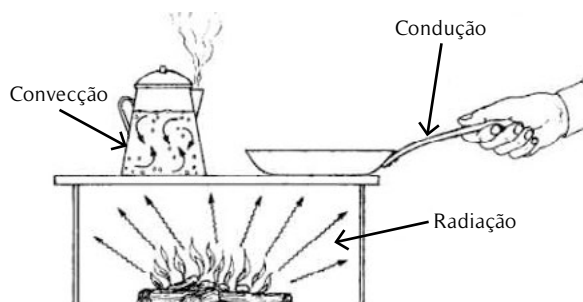


Figura 4 – Exemplo simplificado dos mecanismos de transferência de calor. Fonte: Grimm (1999).

Condução Térmica

Corresponde à transferência de calor entre duas zonas com diferentes temperaturas e pode ocorrer em corpos sólidos ou fluidos (isto é, transferência de energia devida a atividade molecular).

A lei da condução térmica é conhecida como a **Lei de Fourier** e calcula a taxa de transferência de calor $Q_{\text{condução}}$ (W) como função da condutividade térmica, λ (W/m.K), da área A (m²) e o gradiente de temperatura entre o exterior e o interior (Adene, 2020):

$$Q_{\text{condução}} = \lambda \times A \times (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}})$$

Em que: **Condutividade térmica (λ)** → é a propriedade do material para conduzir calor.

O calor que se propaga através das paredes, pavimentos e coberturas deve-se a trocas de energia térmica por condução. Assim, as paredes exteriores, telhados, pisos e janelas perdem ou ganham calor por condução sempre que a temperatura exterior é baixa ou alta. Este tipo de trocas é tanto maior quanto menor for a resistência térmica da envolvente.

Convecção

Transferência de calor por convecção, é a transferência de energia entre uma superfície e um fluido em movimento sobre essa superfície (Bergman *et al.*, 2011). Convecção é geralmente a forma dominante de transferência de calor nos líquidos e gases.

O movimento pode resultar de diferenças de pressão induzida por gradientes térmicos (convecção natural), ou pode ser causado por qualquer causa externa (convecção forçada), tais como o vento ou equipamento mecânico (um ventilador, por exemplo), Fig. 5.

A convecção térmica é descrita pela **lei de Newton**, a qual estabelece que a taxa de transferência de calor ($Q_{\text{convecção}}$) (W) de um corpo é proporcional à diferença nas temperaturas entre o corpo e a sua vizinhança (Portal Engenharia Química, 2007).

$$Q_{\text{convecção}} = h \times A \times (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}})$$

Em que: h (W/m² K) - coeficiente de transferência térmica.



Figura 5 - Correntes de convecção numa sala aquecida por um radiador

O calor que atravessa frinchas e aberturas deve-se a trocas de calor por convecção, Figura 6.

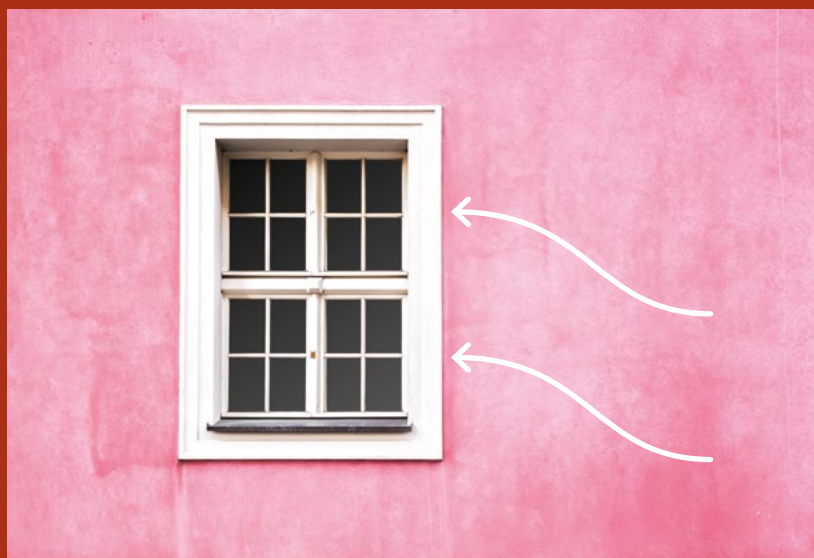


Figura 6 - Exemplo de trocas de calor por convecção

Radiação

A radiação térmica é a energia emitida pela matéria através de ondas eletromagnéticas, não exigindo a presença de um meio material.

Não há necessidade de meio de transporte, dado que todas as formas de matéria emitem ou recebem radiação como uma função da sua temperatura absoluta. A radiação é propagada à velocidade da luz (c), tendo as seguintes características: frequência e comprimento de onda.

$$c = \lambda \times f$$

λ - comprimento de onda (m ou mm)

f - frequência (Hz ou s⁻¹)

A transferência de calor por radiação térmica ocorre através de sólidos, líquidos, gases e no vácuo. A energia radiante que um corpo emite Qradiação (W), é traduzida pela Lei de Stefan-Boltzmann (Josef Stefan 1835-1893, Ludwig Boltzmann 1844-1906) aplicada a um corpo real (Portal Engenharia Química, 2007):

$$Q_{\text{radiação}} = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot T_s^4$$

Sendo $\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^2.\text{K}^{-4}$ a constante de Stefan-Boltzmann, ϵ , a emissividade da superfície emissora ($0 < \epsilon \leq 1$), A , a sua área e T_s a sua temperatura absoluta (K).

No edificado, o calor por radiação concentra-se prioritariamente nos envidraçados e paredes exteriores.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DO BALANÇO ENERGÉTICO E TÉRMICO EM EDIFÍCIOS

O desempenho do edifício em termos das necessidades de energia, é avaliado como a quantidade total de energia necessária (num determinado período, por exemplo, um ano) para manter uma certa temperatura (considerados os critérios de conforto) no ambiente interior.

Os parâmetros principais na **interação entre o corpo humano-clima-edifício** e para uma melhor compreensão do equilíbrio térmico são (Figs. 7, 8, 9 e 10):

- *Radiação Solar* → provoca o aumento da temperatura interior.
- *Temperatura do ar* → influencia a troca de calor (ganhos/perdas).
- *Humidade Relativa* → influencia diretamente o conforto higrotérmico.
- *Precipitação* → pode alterar as propriedades físicas da envolvente do edifício.
- *Vento* → influencia a ventilação do edifício.
- *Características do céu* → influencia a troca de calor por radiação.

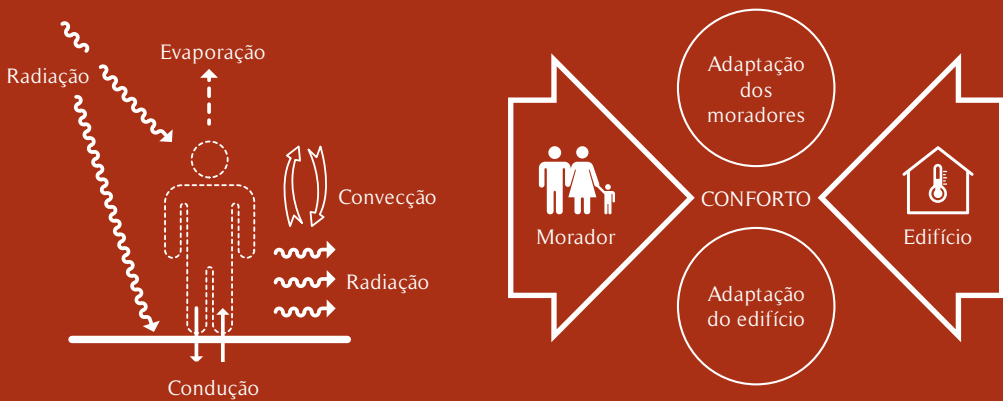


Figura 7 - Interação corpo humano-edifício.

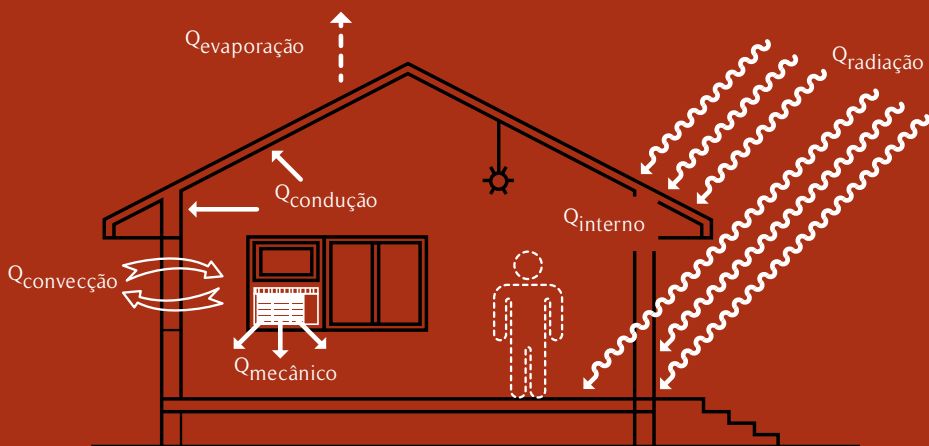


Figura 8 - Interação Edifício – Clima local. Fonte: Joseph et al., 2015.

EQUILÍBRIO TÉRMICO

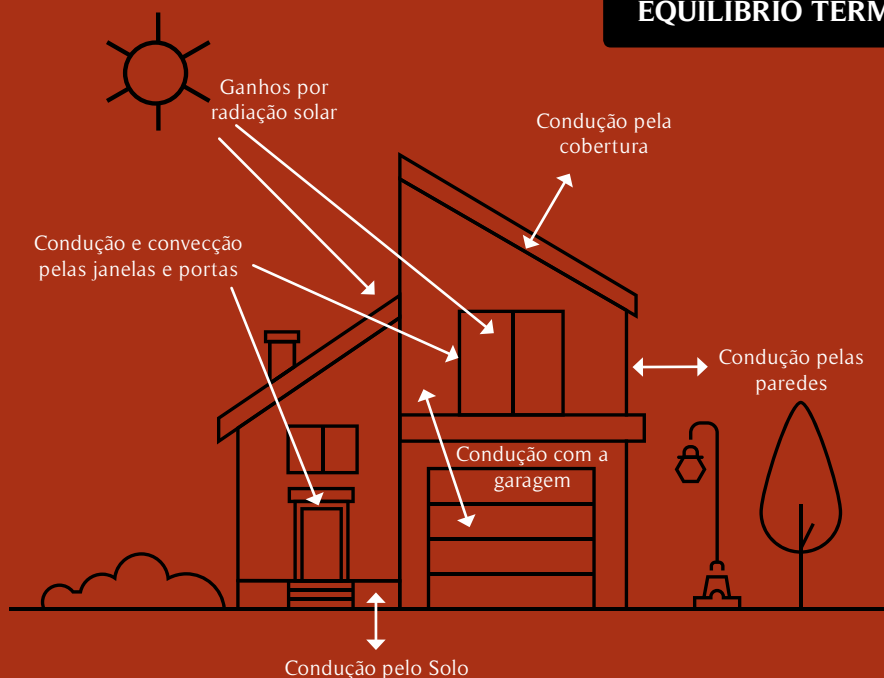


Figura 9 - Equilíbrio Térmico no Edifício: exemplos de trocas de energia no edifício

ESTAÇÃO FRIA

- Perdas de calor por condução através do envelope;
- Perdas convectivas de calor resultantes da ventilação, infiltração;
- Ganhos solares através das áreas envidraçadas;
- Ganhos internos (equipamentos, iluminação).

ESTAÇÃO QUENTE

- Ganhos de calor através do envelope devido ao efeito da radiação solar;
- Ganhos solares através de áreas envidraçadas e envelope;
- Ganhos internos devido aos moradores, equipamentos e iluminação artificial.

Figura 10 - Balanço térmico na estação fria e na estação quente. Adaptado de Aelenei, 2011

Assim, quando se analisam as trocas de calor num edifício ou numa fração autónoma, verifica-se a existência de trocas de calor pela envolvente, nomeadamente através de envidraçados, paredes, coberturas e pavimentos, que vão depender do valor do coeficiente de transmissão térmica desses elementos (Figs. 8, 9, 10). Em Portugal as necessidades de aquecimento no inverno podem ser reduzidas com maior resistência térmica da envolvente e no verão as necessidades de arrefecimento podem ser reduzidas por controlo dos ganhos solares (BUS-FORESEE, 2016).

A energia produzida no interior do corpo é chamada de atividade metabólica e depende do tipo de trabalho realizado. A unidade utilizada para caracterizar a atividade metabólica é o Met ou Watt's (mais técnica), que é o calor libertado por uma pessoa em repouso - 100 W. Considerando-se que em média a pele das pessoas tem uma superfície de $1,8m^2$, 1 Met corresponde a $58,2 W/m^2$ (Graça, 2016a).

Caixa 1

O vestuário impõe uma resistência térmica entre o corpo e o ambiente, representando uma barreira para as trocas de calor. Pode ser medido em clo' s ou em m^2C/W – mais técnica ($1 Clo = 0.155 m^2C/W$), que é o índice de resistência térmica do vestuário. Ter em atenção que a escala Clo foi concebida para que uma pessoa nua tenha um valor Clo de 0,0 e que alguém vestido com um fato típico de negócio tenha um valor Clo de 1,0 (Graça, 2016a).

Caixa 2

CONFORTO TÉRMICO E VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO

Quando o calor produzido pelo metabolismo é igual ao calor que é dissipado, a pessoa sente uma sensação de neutralidade. Assim, as pessoas sentem-se confortáveis quando a equação básica de “conforto térmico” é satisfeita:

Calor gerado = calor emitido

A temperatura do corpo humano em condição saudável pode variar entre $36,1^{\circ}C$ e $37,2^{\circ}C$. O calor pode ser dissipado através da pele e da respiração.

As variáveis ambientais que determinam o conforto térmico, são: temperatura do ar (a mais importante), radiação, velocidade

do ar e teor de humidade do ar. Para além disso, ainda temos as variáveis individuais ou pessoais, que são a atividade metabólica e o vestuário (Graça, 2016a).

Existem vários métodos para avaliação de conforto térmico, contudo o mais conhecido e amplamente aceite é o *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger. Este método permite estimar a percentagem de pessoas insatisfeitas.

Um valor de $VME=0$ resulta em 5% de pessoas insatisfeitas, de modo que nunca pode ocorrer 100% de pessoas satisfeitas.

