

**ANÁLISE COMPARATIVA DA LEGISLAÇÃO ESPANHOLA E PORTUGUESA  
RELATIVA AO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**

**ANA MORTE COSTEA (1200234)**

ERASMUS Project (20 ECTS) Final Report

**Degree in Civil Engineering**

**Supervisor:** Teresa Carvalho Neto

**Co-supervisor:** Javier Dominguez Hernandez

JUNE 2021

I, **Ana Morte Costea**, student nr. **1200234**, of the **degree** in Civil Engineering from the Polytechnic of Oporto – School of Engineering, declare that I have not plagiarised or self-plagiarised the work entitled "ANÁLISE COMPARATIVA DA LEGISLAÇÃO ESPANHOLA E PORTUGESA RELATIVA AO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO". The work presented in this document is thus an original and of my own authorship having not been previously used for any other purpose. I further declare that all sources of information used are cited, both on the text and on the final references, according to the referencing and citation rules adopted at the Institution.

Porto and ISEP, **2021/06/01**.

*Ana Morte Costea*

---

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é conhecer e estudar o desempenho térmico de um edifício de habitação, bem como realizar as medidas de correção necessárias para que cumpra os requisitos mínimos necessários para que se conseguir um grau de conforto adequado sem gastos excessivos de energia.

Analisaremos a composição dos diferentes elementos construtivos (paredes exteriores e em contacto com outro edifício, pavimento em contacto com o solo, cobertura, envidraçados e zonas de pontes térmicas planas). Posteriormente verificaremos se as propriedades térmicas estão em conformidade com a legislação portuguesa (REH) e, se necessário, faremos as devidas correções.

Também calcularemos as trocas de energia que se processam entre o espaço interior e a sua envolvente, pois são necessárias para se quantificar os valores dos índices que indicam a quantidade de energia necessária para garantir o conforto térmico nas duas estações. Além disso, calcularemos a energia necessária para preparação da água quente sanitária. Procurou-se ainda otimizar os equipamentos de climatização e obter-se a classe energética da habitação.

Finalmente, faremos uma breve comparação com a legislação espanhola (RITE) na qual encontraremos as diferenças e semelhanças no método de cálculo desempenho térmico.

Tudo este estudo é realizado com o objetivo de tornar a nossa casa o mais eficiente possível em termos térmicos e energéticos.

**Palavras-chave:** Energia; desempenho térmico; RITE; REH

**Comentado [TN1]:** ABstract  
Colocar em 2 lugar

**Comentado [TN2R1]:**



## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to know and study the thermal properties of a building dedicated to the dwelling of people, as well as to carry out the necessary correction measures so that it meets the minimum requirements suitable for them to find an adequate degree of comfort.

For this we will measure the dimensions and areas of the house, the windows and elements such as beams and pillars.

Next, we will analyze the thicknesses and compositions of the different building elements (exterior walls, in contact with other buildings and in contact with the ground). Later we will check that the thermal properties comply with Portuguese legislation (REH) and if they do not, we will make the pertinent corrections in the building.

We will also calculate the heat exchanges with the outside, necessary to know the values of the indices that indicate the good thermal behavior of the building. In addition, we will calculate the heat necessary for heating domestic hot water, we will seek to optimize the electrical appliances that heat and cool in the different seasons of the year and we will obtain the energy class of our home.

Finally, we will make a brief comparison with the Spanish legislation (RITE) in which we will find the differences and similarities when calculating the good possible thermal performance.

All this in order to make our home as energy efficient as possible.

**Keywords:** Energy; thermal performance; RITE; REH



## RESUMEN

Comentado [TN3]: Colocar este em primeiro lugar

Este trabajo tiene como finalidad conocer y estudiar las propiedades térmicas de un edificio dedicado a la vivienda de personas, así como realizar las medidas de corrección necesarias para que cumpla con los requisitos mínimos aptos para que éstas se encuentren con un grado adecuado de confort.

Para ello mediremos las dimensiones y áreas de la casa, las ventanas y elementos como vigas y pilares.

A continuación, analizaremos los espesores y composiciones de los diferentes elementos constructivos (exterior, en contacto con otros edificios y en contacto con el suelo). Posteriormente comprobaremos que las propiedades térmicas se ajustan a la legislación portuguesa (REH) y en el caso de que no lo hagan, realizaremos las correcciones pertinentes en la edificación.

También calcularemos los intercambios de calor con el exterior, necesarios para conocer los valores de los índices que indican el buen comportamiento térmico del edificio. Además, calcularemos el calor necesario para el calentamiento del agua caliente sanitaria, buscaremos optimizar los electrodomésticos que calientan y enfrían en las distintas estaciones del año y obtendremos la clase energética de nuestra vivienda.