Segundo Graça (2016a), deve-se ter em atenção nos cálculos que:

- i. o consumo de um edifício é sempre calculado tendo por base o nível de conforto requerido;
- ii. o consumo teórico - que os engenheiros calculam, quando fazem o projeto de climatização - pode ser definido como a quantidade de energia necessária para alcançar e manter uma certa temperatura de conforto dentro daquele edifício;
- iii. a condição de conforto é muitas vezes simplificada para apenas se usar a temperatura do ar;
- iv. os outros parâmetros tendem a atingir um ponto de estabilidade perto da temperatura do ar, uma vez que é a variável que mais influencia o conforto térmico;
- v. em alguns casos - apesar da temperatura do ar corresponder aos requisitos de conforto térmico - o conforto não é conseguido. Por exemplo, quando existe muitas influências assimétricas nos vários parâmetros envolvidos. Nesses casos deve-se realizar um estudo detalhado de todas as variáveis que influenciam as condições de conforto.

NOÇÃO DE ADAPTAÇÃO

Conforto adaptativo *expressa a aclimação do corpo humano; que pode ser definido como a capacidade humana de se adaptar às condições climáticas* (Graça, 2016b).

Assim, as pessoas que vivem em climas mais quentes suportam melhor temperaturas mais elevadas; e as pessoas que vivem em regiões mais frias suportam melhor temperaturas mais baixas.

NOÇÃO DE INÉRCIA TÉRMICA

Inércia térmica, *corresponde ao grau de lentidão com que a temperatura de um corpo se aproxima à do seu ambiente. É dependente da sua capacidade de absorção, do seu calor específico, da sua condutibilidade térmica e das suas dimensões, entre outros fatores* (Graça, 2016b). A Inércia Térmica é principalmente um fenómeno de condução.

Como funciona a inércia?

A inércia térmica na construção está relacionada com a transferência de calor entre o ambiente exterior e interior.

A aplicação da inércia térmica nos edifícios, proporciona um atraso no pico máximo e mínimo na temperatura interna. Por exemplo, no inverno é importante que a parede externa retenha a temperatura e que depois a liberte durante a noite, quando é necessária.

A inércia térmica depende diretamente da massa de construção em contacto com o ambiente interior. Por isso, o isolamento pelo interior anula a inércia térmica (o calor tem de irradiar livremente) e os isolamentos pelo exterior são as soluções com maior inércia térmica.

A otimização desta técnica assegura o conforto térmico no interior da edificação e está ligado aos materiais que se utilizam.

A inércia térmica de materiais pesados de construção é capaz de armazenar a temperatura média desejada e permite que a mesma irradie para os ambientes interiores para os tornar mais confortáveis (Tirone & Nunes, 2010). Assim, materiais de massa como betão e alvenaria têm maior condutibilidade, portanto, se o edifício possui estes materiais, o calor será armazenado e transmitido mais tarde para o interior do edifício (Fig. 11).

Um outro aspeto positivo da inércia térmica é o facto de funcionar sem necessidade de qualquer sistema ativo e por isso não apresenta quaisquer custos operacionais.

Em termos climáticos, *casas em climas quentes e secos com uma grande amplitude térmica entre o dia e a noite precisam de uma construção maciça e armazenamento térmico, portanto, de edifícios com elevada inércia térmica. Casas em climas quentes e húmidos precisam de elementos de construção leves, de baixa inércia e alta ventilação* (Graça, 2016b).

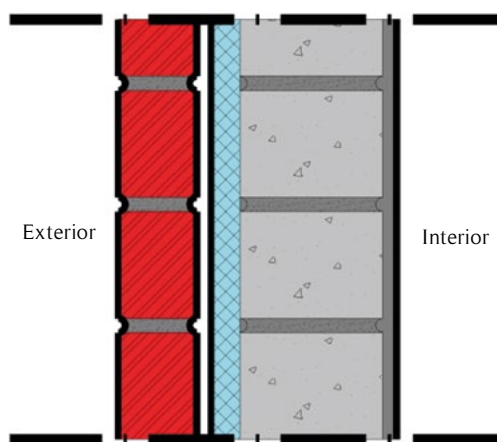


Figura 11 - Exemplo de parede dupla com betão no interior, que conta para a inércia térmica. Fonte: © Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, IP

Pontes Térmicas Lineares (PTL) – Descontinuidade do isolamento térmico ou ligação entre dois elementos construtivos diferentes na envolvente do edifício. Ex: Fachada com varanda, fachada com pavimento térreo, fachada com caixa-lharia, fachada com cobertura, duas paredes verticais em ângulo saliente (BUS-FORESEE, 2016). São a maioria das pontes térmicas existentes na construção atual em Portugal (Fig. 13).

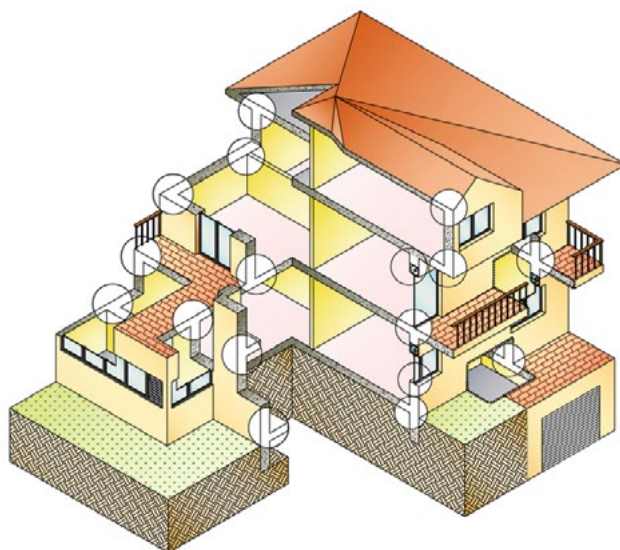


Figura 13 - Identificação de pontes térmicas lineares num edifício. Fonte: Itecons, 2011

As pontes térmicas podem constituir um fator importante de redução da qualidade térmica de uma construção, não só pelo acréscimo de perdas (ganhos) de calor, mas também porque cresce o risco de condensações.

Segundo Passivhaus, Portugal (2020):

- Através de uma imagem termográfica consegue-se identificar uma ponte térmica ainda antes de ela se manifestar através da formação de patologias.
- Até 30% das perdas de energia de um edifício podem ocorrer pelas pontes térmicas!

Assim, a potencial existência de pontes térmicas deve ser identificada e corrigida na fase de projeto, através da escolha de soluções construtivas, na envolvente opaca, que evitem as pontes térmicas e pormenorizar todos os detalhes para que em obra seja fácil implementar as soluções.

VALORES DE U E R

A especificação de isolamento é geralmente expressa em termos de um valor de U.

Valor de U (coeficiente de transmissão térmica) taxa geral de transferência de energia através de um m² de um elemento de construção determinado quando as temperaturas do ar de ambos os lados diferem de 1°C. É medido em W/m² K.

Para algumas situações, é mais útil referir as resistências térmicas ou valor de R.

Valor de R (resistência térmica) depende da condutibilidade térmica (λ) e da espessura (d):

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ e é medida em m}^2 \cdot \text{K/W.}$$

As condutibilidades térmicas dos materiais isolantes são publicadas pelos fabricantes. É expressa em W/m.K ou W/m.°C.

Quanto menor for a condutibilidade térmica e maior a espessura do material, mais eficaz será o isolamento térmico.

A resistência – R de cada componente (bem como as resistências das cavidades e superfícies) são utilizados para calcular a resistência térmica total ou o valor R para o elemento estrutural.

O U – Transmissão térmica é o inverso do R – Resistência térmica, que significa que oferece mais resistência à passagem de energia (calor/frio): $U=1/R$.

O valor de U refere-se sempre ao conjunto dos materiais (somatório), e depende da sua condutibilidade térmica (λ) e da sua espessura.

Quanto mais baixa a transmissão térmica (valor de U), maior é a capacidade de isolamento do sistema.

Assim, consideram-se materiais isolantes os que têm condutibilidade térmica inferior a 0,060 W/m.K ou uma resistência térmica superior a 0,25m².K/W (Montoya, 2007 *in* Gil, 2015; Sistema DAP Habitat, 2022).



No entanto, outros materiais que não possuem estas características (ex.: grânulos leves a granel ou betões leves), podem também assegurar e /ou contribuir para o isolamento térmico de edifícios e de outros trabalhos de construção e ser por isso incluídos nesta categoria de produtos.

Assim, quais as características de um bom isolante térmico?

- Baixa condutibilidade térmica: quanto menor for a condutibilidade térmica (λ) melhor será o desempenho de isolamento do material.
- Alta resistência térmica: quanto maior for a resistência térmica R melhor será o desempenho de isolamento do material.
- Baixo coeficiente de transmissão térmica: quanto mais baixo é o valor do U, melhor é o desempenho de isolamento do material.



2. Tipos e aplicação de isolantes térmicos





2.1 Classificação dos Isolantes

Os materiais para isolamento térmico, designados isolantes, podem ter várias classificações (Fig. 14).

Quanto à natureza das matérias-primas, podem ser classificados em isolantes naturais, sintéticos e mistos.

Quanto ao tipo de processo produtivo podem ser classificados, dependendo da sua constituição e da aplicação final, em isolantes prefabricados (blocos, painéis, placas, mantas e outras formas sob encomenda) e isolantes “*in situ*” (moldados, injetados, projetados e a granel). Os isolantes prefabricados são aplicados por fixação mecânica, colagem, colocação livre, cofragem perdida e aplicação em fundo de molde (IPT - ESTT, 2022).

Com base na sua estrutura podem ainda ser designados por celular, fibroso, compacto, granular, com estrutura mista e de camadas múltiplas.

Os isolantes podem ser aplicados em coberturas, paredes exteriores e interiores, pavimentos, caixas - de- ar, entre outros.

Deve ter-se em atenção que as técnicas e os materiais isolantes a serem utilizados dependem dos elementos construtivos que vão ser isolados.

Em termos de mercado europeu (Ardente et al., 2008), verifica-se que este é dominado pelos materiais minerais ou inorgânicos, com 60% (ex.: lâ mineral), seguido dos sintéticos com 30% (ex.: poliestireno expandido, ou EPS - *Expanded Polystyrene*) e os materiais de origem natural e com nova tecnologia com 10% (ex.: aglomerado de cortiça expandida, ou ICB - *Insulation Cork Board*).

Neste subcapítulo vai-se analisar as propriedades e as principais vantagens e desvantagens de alguns isolantes, seguindo-se a classificação dos materiais de isolamento baseada na origem das suas matérias-primas (Fig. 15).

De evidenciar que os valores das propriedades físicas apresentados servem somente como referência, dado que estes valores dependem dos materiais utilizados no processo de fabrico e da forma apresentada.

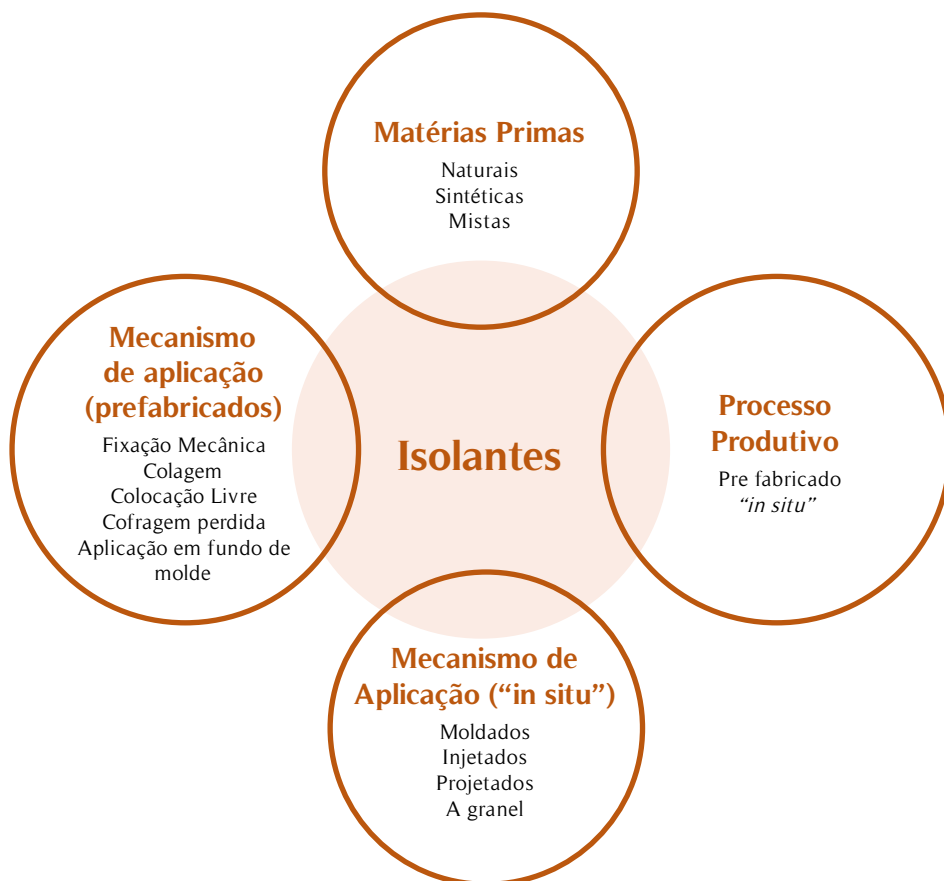


Figura 14 - Classificação dos materiais de isolamento de acordo com o mecanismo de aplicação, natureza da matéria-prima e processo produtivo.

2.1.1 Isolantes Naturais

A matéria-prima pode ser de origem orgânica e não orgânica.

Os isolantes de origem orgânica (cânhamo, cortiça, pasta de celulose, penas, lã de ovelha, etc.) podem ser materiais de origem vegetal ou animal.

Os isolantes de origem não orgânica correspondem aos isolantes minerais produzidos a partir de materiais minerais (rocha vulcânica, areia, vidro reciclado, etc.) aquecidos a alta temperatura, por exemplo, lã de vidro, lã de rocha, argila expandida, vermiculite, perlite, etc.

Na Fig. 15, apresentam-se os principais isolantes naturais, de acordo com a origem da sua matéria-prima e onde também estão indicados alguns exemplos de cada categoria.

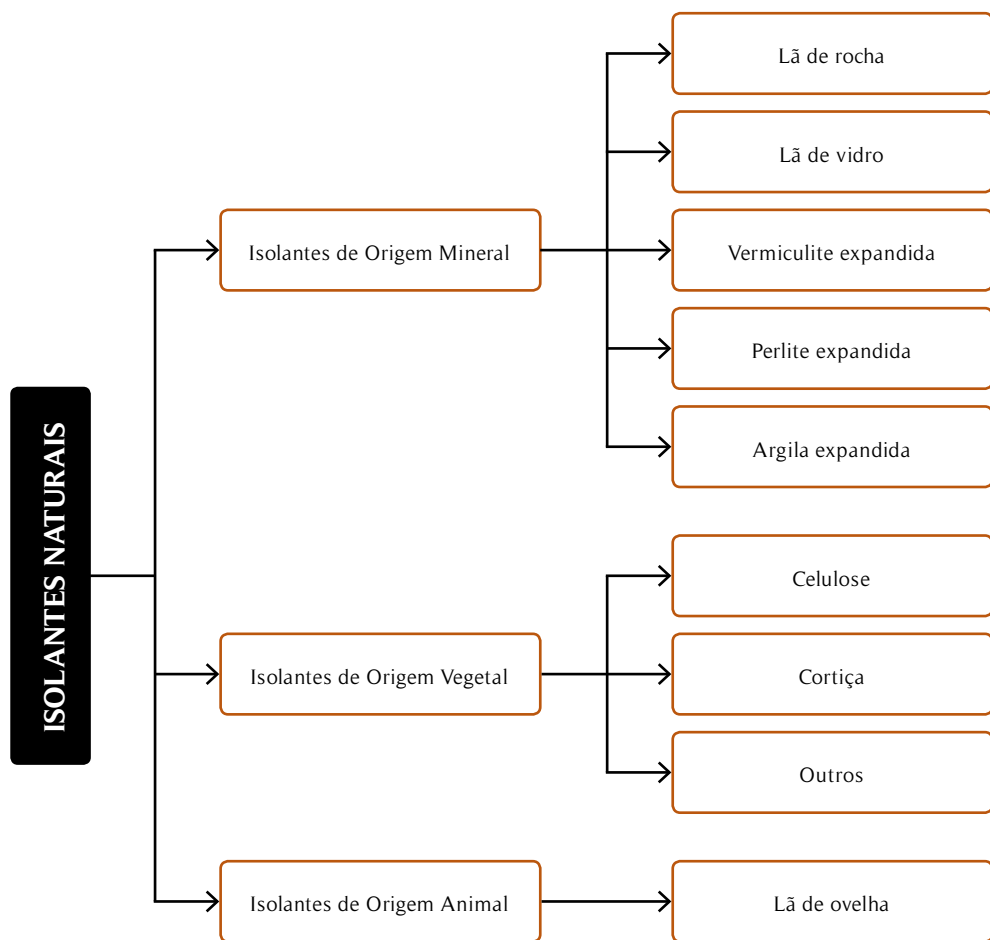


Figura 15 - Classificação dos isolantes naturais com base na origem da matéria-prima.

I. ISOLANTES DE ORIGEM MINERAL

Lã de rocha

Os minerais são a matéria-prima da lã de rocha, por exemplo, o basalto e o calcário. Este quando expostos a altas temperaturas, cerca de 1500°C, fundem e são transformadas em filamentos.



Figura 16 - Aplicação da lã de rocha no teto

As fibras são então aglomeradas com resinas orgânicas e óleos impermeabilizantes. A última fase do processo de fabrico é a compactação e dependendo do grau de compactação, o produto final poderá ser flexível ou rígido. (DO-CEOBRA, 2022).

A lã de rocha é produzida com materiais 100% naturais e pode ser reciclado várias vezes mantendo as propriedades e sem perda de qualidade. (ULMA Architectural Solutions, 2022).



Figura 17 - Aplicação de lã de rocha nas paredes

No mercado são comercializados sobre a forma de mantas e painéis semirrígidos (Figs. 16, 17).

As principais vantagens da lã de rocha são: durabilidade, resistência ao fogo, material leve e versátil apresenta propriedades como isolamento térmico e acústico devido a sua estrutura fibrosa que combinado com a sua densidade elevada (entre 40 e 100 kg/m²), lhe dá um comportamento ideal como isolamento acústico (absorção do ruído aéreo e do ruído de impacto), (ULMA Architectural Solutions, 2022).

Tem como inconveniente apresentar um mau desempenho térmico na presença de humidade. Os trabalhadores devem utilizar proteção durante a sua colocação (Silva, 2013).

A condutibilidade térmica deste material varia de 0,033 a 0,040 W/m.K, (Eurocoustic, Saint-Gobain, 2022).

Os painéis de lã de rocha têm múltiplas aplicações, destacando-se o isolamento térmico e acústico de construções industriais e a proteção contra o fogo (empregue nas estruturas do edifício e nos painéis das portas resistentes ao fogo), (Termolan, 2016).

Lã de Vidro

A lã de vidro é uma fibra mineral fabricada a partir do vidro fundido (Fig. 18). O processo envolve temperaturas entre 1100°C e 1450°C e as principais matérias-primas são: vidro reciclado, areia e aditivos que depois de mistura-

dos passam à fase líquida. Nesta fase são submetidos a um arrefecimento a alta velocidade dando origem a fios com os tamanhos e diâmetros desejados (InfoEscola, 2022).

A condutividade térmica da lã de vidro é semelhante à da lã de rocha. Os valores típicos de condutividade térmica para lãs de vidro estão entre 0,023 e 0,040 W/m.K (Nick Connor, 2019a).



Figura 18 - Lã de vidro em rolo



Figura 19 - Aplicação de lã de vidro no teto

A lã de vidro deve ser aplicada apenas por técnicos conhecedores das características da sua estrutura e que percebam a melhor forma de aplicar a lã de vidro no elemento construtivo (Fig. 19). Não propaga as chamas, mas não resiste a incêndios com temperaturas acima de 800°C (DOCEOBRA, 2022). Apresenta mau desempenho mecânico e térmico na presença da humidade (Silva, 2013).

Vermiculite Expandida

A vermiculite é um mineral semelhante à mica, formado essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio (Fig. 20).



Figura 20 - Vermiculite Expandida a granel

Os silicatos quando submetidos, a temperaturas de 800 °C, a água contida entre as lâminas transforma-se em vapor fazendo com que as partículas se dilatam, sofre expansão e fragmentam, transformando-se em flocos. Este processo de expansão é designado por esfoliação dando origem ao produto designado por Vermiculita Expandida, que é um material leve, acastanhado, de cor dourada (Wikipédia, 2020).

A principal característica é a sua elevada higroscopicidade, ou seja, a sua grande capacidade de absorver a água. Tem a capacidade de absorver cerca de 5 vezes o valor da sua massa.

É um bom isolante acústico, é um material não tóxico, apresenta baixa condutividade térmica e resistência ao fogo, podendo ser considerada incombustível dado que o seu ponto de fusão é de cerca de 1315°C. (Silvia *et al*, 2016). No entanto, é um material com mau comportamento na presença de humidade (Silva, 2013).

É também um bom isolante térmico dado que o seu coeficiente de condutibilidade térmica a granel está compreendido no intervalo entre 0,050 - 0,070 W/m.K, variando com o tamanho das frações e com a densidade do compactador, (Buildex techinfus, 2021). No mercado a vermiculite pode ser comercializada a granel ou em painéis aglomerados (Figs. 20, 21).



Figura 21 - Painéis de vermiculite

A vermiculite pode ser utilizada em substituição da areia no betão ou em argamassas obtendo-se misturas mais leves e com melhores propriedades de isolamento térmico e acústico.

Perlite Expandida

Perlite é o nome genérico para a rocha vulcânica siliciosa existente na natureza (Fig. 22).



Figura 22 - Perlite Expandida

É um vidro vulcânico amorfo que possui um teor de água relativamente alto, normalmente formado pela hidratação da obsidiana.

A sua principal característica é de se expandir muito e por isso quando aquecido acima de 850°C, a água presa na estrutura do material vaporiza e provoca a expansão do material para 7 – 16 vezes o seu volume original. São produzidas pequenas bolhas semelhantes a vidro que possui um branco brilhante, devido à refletividade das bolhas da sua estrutura. Esta estrutura explica o seu baixo peso específico.

Tem bom desempenho como isolante térmico e acústico, com condutibilidade térmica de $\lambda = 0,045 - 0,050 \text{ W/m.K}$ (Silva, 2013).

Outra propriedade deste material é ser quimicamente inerte, incombustível e não biodegradável. É ainda um material com mau comportamento térmico na presença de humidade (Silva, 2013).

Devido à sua natureza inorgânica e ao seu baixo valor de coeficiente de condutividade térmica pode ser utilizada na produção de betão e argamassas, permitindo aumentar as características de isolamento térmico e acústico.

Argila Expandida



Figura 23 - Argila Expandida

A argila expandida é um material cerâmico produzida a partir de uma matéria-prima que se encontra na superfície da terra, a argila (Fig. 23).

É produzida num processo em que a argila natural é submetida a altas temperaturas (1100 - 1200 ° C) no forno. Neste processo de “queima” a argila expande-se dando origem aos grãos de argila expandida. Estes depois de arrefecidos e de passarem por um processo de crivagem são embalados de acordo com a sua granulometria, que podem variar entre entre 5 e 32 mm (CINEXPAN,2020).

Internamente a estrutura é formada por uma espuma cerâmica com micróporos e coberta por uma casca rígida, semelhante a uma pedra de forma arredondada.

Na figura 24 apresenta-se um corte transversal de pedras de argila onde é possível ver a estrutura o núcleo alveolar



Figura 24 - Estrutura interna da argila expandida

As suas principais características são: material inerte e leve porque a argila expandida possui uma estrutura interna porosa, no entanto, devido à sua estrutura externa ser compacta e rígida, tem uma resistência mecânica ótima podendo ser utilizada em argamassas e betão. O seu uso é recomendado para coberturas planas e caves (Fig. 25).

Tem boas propriedades como material térmico apresentando um baixo valor de condutibilidade térmica, 0,103 e 0,108 W/m.K (Silva, 2013). É um material incombustível, e que tem boas propriedades como isolante acústico por causa da sua estrutura celular e porosa (Fig. 24). É ainda um material com grande durabilidade ao longo do tempo, não se deteriorando.





Figura 25 - Isolamento com argila expandida

II. ISOLANTES DE ORIGEM VEGETAL

Fibra de Celulose



Figura 26 - Fibra de celulose

O isolante de celulose é produzido partir de resíduos de papel, principalmente de jornais, que vão para reciclagem (Fig. 26).

O processo de fabrico tem início na seleção do papel, de seguida o papel é desfibrado e passa por um tratamento químico com a adição de produtos retardantes de chama resultando num material resistente ao fogo. As fibras de celulose obtidas têm uma estrutura semelhante à lã, um floco longo de fibra, e por isso são designados, muitas vezes, por lã de papel.

Uma das principais vantagens é possuir uma condutividade térmica baixa. Os valores típicos de condutibilidade térmica para o isolamento de celulose variam de 0,022 a 0,035 W/m.K (Nick Connor, 2019a).



Figura 27 - Isolamento de sótão com celulose

A celulose evita a condensação e o aparecimento de bolor no interior das habitações e em termos ambientais contribui para a redução do fluxo de resíduos e dando nova utilidade ao papel rejeitado. Para além disso, retém o CO₂ durante toda a sua vida útil.

A fibra de celulose como material de enchimento solto pode ser utilizado em coberturas, paredes e em áreas de difícil acesso, em novas construções e também em obras de reabilitação (Fig. 27).





Figura 28 - Montado de sobro

Cortiça

A cortiça é um produto natural, de origem vegetal, que provém do sobreiro (*Quercus suber*). Encontra-se amplamente difundido por toda a bacia mediterrânea e com grande relevância em Portugal, com particular incidência nas zonas Centro e Sul do país. Portugal produz cerca de 55% de toda a produção mundial de cortiça. A floresta de sobreiro é designada por “Montado de Sobro” (Fig. 28).

A constituição química da cortiça, engloba vários tipos de compostos, que tradicionalmente são divididos em cinco grupos e cujos valores típicos (% em peso), são os seguintes (Gil, 1998; 2005 in Gil, 2015):

- a) *suberina (38% a 45%) – principal constituinte e responsável pela sua compressibilidade e elasticidade;*
- b) *lenhina (27%) - estrutura das paredes celulares;*
- c) *polissacáridos (12% a 18%) - também ligados à estrutura da cortiça;*
- d) *ceróides (6% - 7%) - repelem a água e contribuem para a impermeabilidade;*
- e) *taninos (6% - 8%) - proteção do material, e*
- f) *cinzas (3% - 4%).*



Figura 29 - Aglomerado de cortiça expandida

Um produto de cortiça muito utilizado na construção civil é o aglomerado de cortiça expandida (Fig. 29). O aglomerado de cortiça expandida também designado por aglomerado negro de cortiça ou pela designação em inglês ICB (*Insulation Cork Board*) é um produto constituído por grânulos de cortiça expandidos. O ICB é produzido em placas com várias espessuras, de acordo com a aplicação.

O aglomerado de cortiça expandida, é produzido através da aglutinação dos grânulos da matéria-prima que se efetua exclusivamente pela expansão volumétrica e da exsudação das resinas naturais da cortiça, por ação da temperatura transmitida pelo vapor de água. Produz-se assim um aglomerado em cuja constituição não se utilizam quaisquer colas, tintas ou aditivos, sendo unicamente constituído por cortiça, razão pela qual também se designa por aglomerado puro de cortiça.

A matéria-prima utilizada é a falca, tipo de cortiça proveniente das podas (esgalhas) cíclicas dos sobreiros.

O ICB é um excelente isolamento térmico, acústico e de vibrações, adequado para todos os sistemas construtivos.

A sua utilização tradicional é o isolamento térmico e acústico em fachadas - Sistema ETICS e revestimento exterior à vista. Também é utilizado em paredes interiores e exteriores; paredes duplas, coberturas planas e inclinadas; lajes e pisos; câmaras frigoríficas, de conservação e de congelação; isolamento de vibrações e isolamento sonoro de ruídos de reverberação e de percussão.

No final do período de utilização, normalmente devido ao fim da vida útil do próprio edifício ou obra, ou proveniente da reciclagem das placas não conformes, existe outro produto que é o regranulado de cortiça.

Este regranulado é comercializado para aligeiramento de estruturas de betão (betão leve com regranulado expandido) ou mesmo para fabrico de peças/blocos de construção, ou para enchimento de espaços vazios entre paredes duplas, em caixa de soalho ou coberturas.

Em termos de propriedades físicas, o aglomerado de cortiça possui uma condutibilidade térmica entre 0,040-0,045 W/m.K (Gil, 2015).

Nas operações de transformação de produtos de cortiça é também produzido um resíduo importante, o pó de cortiça. Este pó é usualmente queimado para a produção de vapor e/ou energia, dado o elevado conteúdo energético deste material.

A cortiça é um produto leve porque cerca de 50% do volume da cortiça é ar, reciclável e biodegradável, impermeável a gases e líquidos, elástico e compressível, não alimenta a propagação de chama, resistente ao atrito e com excelentes propriedades de isolamento térmico, acústico e vibrático. É também permeável ao vapor, deixando as casas respirarem, evitando-se assim condensações no interior.

É ainda uma matéria-prima renovável, pois renova-se a cada ciclo de 9 ou 15 anos.

No entanto, existem algumas desvantagens:

- A cortiça quando comparado com materiais tradicionais, é substancialmente mais cara;
- A cortiça é facilmente degradável comparativamente com outros materiais;
- A cortiça é escassa. De acordo com o estudo que aborda as matérias-primas críticas (MPC), a cortiça natural está classificada no documento da Comissão Europeia (CE, 2020) como no limiar da criticidade, estando assim muito próxima de ser considerada na lista de MPC europeia. Este é um fator crítico para Portugal, dada a sua relevância estratégica para o país, uma vez que é o maior produtor mundial de cortiça.

Por este motivo está a ser estudado em Portugal, no projeto eMaPriCE que visa identificar oportunidades de implementação de estratégias de Economia Circular (EC), a fim de evitar que as matérias-primas críticas se transformem em resíduos, bem como opções da substituição destas por matérias-primas não críticas (LNEG, 2022).

Mas tem muitas vantagens, já anteriormente indicadas, sendo de realçar que:

- É um material natural;
- É um excelente isolante térmico, acústico e antivibrático;
- É um material muito resistente à humidade.

Em conclusão, não há cortiça nem resíduos que não sejam reutilizados ou valorizados ou reaproveitados.

A cortiça é um material sustentável, porque é a casca do sobreiro (Quercus Suber L.), o que significa que é 100% natural, e também 100% reutilizável e reciclável.

Para além disso, a área do sobreiro contribui para o sequestro anual de muitas toneladas de CO₂. A produção de cortiça e a sua utilização mantém o CO₂ retido ao longo da sua vida ativa, contribuindo para a redução do efeito estufa e do aquecimento global.

Não só a floresta no seu crescimento, mas também qualquer peça de cortiça, desde uma simples rolha, a uma placa de isolamento até à mais complexa parede, «aprisiona» CO₂ evitando que se liberte para a atmosfera.

Caixa 3



Figura 30 - Planta do arroz

III. OUTROS ISOLANTES COM BASE EM FIBRAS VEGETAIS

Casca de arroz

A casca de arroz é um subproduto industrial proveniente da planta do arroz



Figura 31 - Placas de isolamento com casca de arroz a) 100 % casca de arroz, e b) casca de arroz em combinação com regranulado de cortiça expandida (protótipos). Fonte: Cortesia Itecons.

(Fig. 30), quando do descasque dos grãos. É constituído por celulose, hemicelulose, lignina e componente inorgânica e possui um elevado teor de sílica.

O processo de transformação do arroz que vai desde a colheita do cereal até à obtenção do produto acabado, origina resíduos com baixo valor económico e nutritivo (casca de arroz e palha), servindo muitas vezes de revestimento para permanência de animais.

A casca representa cerca de 20 % da massa do arroz em casca. É um material constituído por celulose, hemicelulose, lignina e componente inorgânica, para além de possuir um alto teor em sílica quando comparado com as cascas de outros cereais

Como a sua queima pode trazer diversos problemas de contaminação do ar, gerando partículas respiráveis que contêm sílica cristalina e outras substâncias perigosas, vários estudos têm sido realizados para a sua utilização na construção civil.

Placas 100% de casca de arroz e misturadas com outros materiais por exemplo, cortiça (Fig. 31), têm vindo a ser estudados para aplicação como isolante térmico em edifícios.

Resultados dos estudos realizados deixam claro que a utilização de casca de arroz com cortiça, pode ajudar a melhorar o desempenho térmico dos edifícios. Por exemplo, amostras com maior teor de grânulos de cortiça possuem mais baixa condutibilidade térmica, entre 0,046 e 0,048 W/m.K, (Marques et. al., 2020).

Fibra de Cânhamo

O cânhamo é uma planta cujas fibras exteriores resultantes do caule, sofrem um processo de aglomeração, compressão e tratamento anti-fogo, resultando em placas com bom desempenho térmico e acústico (Fig. 32).



Figura 32 - Placas de cânhamo.

É um material de origem vegetal, podendo ser cultivado em Portugal. É um material renovável e biodegradável e é reciclável. As suas principais características são: material leve, não inflamável, não liberta gases tóxicos, material higroscópico, material durável e resistente a fungos e bactérias, para além de evitar condensações nos interiores das habitações.

Para além disso, tem uma menor energia incorporada em relação, por exemplo, à lã de rocha, (Santos, 2013).

A sua principal propriedade física é ter um baixa condutibilidade térmica de 0,039 W/m.K, o que lhe confere um bom desempenho como material isolante (Silva, 2013).

A aplicação do cânhamo como isolamento tem vindo a crescer, no entanto o seu preço é mais elevado em comparação com a lã mineral, o que dificulta a sua utilização. (Santos, 2013).

Fibra de Madeira

As placas de fibra de madeira resultam da transformação de resíduos de madeira em placas de isolamento (Fig. 33). O processo de produção pode ser por via húmida ou seca. No processo por via húmida as fibras de madeira são moídas, misturadas com água e em seguida moldadas e prensadas. A operação de secagem ocorre num intervalo de temperatura de 160°C e 220°C. O aglutinante natural neste processo é a lignina um dos constituintes da madeira (Your Best Home Net, 2021).

Por via seca, as fibras de madeira são misturadas com outras fibras, por exemplo, com fibras têxteis, com amido de milho, e com uma resina. Depois de estabelecidas as espessuras desejadas são curadas por uma mistura de vapor- ar. A placa de fibra de madeira tem uma condutibilidade térmica compreendida no intervalo 0,040 - 0,055 W/m.K, e possui uma densidade aparente elevada. As principais vantagens de utilizar as placas de fibra de madeira como materiais de isolamento são para além das boas propriedades de isolamento térmico e acústico, a possibilidade de serem utilizados em quase todas as zonas dos edifícios

porque são muito flexíveis nas opções de aplicação. A sua fixação pode ser com cola e/ou com parafusos.

Pode ser aplicado em coberturas, fachadas, tetos e paredes divisórias interiores.

Em termos ambientais são materiais naturais e podem ser reciclados, (Home Journal Net, 2021).



Figura 33 - Placas de fibra de madeira.

IV. ISOLANTES DE ORIGEM ANIMAL

Lã de Ovelha

O isolamento de lã é feito de fibras de lã de ovelha que são unidas mecanicamente ou coladas com poliéster reciclado (Fig. 34). Pode ser usada no telhado, paredes e pisos de qualquer tipo de edifício. Material renovável, reciclável e biodegradável.

Este isolamento tem custos significativamente mais elevados do que o isolamento convencional, mas tem riscos de saúde significativamente mais baixos para os trabalhadores e ocupantes do edifício (Graça & Duarte, 2016).



Figura 34 - Lã de ovelha

Apresenta-se sobre a forma de rolos, painéis semi-rígidos ou em estado solto, podendo ser aplicada em coberturas, tetos e paredes.

Possui uma condutibilidade térmica entre 0,030 e 0,045 W/m.K (Silva, 2013).

2.1.2. Isolantes Sintéticos

Neste grupo encontram-se o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno extrudido (XPS) ou o poliuretano (PUR).

I. POLIESTIRENO EXPANDIDO – EPS (EXPANDED POLYSTYRINE)

O EPS, vulgarmente conhecido por esferovite, é da família dos plásticos e a sua matéria-prima tem origem no petróleo (Fig. 35). O EPS é composto por 98% de ar e 2% de matéria-prima, o estireno que durante o seu processo de produção passa por uma fase de expansão e daí a origem do nome de Poliestireno expandido. O EPS não é biodegradável, mas pode ser 100% reciclado.

As suas principais vantagens é ser um produto versátil e no mercado existem diferentes espessuras e várias densidades sendo compatível com os materiais utilizados na construção. A condutividade térmica é baixa e é resistente ao envelhecimento.

Tem como inconvenientes, ter um método de fabrico poluente, haver libertação de gases tóxicos em caso de incêndio e ser altamente inflamável, devendo ser associado a um revestimento à prova de fogo (Silva, 2013).

Apresenta uma condutibilidade térmica de 0,036 W/m.K, (AREAM, 2022).



II. POLIESTIRENO EXTRUDIDO – XPS (EXTRUDED POLYSTYRENE)



O poliestireno extrudado é um polímero termoplástico (Fig. 36), também conhecido por XPS, sendo portanto, um produto sintético proveniente do petróleo.

O processo de produção de placas de XPS, a partir da resina de poliestireno em forma de grão, compreende 4 etapas principais que são: extrusão, expansão, estabilização e mecanização (Aipex, 2022), dando origem a um material de estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas que podem ser colocadas em coberturas e paredes, entre outras aplicações (Figs. 37, 38).

As suas principais características são: uma elevada resistência mecânica, ser um material não higroscópico e não inflamável dado que o material incorpora ignífugos que fazem dele mais resistente ao fogo, (Cardoso,2021). Liberta emissões tóxicas em caso de incêndio (Silva, 2013).

As suas principais propriedades físicas é ter uma densidade elevada que varia entre 28 a 45 kg / m³ e os valores de condutibilidade térmica estão compreendido no intervalo de 0,025 a 0,040 W/m·K, (Nick Connor, 2019b).



Figura 37 - Isolamento de coberturas inclinadas com XPS



Figura 38 - Aplicação de XPS em isolamento de paredes



2.1.3. Sistemas Mistos

São resultantes da combinação de diversos materiais naturais e/ou sintéticos. Por exemplo, ETICS e betão com inertes leves.

I. ETICS - SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR

O sistema de isolamento térmico pelo exterior - *External Thermal Insulation Composite System* – sigla ETICS, é um sistema de isolamento aplicado nas paredes pelo exterior muito utilizado em reabilitação de edifícios.

Tendo em atenção a legislação em vigor sobre eficiência energética dos edifícios é um sistema considerado pelos técnicos como uma boa solução na melhoria da eficiência energética e da acústica da construção já existente.

É constituído pelos seguintes elementos sequenciais aplicadas sobre a parede, Fig. 39:

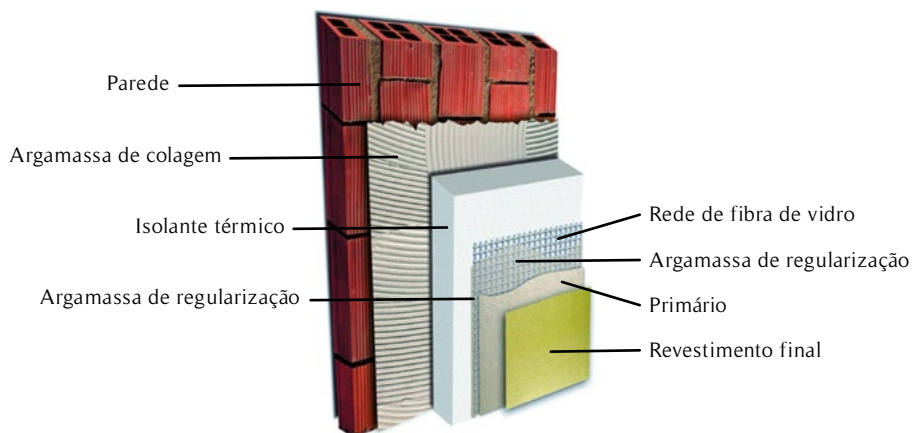


Figura 39 - Elementos de um sistema ETICS. Fonte: APFAC, 2018

Os materiais utilizados como isolantes nos sistemas ETICS podem ser naturais ou sintéticos. Na Fig. 40 são apresentadas as características físicas dos principais materiais de isolamento utilizados nos sistemas ETICS.

As principais vantagens deste sistema em comparação com outras soluções de isolamento térmico podem ser divididas em quatro grandes grupos: conforto e bem-estar dos utilizadores, vantagens económicas e proteção dos elementos construtivos e ambientais (APFAC, 2018):

- Conforto dos utilizadores da construção: redução das condensações interiores e eliminação de pontes térmicas; promove a utilização da inércia térmica dos edifícios o que evita gradientes térmicos de temperaturas no interior da habitação, melhorando o seu conforto. A intervenção pode ser feita com os utilizadores na habitação.
- Vantagens económicas: a aplicação ETICS melhora a eficiência energética das construções porque as necessidades de aquecimento e arrefecimento são menores, contribuindo assim de forma relevante para a poupança de energia.

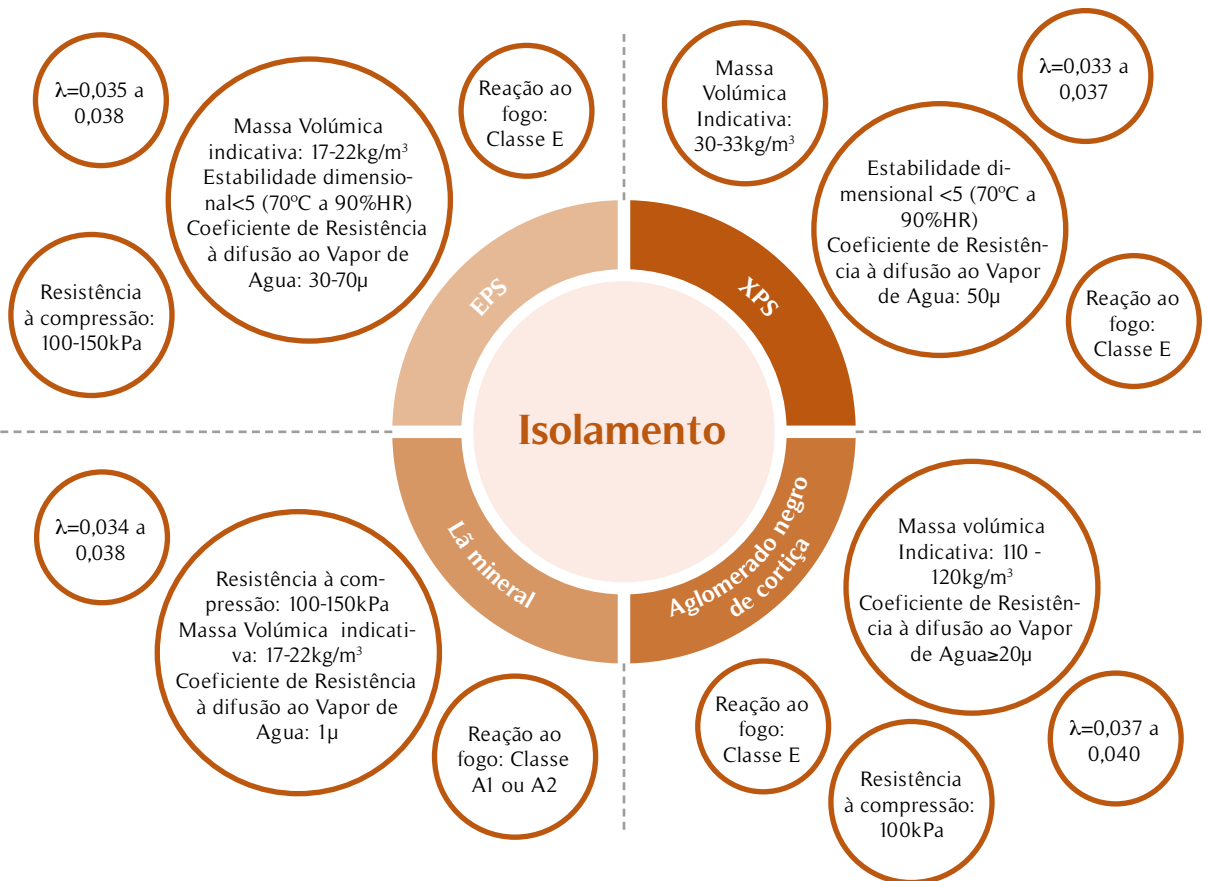


Figura 40 - Características físicas dos principais materiais de isolamento das ETICS. Fonte: Adaptado de APFAC, 2018.

- Proteção dos elementos construtivos: ajuda na proteção dos elementos estruturais e das alvenarias. Reduz o peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura. A aplicação do isolamento é feita pelo exterior e a área habitável é maior já que a espessura do isolamento passa para o exterior. Reduz o risco de fissuração e melhora a impermeabilidade das fachadas.
- Proteção ambiental - com a redução do consumo de energia vai haver uma redução dos gases de efeito de estufa, o que contribui para redução das alterações climáticas.

Cada fabricante propõe:

- *Diferentes composições de sistemas ETICS;*
- *Com diferentes tipos de isolante térmico (de origem sintética, natural ou mineral);*
- *E variadas soluções de rebocos e de acabamentos.*

Caixa 4

A principal desvantagem do sistema ETICS, é ter um custo mais elevado em comparação com a construção tradicional de parede dupla com isolamento, no entanto, o sistema ETICS a longo prazo é mais económico.

II. BETÃO COM INERTES LEVES

O betão é uma mistura constituída por um material ligante, o cimento, um material inerte, partículas sólidas (cascalho, gravilha, brita e escórias), e água.

O betão com inertes leves (Fig. 41), também designados por betões leves, resulta do processo de mistura onde o material inerte é substituído em parte por

material de inertes leves, como por exemplo, EPS, argila ou xisto expandido, perlite, vermiculite, entre outros, no processo normal de produção de betão, em dosagem previamente estipuladas e de acordo com as características previamente definidas para a sua utilização final. (Porto Editora, 2022)



Figura 41 - Blocos de betão com inertes leves

A classificação do betão pode ser estabelecida em função da sua massa volúmica (kg/m^3), e podem ser de 3 tipos: o betão leve (LC) com massa volúmica menor 2000 kg/m^3 , o betão pesado (HC), com uma massa volúmica maior 2800 kg/m^3 e o betão de peso normal (C) que se situa entre a massa volúmica no intervalo 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 , (Porto Editora, 2022).

O betão leve é um bom isolante acústico e térmico favorecendo o balanço energético dos edifícios, sendo a principal vantagem a sua elevada resistência ao fogo. No entanto, a redução da carga permanente ao nível dos elementos estruturais e fundações é uma das principais restrições em obras de reabilitação. A suas principais desvantagens são os custos de produção maiores do que na produção do designado betão normal e o facto de possuir maior deformabilidade em comparação com o betão normal, (Porto Editora, 2022).

A massa volúmica do betão leve ou do betão pesado pode ser especificada através de um valor pretendido. No caso de betão leve a massa volúmica pode ser designada por uma classe. Na tabela 1 são evidenciadas as classes do betão leve de acordo com a sua massa volúmica (APED, 2008).

Tabela 1 - Classe do betão leve de acordo com a sua massa volúmica.	
Classe	Massa Volúmica (kg/m^3)
D 1,0	≥ 800 e ≤ 1000
D 1,2	> 1000 e ≤ 1200
D 1,4	> 1200 e ≤ 1400
D 1,6	> 1400 e ≤ 1600
D 1,8	> 1600 e ≤ 1800
D 2,0	> 1800 e ≤ 2000

Fonte: APED, 2008.

2.2. Normas europeias aplicáveis aos isolantes térmicos

Segundo o Sistema DAP Habitat (2022), existem as seguintes normas europeias harmonizadas para os isolantes térmicos de acordo com os materiais que os constituem (entre parênteses encontra-se a designação em inglês):

- EN 13162, EN 14064-1 e EN 14303 - Lã mineral (*Mineral wool* – MW)
- EN 13163, EN 14309 e EN 14933 - Poliestireno expandido (*Expanded polystyrene* – EPS)

- EN 13164, EN 14307 e EN 14934 - Poliestireno extrudido (*Extruded polystyrene* – XPS)
- EN 13165 e EN 14308 - Espuma rígida de poliuretano (*Rigid polyurethane foam* – PUR)
- EN 13166 e EN 14314 - Espuma fenólica (*Phenolic foam* – PF)
- EN 13167 e EN 14305 - Vidro celular (*Cellular glass* – CG)
- EN 13168 - Lã de madeira (*Wood wool* – WW)
- EN 13169, 14316-1 e 15599-1 - Perlite expandida (*Expanded perlite* – EPB)
- EN 13170 - Aglomerado de cortiça expandida (*Insulation cork board* – ICB)
- EN 13171 - Fibras de madeira (*Wood fibres* – WF)
- EN 14063-1 - Grânulos leves de argila expandida (*Expanded clay light-weight aggregate* – LWA)

As normas técnicas harmonizadas definem os requisitos dos materiais de isolamento que possibilitam a sua marcação CE.

Caixa 5

- EN 14304 - Espuma de elastómero flexível (*Flexible elastomeric foam* – FEF)
- EN 14308 - Espuma de poli-isocianurato (*Polyisocyanurate foam* – PIR)
- EN 14306 - Silicato de cálcio (*Calcium silicate* – CS);
- EN 14317-1 e EN 15600-1 - Grânulos leves de vermiculite expandida (*Exfoliated vermiculite* – EV)

2.3. Condições para seleção de um isolante térmico

Quando se pensa na seleção de um isolante térmico, deve-se ter sempre em conta, os objetivos a atingir na nova construção ou na reabilitação, a zona climática e a orientação solar.

De uma maneira geral, uma moradia isolada tem maiores necessidades de isolamento do que um apartamento, uma vez que o clima afeta todas a fachada exterior e a cobertura.

Num edifício de apartamentos a maioria das paredes - bem como o chão e o teto - estão em contacto com outras frações ou prédios. Apenas os apartamentos mais exteriores, incluindo o último piso, portas e janelas exteriores, são afetados diretamente pelo clima.

Assim, deve-se ter um especial cuidado com o isolamento das paredes exteriores, telhado, portas e janelas exteriores já que a não calafetagem conduz a arrefecimentos maiores no inverno e a aquecimentos excessivos no verão.

I. COBERTURA, SÓTÃO, TETO

O teto é um dos locais que mais influencia a temperatura do edifício/moradia, e deve ser um alvo importante em termos de isolamento.

Colocar o isolamento entre a cobertura e a estrutura que o suporta permite melhorar o conforto sem alterar a estética. Também se pode isolar o sótão pelo interior, mas neste caso com redução da área habitável.

As coberturas podem ser em terraço ou inclinadas. As coberturas em terraço são classificadas em função da posição em que é colocado o isolante térmico: sobre a impermeabilização, **na cobertura invertida**; sob a impermeabilização, **na cobertura tradicional**; ou sob a **laje da cobertura**.

As coberturas inclinadas também se podem distinguir em função da posição do isolante térmico. Este material pode ser colocado na vertente da cobertura (pelo lado interior ou exterior da estrutura de suporte), no caso de o sótão ser aproveitado como área útil do edifício.

A cobertura invertida é a solução que permite dar uma maior proteção térmica e mecânica, e durabilidade, ao sistema de impermeabilização, o qual garante a estanquidade da cobertura.

Caixa 6

II. PAREDES

As paredes voltadas para o exterior, principalmente as mais expostas ao vento e a chuva, podem ser isoladas pelo interior, mas com redução do espaço interior das divisões, pelo exterior ou através do enchimento das caixas de ar existentes nas paredes duplas.

Quando se utiliza a parede dupla exterior com caixa-de-ar, a placa de isolante só deve preencher parcialmente a caixa-de-ar e ser encostada ao pano interior, de modo a deixar pelo menos 3 cm de espessura livres para a ventilação e drenagem da caixa-de-ar, garantindo assim a estanquidade da parede face ao exterior.

Caso se use um isolante a granel (ex.: granulado de argila expandida), este deve preencher completamente a caixa-de-ar, que nesse caso não será ventilada.

No caso das paredes exteriores isoladas pelo interior, um dos sistemas que pode ser usado é o ITICS (*Internal Thermal Insulation Composite System*), em que a placa de isolante é colada pelo interior da parede, sendo revestida posteriormente com um sistema idêntico ao referido para o ETICS.

Existem também outras soluções de isolamento térmico pelo interior, como as placas de gesso laminado com isolante incorporado (EPS, XPS ou ICB).

Sempre que a intervenção abranja toda a fachada exterior do prédio, deve-se considerar a colocação do sistema ETICS, a solução mais utilizada atualmente em Portugal para isolamento térmico.

A posição do isolamento térmico nas paredes exteriores tem, em geral, os seguintes resultados (BUS-FORESEE, 2016), Fig. 42:

Posição do isolante	Inércia térmica	Redução das pontes térmicas	Tempo de resposta à climatização	Durabilidade do isolante
Exterior	Alta	Fácil	Lenta	Média
Intermédia ou na caixa de ar	Média	Difícil	Média	Alta
Interior	Muito reduzida	Média	Rápida	Média

Legenda: ■ Melhor posição ■ Pior posição

Figura 42 - Indicação dos resultados consoante a posição do isolamento térmico nas paredes.
Fonte BUS-FORESEE, 2016.

III. PORTAS E JANELAS

O calor que atravessa frinchas e aberturas deve-se a trocas de calor por convecção. Está associado por exemplo ao vento a passar nas janelas ou frinchas da fachada. Por esse motivo as janelas e as portas, caso não estejam bem vedadas, podem causar correntes de ar.

Por outro lado, o calor por radiação concentra-se essencialmente nos envidraçados e paredes exteriores.

Sempre que possível, os vidros simples devem ser substituídos por vidros duplos, bem calafetados e fixados. Não esquecer o isolamento das caixas de estore.

O pavimento deve ser isolado a nível térmico, mas também se deve ter em atenção a sua impermeabilização, devido à chuva, para evitar a humidade.

Caixa 7

IV. CHÃO

O chão é a zona que tem menos efeito no conforto térmico. Contudo tem relevância no rés-do-chão ou na cave dos edifícios, já que o seu isolamento ajuda a minimizar as perdas térmicas.

Assim, justifica-se o isolamento térmico de um piso quando este separa o interior do exterior do edifício. Nesse caso, o isolante pode

ser instalado na zona superior (exterior), na zona intermédia (incorporado nos vazios ou nos elementos constituintes da laje) ou pelo interior.

V. PONTES TÉRMICAS

Portas e janelas, caixas de estores, pilares, uniões entre paredes e chão, ou entre o telhado e as paredes janelas constituem pontes térmicas, pelo que se tem de garantir que essas zonas estão bem vedadas e que há uma continuidade no isolamento térmico.

Locais em que haja uma diferença na construção ou estrutura, ou uma ligação mais direta ao exterior, devem ser sempre bem isolados.

Caixa 8

2.4. Como selecionar um isolante térmico sustentável?

O melhor **processo para iniciar a procura de alternativas sustentáveis** é identificar materiais e produtos que estejam certificados ao abrigo de um programa de rotulagem ambiental reconhecido e credível, por exemplo, o Rótulo Ecológico Europeu da União Europeia. Normalmente estes produtos exibem impresso um logo ou um selo que atesta a certificação do material ou produto. No caso do Rótulo Ecológico Europeu da União Europeia, é uma flor (Fig. 43).



Figura 43 - Rótulo Ecológico da União Europeia. Fonte: CE, 2009.

Outra opção é de fornecer ao cliente/utilizador informação sobre o desempenho sustentável do material ou produto através de uma Declaração Ambiental de Produto (DAP).

O cliente/utilizador deve depois comparar o preço do produto rotulado com outros com a mesma função, comparando ainda outras características, como a qualidade técnica e a durabilidade. Assim, consegue fazer uma escolha consciente que considere a relação custo-benefício.

O verdadeiro desafio é conseguir não pensar apenas no custo de aquisição, mas ter um pensamento de ciclo de vida, que aos custos de

aquisição, se considere também os custos da sua utilização, manutenção e fim de vida.

Como realçado nos subcapítulos anteriores os produtos isolantes que têm menor impacte ambiental numa perspetiva de ciclo de vida, são os materiais naturais.

Uma aquisição de baixo custo pode, no futuro, resultar em elevados custos de manutenção e prejuízos para a saúde humana e ambiente.

Caixa 9

O rótulo ecológico da UE ajuda a identificar produtos e serviços que têm um impacto ambiental reduzido durante todo o seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, utilização, até ao seu fim de vida. Reconhecido em toda a Europa, o rótulo ecológico da UE é um rótulo voluntário confiável que promove a excelência ambiental.

Caixa 10

Para além das certificações que abordam vários tópicos ao mesmo tempo, como é o caso do rótulo ecológico da UE, podem existir certificações específicas para um determinado tópico.

Por exemplo, para a lã mineral, existe a certificação EUCEB, para a carcinogenicidade, que garante que os produtos de lã mineral produzidos em fábricas com este rótulo têm baixa biopersistência (isto é, o tempo que uma fibra permanece nos pulmões sem que as defesas naturais a destruam) e não mostram evidências de patogenicidade após exposição a longo prazo. Esta

medida é muito importante, porque quanto menor for a biopersistência de uma fibra menor será a possibilidade de provocar doenças no pulmão.

O EUCEB - *EUropean CERTification Board for mineral wool products*, é um organismo de certificação europeu para a lã mineral. É uma iniciativa voluntária da indústria de lã mineral que garante que os produtos são feitos de fibras que não são classificadas como cancerígenas. Os produtos certificados podem ser reconhecidos pelo logo EUCEB nas suas embalagens (Fig. 44), (EUCEB, 2022).

Pode existir também certificações para a qualidade do ar interior, por exemplo, a *certificação Eurofins Indoor Air Comfort (Gold)* que atesta que o produto está conforme com as especificações legais emitidas pelas União Europeia e Estados Membros (Fig. 45). Tem dois níveis, em que o nível Gold tem ainda conformidade com os rótulos ecológicos mais relevantes e com os sistemas de certificação de sustentabilidade para edifícios (como BREEAM internacional e LEED), (Eurofins, 2021).

Assim, os produtos certificados pela Eurofins, apresentam as mais baixas emissões de gases na categoria, e, portanto, são os mais indicados para assegurar a qualidade do ar interior.



Figura 44 - Logo EUCEB.
Fonte: EUCEB, 2022.

Muitos parâmetros podem ser considerados na escolha de um isolamento térmico, tais como:

- ✓ Desempenho térmico
- ✓ Custo;
- ✓ Facilidade de colocação;
- ✓ Requisitos de saúde e segurança e de saúde;
- ✓ Desempenho acústico;
- ✓ Estanquicidade ao ar;
- ✓ Resistência ao fogo;
- ✓ Disponibilidade;
- ✓ Sustentabilidade.



Figura 45 - Logo Eurofins.
Fonte Eurofins, 2021.

No que diz respeito à sustentabilidade, deve ter-se em consideração as seguintes recomendações na escolha dos isolamentos mais sustentáveis:

- Que sejam materiais renováveis;
- Que sejam duráveis;
- Que sejam reutilizáveis;
- Que sejam recicláveis;
- Que tenham baixos valores de emissões de gases com efeito de estufa;
- Que não sejam tóxicos;
- Que não contribuam para a eutrofização;
- Que não contribuam para a poluição da água;
- Que não contribuam para a perda de biodiversidade.

Quando se vai escolher um material isolante, a escolha tem de ser sempre vista caso a caso, consoante os objetivos do projeto. De uma maneira geral (Fig. 46), deve-se em primeiro lugar saber o tipo de construção e a sua localização (zona climática). Depois definir os critérios de seleção que se pretende (de acordo com os objetivos a atingir), a que se segue a identificação dos materiais isolantes que estão disponíveis e os que pretende eliminar. De seguida em termos de custos, identificar não só os custos da aquisição, mas também os custos de utilização, manutenção e desconstrução, assim como a espessura necessária, para atingir um bom conforto térmico. Depois de se ter levantado todos os dados, deve fazer-se uma análise económica entre todos os materiais potenciais, mesmo que seja uma análise simplificada, e selecionar o isolante mais adequado para esse caso/projeto.

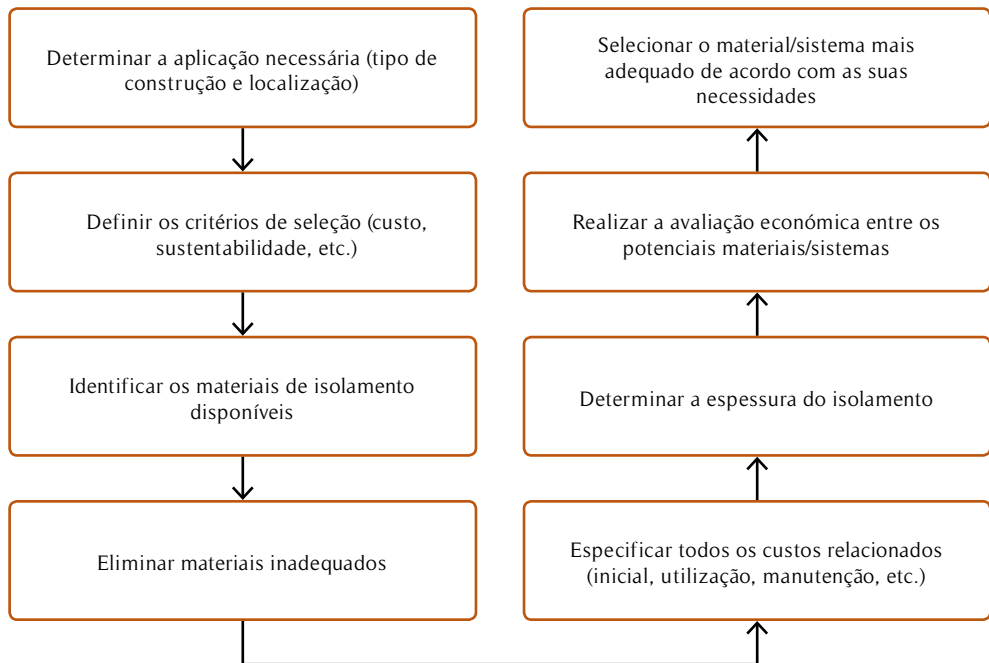
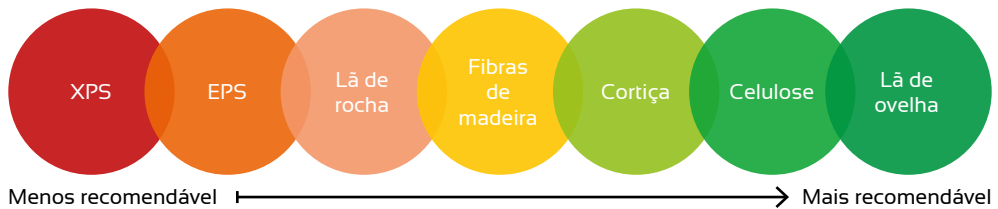


Figura 46 - Seleção de materiais isolantes.
 Fonte: Adaptado de Mohammad S., Al-Homoud, 2005.

Sequência ambiental dos materiais isolantes



Sequência económica dos materiais isolantes

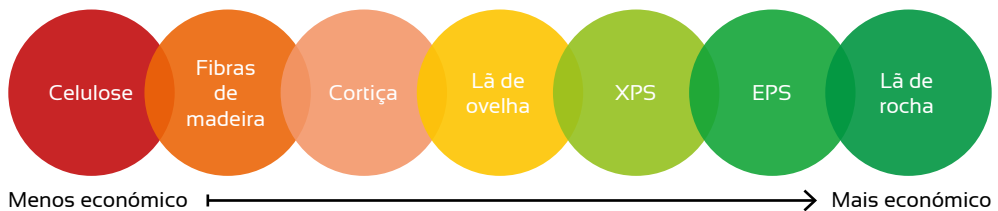


Figura 47 – Sequência ambiental e económica dos materiais isolantes. Fonte: Sousa, 2010.

No caso de se pretender um material isolante sustentável, deve-se ter em atenção os parâmetros indicados anteriormente para a Sustentabilidade, assim, como ter em atenção a Fig. 47, que apresenta a sequência ambiental e económica de alguns materiais isolantes. A sequência ambiental obteve-se através do somatório dos vários valores obtidos para as emissões para o ar, água e solo, para os respetivos materiais (Sousa, 2010).

Verifica-se que o material mais sustentável não é o material mais económico e vice-versa (Fig. 47). A lã de ovelha, a cortiça e a lã de rocha são materiais que garantem sustentabilidade, abrangendo quer a vertente ambiental quer económica.

Ter em atenção que para a correta aplicação dos isolantes, tem de se fazer a escolha adequada não só do material isolante disponível no mercado, mas também dos materiais destinados à preparação dos suportes, colagem, barramento e acabamentos.

Caixa II

2.5. Como escolher profissionais qualificados?

Deve ser feita uma escolha criteriosa dos aplicadores de isolantes térmicos. Devem ser escolhidos profissionais e, se possível, certificados.

A tarefa é mais complicada quando seleciona profissionais adequados no contexto da construção sustentável. Para avaliar se o profissional tem conhecimentos sobre os materiais e técnicas disponíveis mais sustentáveis, o cliente/utilizador deve procurar:

- ✓ Profissionais que tenham competências relevantes em construção sustentável no seu *curriculum*;
- ✓ Profissionais que possam dar bons exemplos de trabalhos em construção sustentável no seu portfólio.

3. Isolamento térmico na reabilitação energética de edifícios





4.1. Introdução

Os edifícios, que incluem os setores residencial e de serviços, são grandes consumidores de energia sendo atualmente responsáveis por cerca de 30% do consumo de energia final e são uma das fontes mais importantes de emissão de CO₂. Nos edifícios consome-se energia associada ao fornecimento de serviços de energia como aquecimento e arrefecimento de espaços, iluminação, refrigeração e confeção de alimentos e aquecimento de águas sanitárias, entre outros (RNC, 2019).

No contexto de melhoria das condições de conforto e salubridade dos espaços interiores (nomeadamente, da qualidade do ar interior) do seu parque edificado, Portugal tem direcionado a sua estratégia na reabilitação urbana, de acordo com as políticas europeias. As políticas europeias impõem a integração e o reforço de estratégias para a reabilitação a longo prazo, promovendo o combate à pobreza energética, a diminuição das necessidades de consumo de energia, o aumento da eficiência energética e o recurso a fontes de energia renovável, por forma a alcançar a descarbonização do parque edificado até 2050.

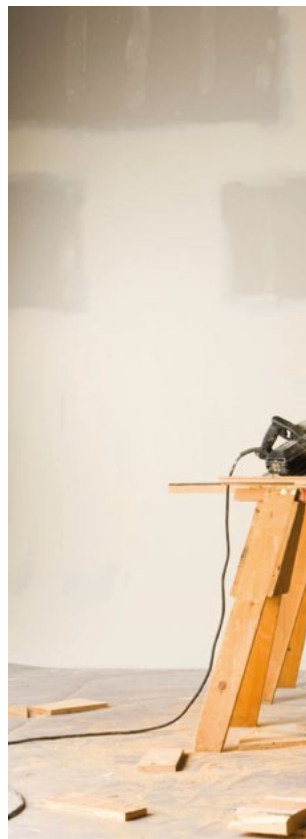
A eficiência energética tem um papel fundamental na redução do consumo de combustíveis fósseis e no cumprimento dos níveis máximos de emissões de CO₂, permitindo manter o nível de conforto nos edifícios.

Devido à sua importância foi desenvolvida a Estratégia de Longo Prazo para a Reabilitação de Edifícios em Portugal (ELPRE) e em Espanha (ERESSE), que estabelecem linhas de ação e objetivos para redução dos consumos de energia nos edifícios existentes e sua reabilitação, para os horizontes das décadas de 2030, 2040 e 2050 (indicados no capítulo 4).

Assim, todos os edifícios devem ser construídos e reabilitados de forma a pouparem energia e reduzindo as emissões de CO₂, seguindo as orientações da legislação nacional e comunitária.

Construir edifícios eficientes é importante. Mas, mais importante é reabilitar os que já existem, melhorando a sua eficiência.

A melhoria na eficiência energética de um edifício pode ser realizada praticamente em qualquer reabilitação, mesmo numa pequena renovação, bastando para isso que o dono de obra, empreiteiro ou arquiteto tenha em conta esta questão aquando da escolha dos materiais, equipamentos e técnicas construtivas.



4.2. Oportunidades

Numa reabilitação existem muitas oportunidades de integração de medidas de eficiência energética, como na reparação de cozinhas, reparação de casas de banho, mudança de janelas, novas pinturas, reparação de fachadas, coberturas e pavimentos, compra de novos equipamentos, entre outros. Este manual, no entanto, vai-se focar apenas na parte dos isolamentos.

Assim, quais são as oportunidades em termos de isolamento?

- Reforço do isolamento térmico nas áreas opacas do envelope: coberturas, pavimentos e paredes exteriores;
- Isolamento das caixas de estore.

ISOLAMENTO DE PAREDES (FIG. 48):

As paredes duplas com caixa de ar devem ser preenchidas logo na fase de construção e feito por um especialista. No caso de não existir isolamento, é melhor considerar estas paredes como uma parede simples.

As paredes simples podem ser isoladas pelo interior e pelo exterior tanto na construção como na reabilitação. Há várias possibilidades de isolamento pelo interior, mas este isolamento tem várias desvantagens: redução de espaço interior, para além de que os rodapés, aros de portas e janelas, tomadas e apliques têm de ser retirados para a sua instalação. Deve-se ter em atenção as pontes térmicas e que a parede deixa de funcionar como armazenamento térmico.

Podem ser aplicadas placas de aglomerado de cortiça expandida e painéis técnicos, que depois podem ter vários acabamentos, como tintas e vernizes.

A principal desvantagem do isolamento pelo exterior, é ser mais dispendioso e vulnerável a danos por impacto. No entanto, tem muitas vantagens, pode-se aplicar sem problemas em reabilitações com o edifício ocupado, prolonga o tempo de vida útil do edifício, tem grande variedade de acabamentos e aproveita ao máximo a capacidade de armazenamento térmico da parede.



No isolamento pelo exterior a utilização do ETICS apresenta vantagens no caso de edifícios com pouco isolamento térmico, infiltrações ou aspeto degradado. De um modo geral os sistemas de isolamento pelo exterior são constituídos por uma placa de isolamento térmico (aglomerado de cortiça expandida, EPS, XPS, outro) aplicado sobre um suporte e um revestimento exterior para proteção.

Em termos de isolamento térmico na reabilitação, um especial cuidado deve ser dado às caixas de estore, porque é muito comum que as caixas de estore dos edifícios antigos não estejam isoladas. Perde-se energia em aquecimento e arrefecimento não só através das frinças de portas e janelas, mas também através de caixas de estore mal isoladas ou sem isolamento. Outro aspeto muito importante é reduzir ou anular as pontes térmicas. É um imperativo quando se trata de reabilitação energética.

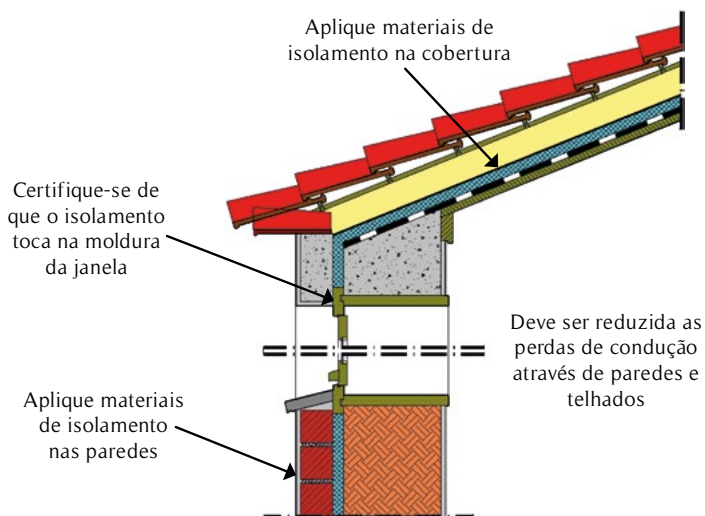


Figura 48 - Isolamento de paredes e coberturas. Fonte: © Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, IP

A reabilitação térmica da fachada pelo interior recomenda-se nos seguintes casos (BUS-FORESEE, 2016):

- ✓ Quando está previsto a realização de outros trabalhos no interior do edifício (pisos, divisórias, janelas, entre outros);
- ✓ Quando não é possível modificar o aspeto exterior do edifício (como é o caso de edifícios com interesse histórico ou arquitetónico);
- ✓ Sempre que compense a perda de espaço útil com a poupança energética e benefícios ambientais previstos com a intervenção.

ISOLAMENTO DE PAVIMENTOS (FIG. 49):

A intervenção ao nível dos pavimentos é fundamental quando estes estão em contacto direto com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos. As perdas térmicas através dos pavimentos são substanciais e negligenciar este facto pode contribuir para uma despesa energética mais elevada.

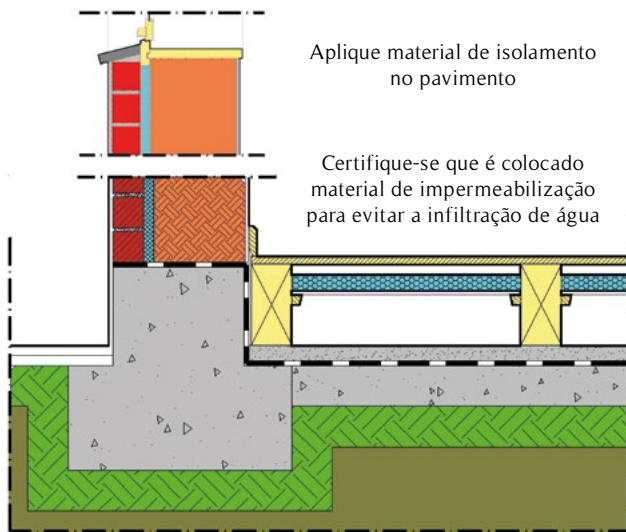


Figura 49 - Isolamento de pavimentos. Fonte: © Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, IP

Na reabilitação quando se mantém o soalho existente, a opção mais fácil é instalar o isolamento e o novo soalho por cima.

Quando a troca de soalho é possível pode-se colocar o isolamento sobre a laje, já que assim a habitação aquece mais depressa. Não esquecer de colocar por debaixo do isolamento a impermeabilização.

O isolamento sob a laje, é a opção ideal para uma habitação virada a sul.

O soalho deve ser sempre colocado ao mesmo nível do soalho anterior.

ISOLAMENTO DE COBERTURAS (FIG. 48):

Nas coberturas inclinadas habitadas o isolamento deve ser colocado a seguir ao suporte das telhas (se a estrutura é de betão) ou por baixo das vigas (se a estrutura é de madeira ou metálica). No caso das coberturas planas a camada de isolamento deve situar-se por cima do plano da cobertura. Pode ser colocada logo a seguir á impermeabilização.

Ter em atenção que na reabilitação é mais económico acrescentar o isolamento do que alterar toda a cobertura.

4. Enquadramento legislativo e regulamentar em Portugal e Espanha





4.1 Legislação em Portugal

A legislação em vigor na área dos edifícios no âmbito da eficiência energética e do Sistema de Certificação Energética (SCE) segue as diretivas europeias.

Após a diretiva 2002/91/CE - EPBD, e a diretiva 2010/31/EU – EPBD (revisão), ambas transpostas para a legislação nacional, seguiu-se a publicação da Diretiva 2018/844/EU – EPBD (revisão), Fig. 50, transposta para o Decreto-Lei nº 101-D/2020, atualmente em vigor.

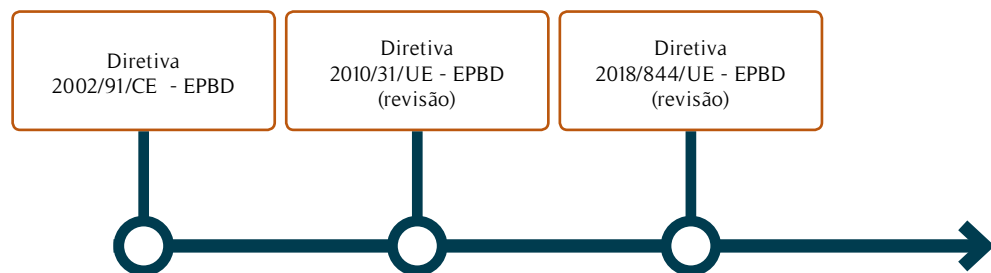


Figura 50. Evolução das diretivas europeias. Fonte: LNEG

No âmbito da publicação da Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética, foi publicada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021, de 3 de fevereiro, que aprova a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE, 2021).

A ELPRE PT estabelece os objetivos indicativos para os horizontes das décadas de 2030, 2040 e 2050, face aos registos de 2018, por referência à totalidade do parque nacional de edifícios existentes (ELPRE, 2021):

- Área de edifícios renovada, na proporção de 363 680 501 m² para 2030, 635.637.685 m² para 2040 e 747 953 071 m² para 2050;
- Poupança de energia primária, na percentagem de 11 % para 2030, 27 % para 2040, e 34 % para 2050;
- Redução de horas de desconforto na habitação, na percentagem de 26 % para 2030, 34% para 2040, e 56 % para 2050.

Esta Estratégia prevê também a criação de um Grupo de Coordenação da EL-PRE para o seu acompanhamento, supervisão e coordenação, coordenado pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), com o apoio técnico e operacional da ADENE - Agência para a Energia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, devendo ser revista, com periodicidade quinquenal, a contar da sua aprovação.

Na Tabela 2 encontra-se a legislação atualmente aplicável em Portugal.

Tabela 2 – Legislação em vigor em Portugal.	
Legislação	Descrição
Decreto-Lei n.º101-D/2020	Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944, relativa a regras comuns para o mercado interno da eletricidade.
Decreto-Lei n.º102/2021	Estabelece os requisitos de acesso e de exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
Portaria n.º138-H/2021	Regulamenta as atividades dos técnicos e as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios e fixa os valores do registo dos certificados energéticos
Portaria n.º138-I/2021	Regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas.

Tabela 2 – Legislação em vigor em Portugal.

Legislação	Descrição
Despacho n.º6476-A/2021	Determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos, nos termos do disposto no n.º 4 do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.
Despacho n.º6476-B/2021	Aprova os critérios de seleção e as metodologias aplicáveis aos processos de verificação da qualidade da informação produzida no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).
Despacho n.º9017/2021	Alteração ao Despacho n.º 6476-A/2021, que determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos, nos termos do disposto no n.º 4 do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.
Despacho n.º9067/2021	Alteração ao Despacho n.º 6476-B/2021 que aprova os critérios de seleção e as metodologias aplicáveis aos processos de verificação da qualidade da informação produzida no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).
Despacho n.º6476-C/2021	Aprova as condições referentes à manutenção dos sistemas técnicos instalados em edifícios, a periodicidade e as condições de realização da inspeção periódica dos sistemas técnicos e o modelo do relatório
Declaração de Retificação n.º611/2021	Retificação ao Despacho n.º 6476-C/2021, de 29 de junho, publicado no Diário da República, 2.ª série, n.º 126, de 1 de julho de 2021.

Tabela 2 – Legislação em vigor em Portugal.

Legislação	Descrição
Despacho n.º6476-D/2021	Aprova os requisitos para a elaboração do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE).
Despacho n.º6476-E/2021	Aprova os requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios.
Despacho n.º6476-H/2021	Aprova o Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).
Despacho n.º9216/2021	Alteração do Despacho n.º 6476-H/2021, que aprova o Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)
Portaria n.º310/2021	Fixa o valor médio de construção por metro quadrado, para efeitos do artigo 39.º do Código do Imposto Municipal sobre Imóveis, a vigorar no ano de 2022
Portaria n.º28/2022	Regulamenta o conteúdo e os critérios de avaliação dos exames a realizar para acesso e exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
Despacho n.º1618/2022	Qualidade do ar no interior dos edifícios – Procedimentos de registo das obrigações previstas nos n.os 3 a 6 do artigo 16.º do Decreto -Lei n.º 101 -D/2020, de 7 de dezembro, na sua atual redação, e o regime de avaliação simplificada anual de requisitos relacionados com a qualidade do ar interior.

4.2 Legislação em Espanha

A legislação em vigor em Espanha em matéria de Eficiência Energética e o procedimento para a Certificação Energética de Edifícios segue as Diretivas Europeias (Fig. 50).

Após a transposição para a legislação nacional da Diretiva 2002/91/CE e da Diretiva 2010/31/UE (reformulada) do Parlamento Europeu e do Conselho, sobre a eficiência energética dos edifícios, seguiu-se a publicação da Diretiva 2018/844/UE, que mostra o empenho da União Europeia em estabelecer um sistema energético sustentável, competitivo, seguro e descarbonizado.

A atualização 2020 da Estratégia de Longo Prazo para a Reabilitação Energética no Setor da Construção em Espanha (ERESEE, 2020; MITMA, 2020a,b) estabelece linhas de ação e objetivos para os horizontes 2030 e 2050.

No sector residencial, a poupança será produzida fundamentalmente nas utilizações de aquecimento do ambiente e água quente sanitária, que representam em média mais de 60% do consumo das habitações.

A meta para 2030 é reduzir o consumo final de energia em 26.394 GWh, reduzindo em 21.910 GWh o consumo correspondente às utilizações térmicas (aquecimento e água quente sanitária -acrónimo AQS).

O cenário base proposto envolve a reabilitação da envolvente de 1,2 milhões de habitações e a substituição de mais de 3,5 milhões de sistemas de aquecimento e AQS.

No setor terciário, a meta de economia de energia para 2030 é de 10.000 GWh. A Estratégia prevê uma economia de 2.915 GWh, em relação ao cenário de tendência, nos usos de ar condicionado, AQS e iluminação, em grande parte focados na melhoria da eficiência energética dos edifícios da Administração Pública (nacional, regional e local).

O objetivo para 2050 é reduzir o consumo final de energia do setor da construção em 36,6% em 2050 em relação ao consumo atual, passando dos atuais 304.276 GWh (67% correspondem ao setor residencial e os 33% restantes ao setor terciário) para 192.728 GWh em 2050, e que o consumo de energia de origem fóssil, que atualmente se situa em torno de 126.211 GWh (72.448 GWh no setor residencial e 53.763 GWh no setor terciário), seja reduzido para praticamente zero em 2050.

Na Tabela 3 encontra-se a legislação atualmente aplicável em Espanha.

Tabela 3 – Legislação em vigor em Espanha.	
Legislação	Descrição
Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.	Aprova o Regulamento Eletrotécnico de Baixa Tensão.
Real Decreto 314/2006, de 17 de março.	Aprova o Código Técnico de Edificações.
Real Decreto 1027/2007, de 20 de julho.	Aprova o Regulamento de Instalações Térmicas em Edifícios.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de outubro.	Aprova o Documento Básico “DB-HR Proteção contra o ruído” do Código Técnico da Edificação e altera o Decreto Real 314/2006, de 17 de março, que aprova o Código Técnico da Edificação.
Real Decreto 1890/2008, de 14 de novembro.	Aprova o Regulamento de Eficiência Energética em instalações de iluminação exterior e suas Instruções Técnicas complementares EA-01 a EA-07.
Despacho VIV/984/ 2009, de 15 de abril.	Modifica alguns documentos básicos do Código Técnico da Edificação aprovado pelo Real Decreto 314/2006, de 17 de março, e Real Decreto 1371/2007, de 19 de outubro.

Tabela 3 – Legislação em vigor em Espanha.

Legislação	Descrição
Real Decreto 187/2011, de 18 de fevereiro.	Estabelece requisitos de projeto ecológico aplicáveis a produtos relacionados à energia.
Real Decreto 238/2013, de 5 de abril.	Altera alguns artigos e instruções técnicas do Regulamento de Instalações Térmicas em Edifícios, aprovado pelo Real Decreto 1027/2007, de 20 de julho.
Despacho FOM/1635/2013, de 10 de setembro.	Atualiza o Documento Básico DB-HE “Economia de Energia”, do Código Técnico de Edificações, aprovado pelo Real Decreto 314/2006, de 17 de março.
Real Decreto 7/2015, de 30 de outubro.	Aprova o texto revisto da Lei de Reabilitação Fundiária e Urbana.
Real Decreto 56/2016, de 12 de fevereiro.	Transpõe a Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, sobre eficiência energética, no que diz respeito às auditorias energéticas, acreditação de prestadores de serviços e auditores energéticos e promoção da eficiência de abastecimento de energia.
Despacho FOM/588/2017, de 15 de junho.	Altera o Documento Básico DB-HE “Economia de Energia” e o Documento Básico DB-HS “Saúde”, do Código Técnico da Edificação, aprovado pelo Real Decreto 314/2006, de 17 de março.

Tabela 3 – Legislação em vigor em Espanha.

Legislação	Descrição
Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.	Regula as condições administrativas, técnicas e económicas de autoconsumo de energia elétrica.
Real Decreto 732/2019, de 20 de dezembro.	Altera o Código Técnico da Edificação, aprovado pelo Real Decreto 314/2006, de 17 de março.
Real Decreto 178/2021, de 23 de março.	Altera o Real Decreto 1027/2007, de 20 de julho, que aprova o Regulamento das Instalações Térmicas nos Edifícios.
Real Decreto 390/2021, de 1 de junho.	Aprova o procedimento básico para a certificação da eficiência energética dos edifícios.
Real Decreto 450/2022, de 14 de junho.	Altera o Código Técnico da Edificação, aprovado pelo Real Decreto 314/2006, de 17 de março.

5. Referências bibliográficas





1954

III

1954

IV

1955

I

1955

II

1955

III

1955

IV

1955

I

1955

II

1955

III

1955

IV

1955

1955

1955

1955

1955

A

- Adene, 2020. Guia SCE – Parâmetros de cálculo. 13 março 2020. Disponível em: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/3.0-GuiaSCE-Par%C3%A2metros-de-C%C3%A1culo_V1.pdf
- Aelenei, L., 2011. Envolvente na Eficiência Energética dos Edifícios, Green Campus, Lisboa 2011.
- Aelenei, L. 2016. Módulo Geral sobre nZEB. Texto desenvolvido no âmbito do projeto FORMAR, “*Vocational Training on Sustainable Buildings Maintenance and Refurbishment*”, WP2 – Conteúdos Transversais. Financiado pela Comissão Europeia, Programa Leonardo da Vinci, março 2016.
- Aelenei, L., Croitoru, C., Korczak, K., Petran, H., O’Rourke-Potocki, H., Tzanev, D., Sandu, M., Mandic, D., Gonçalves, H., Duarte, A.P., Trindade, P., Loureiro, D. 2022. Enhancing Market Readiness for nZEB Implementation. Conference of the Sustainable Solutions for Energy and Environment EENVIRO 2022, 17-19 October 2022.
- Aipex, 2022 - Soluções de isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS) para uma construção sustentável. Disponível em: <https://aipex.es/wp-content/uploads/2020/01/04-soluciones.pdf>. Consultado em abril 2022.
- APED, 2008. A Especificação do Betão. Guia para a utilização da norma NP EN 206-1.
- AREAM, 2022. Cálculo da Resistência Térmica de Materiais de Isolamento Térmico para Edifícios. Disponível em: <https://aream.pt/files/2016/05/Resistencia-termica-de-materiais-isolantes.pdf>. Consultado em abril 2022.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., e Mistretta, M., 2008. Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings*, 40(1), 1-10.

B

- Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F. 2011. Fundamentals of heat and mass transfer, seventh edition, published by Wiley.
- Buildex techinfus, 2021. Como usar vermiculita na construção - uma solução alternativa de isolamento térmico. Disponível em: <https://buildex.techinfus.com/pt/montazhnye-raboty/vermikulit-teploprovodnost.html> Consultado em março 2022

- BUS-FORESEE, 2016. Manual de Instalador de Isolamento Térmico. Manual desenvolvido no âmbito do Projeto Build up Skills Foresee.

C

- CARDOSO S., 2021. HOMIFY. Isolamento WallMate: Vantagens e Desvantagens do Poliestireno Extrudido. Disponível em: https://www.homify.pt/livros_de_ideias/7744342/isolamento-wallmate-vantagens-e-desvantagens-do-poliestireno-extrudido. Consultado em abril 2022.
- CE, 2009. Regulamento (CE) n.º 66/2010 do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Novembro de 2009 relativo a um sistema de rótulo ecológico da EU. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010R0066&from=PT>. Consultado em Junho de 2022.
- CE, 2020. Resiliência em matérias-primas essenciais: o caminho a seguir para mais segurança e sustentabilidade. Bruxelas, 3.9.2020 COM(2020) 474 final. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>. Consultado em Junho de 2022.
- CINEXPAN, 2020. O que é argila expandida? Conheça seus tipos, aplicações e benefícios. Disponível em: <https://www.cinexpan.com.br/blog/?s=O+que+%C3%A9+argila+expandida%3F+Conhe+%C3%A7a+seus+tipos%2C+aplica+%C3%A7%-C3%B5es+e+benef%C3%ADcios&submit=Search>. Consultado em abril 2022.

D

- DOCEOBRA, 2022. Lã de Rocha. O que é? Conheça suas vantagens, tipos e preços. DOCEOBRA.casaconstrução.org. Disponível em: <https://casaconstrucao.org/materiais/la-de-rocha/> Consultado em abril 2022.

E

- ELPRE, 2021. Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios de Portugal (ELPRE PT). Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021, de 3 de fevereiro. Disponível em: <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/8-a-2021-156295372>. Consultado em Junho de 2022.
- ERESEE 2020. Actualización 2020 de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Disponível em: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/es_ltrs_2020.pdf

- EUCEB, 2022. How to recognise the EUCEB Trademark ? Disponível em <https://www.euceb.org/index.php?page=about-euceb>. Consultado em Junho de 2022.
- Eurocoustic, Saint-Gobain, 2022 - Lã de rocha: um material com múltiplas qualidades. Disponível em: <https://www.eurocoustic.pt/la-de-rocha-um-material-com-multiplas-qualidades>. Consultado em abril 2022.
- Eurofins, 2021. Indoor Air Comfort Gold and Indoor Air Comfort Certified Products Disponível em: <https://www.eurofins.com/consumer-product-testing/industries/construction-building/indoor-air-comfort/>. Consultado em Junho de 2022.

G

- Gil L., 1998. Cortiça – Produção, Tecnologia e Aplicação, Edição INETI, Lisboa.
- Gil L., 2015. Cortiça na construção sustentável e energeticamente eficiente. Chiado Editora, Outubro de 2015.
- Graça, J.M. 2016a. Conforto e Qualidade do ar interior. Texto desenvolvido no âmbito do projeto FORMAR, “*Vocational Training on Sustainable Buildings Maintenance and Refurbishment*”, WP5 - Pedreiros. Financiada pela Comissão Europeia, Programa Leonardo da Vinci, março 2016.
- Graça, J.M. 2016b. Contribuição da Inércia Térmica para o Conforto Térmico. Texto desenvolvido no âmbito do projeto FORMAR, “*Vocational Training on Sustainable Buildings Maintenance and Refurbishment*”, WP2 – Conteúdos Transversais. Financiada pela Comissão Europeia, Programa Leonardo da Vinci, março 2016.
- Graça, J.M. & Duarte, A.P. 2016. Isolamento Térmico. Texto desenvolvido no âmbito do projeto FORMAR, “*Vocational Training on Sustainable Buildings Maintenance and Refurbishment*”, WP5 - Pedreiros. Financiada pela Comissão Europeia, Programa Leonardo da Vinci, março 2016.
- Grimm, A. M., 1999. Meteorologia Básica - Notas de Aula. Capítulo 2.9. Mecanismos de transferência de calor. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposme-teo/cap2/cap2-9.html>

H

- Home Journal Net, 2021. Placas de isolamento de fibra de madeira - isolamento térmico eficiente e opções de aplicação flexíveis. Disponível em: <https://pt.home-diary.net/7377781-wood-fiber-insulation-boards-efficient-thermal-insulation-and-flexible-application-options> Consultado em março 2022.

I

- InfoEscola, 2022. Fibra de Vidro. InfoEscola, Navegando e Aprendendo. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/fibra-de-vidro/>. Consultado em abril 2022.
- IPT - ESTT, 2022. Curso de Especialização Tecnológica - Processos Gerais de Construção. Isolamento Térmico. Disponível em: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Isolamentos%20T%C3%A9rmicos.pdf
- Itecons, 2011. Catálogo de Pontes Térmicas Lineares. Disponível em: <https://www.itecons.uc.pt/catalogopt/index.php?module=catlg>

J

- Joseph, M.; Jose, V.; Habeeb, A. 2015. Thermal Performance of Buildings: case study and experimental validation of educational building. International Journal of Advance Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 4, Issue 6, June 2015.

L

- LNEG, 2022. Projeto eMaPriCE – Estudo de Matérias-Primas Críticas e estratégias e economia circular em Portugal. Disponível em: <https://emaprice.lneg.pt/>

M

- Marques, B.; Tadeu, A.; António, J.; Almeida, J.; Brito, J. 2020. Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products. Construction and Building Materials, 239 (2020) 117851.
- MITMA, 2020a. Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Disponível em: <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana>
- MITMA, 2020b. MITMA remite a la Comisión Europea la actualización de la Estrategia para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Disponível em: [https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/lun-06072020-1145#:~:text=El%20objetivo%20a%202030%20esy%20ACS\)%20en%2021.910%20GWh](https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/lun-06072020-1145#:~:text=El%20objetivo%20a%202030%20esy%20ACS)%20en%2021.910%20GWh)

- Mohammad S., Al-Homoud, 2005. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Building and Environment, 40(2005) 353366.

N

- Nick Connor, 2019a. O que é condutividade térmica da lã de vidro - Definição. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-la-de-vidro-definicao/> Consultado em março de 2022.
- Nick Connor, 2019b. What is Cellulose Insulation – Paper Wool – Definition in Thermal Engineering, 2022. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/what-is-cellulose-insulation-paper-wool-definition/> Consultado em março 2022.
- Nick Connor, 2019c. O que é condutividade térmica de poliestireno extrudido – Definição in Thermal Engineering. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-poliestireno-extrudido-definicao/>.

P

- Passivhaus, Portugal,2020. Alto desempenho e Pontes Térmicas - dois conceitos incompatíveis. Disponível em: <http://passivhaus.pt/>
- Porto Editora, 2022. Betão na Infopédia. Dicionários Porto Editora. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$betao](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$betao), consultado em Abril 2022..
- Portal de Engenharia Química, 2007. Transferência de calor. Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422#3. Consultado em agosto 2022.

R

- Rogério Física, 2010. Convecção e Radiação, março 14, 2010. Disponível em: <https://rogeriofisica.wordpress.com/2010/03/14/conveccao-e-radiacao/>. Consultado em Junho de 2022.

- RNC, 2019. Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050). Estratégia de longo prazo para a neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050. República Portuguesa, Ministério do Ambiente e Transição Energética.

S

- Santos M. O., 2013. O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade. Universidade Fernando Pessoa. Faculdade de ciências e tecnologia - mestrado em Engenharia Civil.
- Silva, F. 2013. Estudo de Materiais de Isolamento Inovadores. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções Cíveis. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Sousa, F. 2010. Optimização de Métodos de Escolha de Materiais com Base no Desempenho Sustentável. Dissertação para o grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Universidade do Porto.

T

- Termolan, 2016. Isolamentos Termo-Acústicos -Protecção Passiva ao Fogo. Disponível em: <https://termolan.pt/solucoes/proteccao-passiva-ao-fogo/> Consultado em abril 2022.
- Tirone, L. & Nunes, Ken, 2010. Construção Sustentável - Soluções para Uma Prosperidade Renovável - Editor: Tirone Nunes. ISBN:978-989-96913-0-8

U

- UE, 2010. Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia, 18.6.2010. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=RO>
- ULMA Architectural Solutions, 2022. Lã de vidro e lã de rocha: os dois tipos de isolamento térmico recomendados pela ULMA. Disponível em: <https://www.ulmaarchitectural.com/pt-pt/fachadas-ventiladas/noticias/la-de-vidro-e-la-de-rocha-os-dois-tipos-de-isolamento-termico-recomendados-pela-ulma>. Consultado em abril 2022.

W

- Wikipédia, 2020. Vermiculita. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Vermiculita>

Y

- Your Best Home Net, 2021. Isolamento de fibra de madeira: estas são as vantagens. Disponível em: <https://ptyour-best-home.net/7344483-wood-fiber-insulation-these-are-the-advantages#menu-4> Consultado em março de 2022.

Agradecimentos

À Direção Geral de Arquitectura da Junta de Extremadura como sócio coordenador do projeto LIFE ReNaturalNZEB, à direção do Laboratório de Energia do LNEG, assim como a todos os parceiros do projeto LIFE ReNaturalNZEB, que graças à sua colaboração, trabalhando sempre em equipa, permitiu atingir os objetivos a que todos nos propusemos.

Por fim a todos aqueles que acreditam na sustentabilidade e no respeito pelo meio ambiente, com ênfase para os profissionais do sector da construção civil que pretendem contribuir para um mundo mais sustentável.

ANEXO 1 - Empresas fabricantes de isolantes térmicos, sistemas de isolamento ou produtos associados em Portugal:

- ACEPE: www.acepe.pt
- Amorim Isolamentos: www.amorimcorkinsulation.com
- Argex: <https://argex.pt/>
- Artebel: www.artebel.pt
- BETAC: www.betac-expertise.pt
- Cânhamor, Blocos de Cânhamo: www.canhamorhemp.com
- CIN: www.cin.pt
- Diera: www.diera.pt
- Dow: www.grupoepicentro.com
- FassaLusa: www.fassabortolo.pt
- Fibrosom: www.fibrosom.com
- Foamglass: www.foamglas.com
- Grazimac: www.grazimac.pt
- Gyptec: www.gyptec.eu
- Iberfibran: <https://fibran.pt/>
- LusoMapei: www.mapei.pt
- Masterblock: www.masterblock.pt
- Onduline: <https://pt.onduline.com/pt-pt/>
- Plastimar: www.plastimar.pt
- Preceram: www.preceram.pt
- RockWool: www.rockwool.pt
- Saint-Gobain Isover: www.isover.pt
- Saint-Gobain Weber: www.weber.com.pt
- Secil-Argamassas: www.secilargamassas.pt
- Sika: <https://prt.sika.com/>
- Sival: www.sival.pt
- SOFALCA: www.sofalca.pt/pt/
- Termolan: www.termolan.pt

OUTROS CONTACTOS:

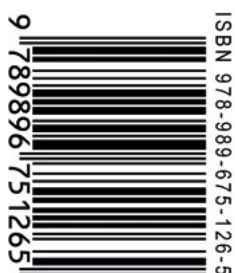
- APCMC - Associação Portuguesa de Comerciantes de Materiais de Construção (www.apcmc.pt)
- APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS (www.apfac.pt). Publicou os seguintes manuais:
 1. Manual de Aplicação de ETICS: https://www.apfac.pt/uploads/documentos/MANUAL_ETICS_20.05.2021.pdf
 2. Patologias em ETICS: www.apfac.pt/patologias-argamassas-etics e www.apfac.pt/patologias/LFC-IC-282A-2014.pdf

ANEXO 2 - Empresas fabricantes de isolantes térmicos, sistemas de isolamento ou produtos associados em Espanha:

- AislaHome: <https://aislahome.es/>
- AislaVida: <https://aislavidacom.com/>
- Bioklima Nature: <https://www.bioklimanature.com/>
- DECOPROYEC: <https://www.decoprojec.com/>
- ECOAISLA: <https://www.ecoaisla.com/>
- Ecoclay: <https://ecoclay.es/>
- ECOISOLA: <https://www.ecoisola.es/>
- EcoGreenHome: <https://ecogreenhome.es/>
- Eurocork Almendral: <https://www.eurocork.es/>
- Fassa Bortolo: <https://www.fassabortolo.es/es/>
- Knauf: <https://www.knauf.es/>
- Logrotex – Isolgreen: <https://www.logrotex.com/productos/aislantes/productos>
- Natureclay: <https://naturclay.com/>
- RockWool: <https://www.rockwool.com/es/>
- Saint-Gobain Isover: <https://www.isover.es/>
- Saint-Gobain Weber: <https://www.es.weber/>
- Sika: <https://esp.sika.com/>
- Socyr: <https://www.socyr.com/>
- Solbloc: <http://www.solbloc.es/infotec.html>
- SUBERLEV: <https://www.suberlev.com/index.php>
- Thermofloc: <http://www.thermofloc.es/>
- Ursa: <https://www.ursa.es/>
- Vipeq: <https://www.vipeq.es/>
- Xecco: <https://www.xeccosystems.net/>

OUTROS CONTACTOS:

- ASECOR. Clúster del Corcho: <https://www.asecorclustercorcho.com/>



SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS DE ISOLAMENTO PARA EDIFÍCIOS NZEB

Projeto financiado com o apoio da Comissão Europeia.
A informação contida nesta publicação vincula exclusivamente o autor, não
sendo a Comissão responsável pela utilização que dela possa ser feita.