Finalmente haremos una breve comparación con la legislación española (RITE) en la que hallaremos las diferencias y semejanzas a la hora de calcular el buen rendimiento térmico posible.

Todo esto con el fin de conseguir que nuestra vivienda sea lo más energéticamente eficiente posible.

**Palavras clave:** Energia; desempenho térmico; RITE; REH



## SÍMBOLOS

A – Área do elemento da envolvente [m<sup>2</sup>]

Abf – Área do pavimento em contacto com o solo [m<sup>2</sup>]

Aop – Área do elemento da envolvente opaca exterior [m<sup>2</sup>]

Ap – Área útil de pavimento [m<sup>2</sup>]

Aw – Área total do vão envidraçado incluindo vidro e caixilho [m<sup>2</sup>]

Bj – Desenvolvimento linear de ponte térmica linear [m]

btr – Coeficiente de redução de perdas

Eren,p – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável [kWh]

Fg – Fração envidraçada do vão envidraçado

Fmv – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar se encontram 100% ativos.

Fpu,j – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWhEP/kWh]

Fs – Fator de obstrução do vão envidraçado

Fw – Fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar

g<sub>L,i</sub> – Fator solar de inverno

g<sub>L,v</sub> – Fator solar do envidraçado

Fw,i – Fator de seletividade angular

GD – Número de graus-dia aquecimento [°C.dias]

Gsolj – Energia solar média incidente numa superfície, durante toda a estação de arrefecimento [kWh]

Gsul – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul [kWh/(m<sup>2</sup>.mês)]

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

- gt – fator solar do envidraçado com os dispositivos de proteção solar 100% ativos.
- gTp – fator solar do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes
- Hadj – Transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [W/°C]
- Hecs – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo [W/°C]
- Henu – Transferência superficial de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não uteis [W/°C]
- Hext – Transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/°C]
- M – Duração média da estação convencional de aquecimento [meses]
- MAQS – Consumo médio diário de referência [l/dia]
- nd – Número anual de dias de consumo de AQS
- Ni – Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)]
- Nic – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)]
- Nt – Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária [kWhEP/(m<sup>2</sup>.ano)]
- Ntc – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWhEP/(m<sup>2</sup>.ano)]
- Nv – Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)]
- Nvc – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)]
- Pd – Pé direito médio da fração [m]
- Qa – Energia útil necessária para preparação de AQS durante um ano [kWh/ano]
- Qg – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh/ano]
- Qg – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh/ano]
- Qg,i – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh/ano]
- Qg,v – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh/ano]
- Qg,vref – Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento [kWh/ano]
- Qgu – ganhos térmicos que são uteis para a habitação através dos vãos envidraçados, iluminação, equipamentos e ocupantes e envolvente opaca [kWh/ano]
- Qgu,iref – Ganhos de calor uteis de referência na estação de aquecimento [kWh/ano]
- qi – Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície [W/m<sup>2</sup>]

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

- $Q_{int,i}$  – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{int,v}$  – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor na estação de arrefecimento [kWh/ano]
- $Q_{ecs}$  – Transferência de calor através de elementos em contacto com o solo [kWh/ano]
- $Q_{tr}$  – transferências térmicas através da envolvente dos edifícios [kWh/ano]
- $Q_{tr,iref}$  – Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{ve}$  – Transferências de calor por renovação do ar [kWh/ano]
- $Q_{ve,iref}$  – Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $R_{ph}$  – Taxa nominal horaria de renovações do ar interior [ $h^{-1}$ ]
- $R_{se}$  – Resistência térmica superficial exterior – 0,04 [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]
- $U$  – Coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
- $U_{bfi}$  – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
- $U_{bwj}$  – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
- $W_{vm}$  – Energia necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano]
- $X_j$  – Fator de orientação consoante as diversas exposições
- $Z_j$  – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo [m]
- $\alpha$  – Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca
- $\Delta T$  – Aumento de temperatura necessário para preparação das AQS [ $^\circ C$ ]
- $\eta_i$  – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
- $\eta_v$  – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento
- $\eta_{vref}$  – fator de utilização de ganhos de referência
- $\psi_j$  – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ]



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Alçado posterior e corte.....	4
Figura 2.2- Planta dos dois andares .....	5
Figura 2.3- Composição da parede exterior.....	10
Figura 2.4- Composição de cobertura.....	11
Figura 2.5- Clima do Porto.....	12
Figura 2.6- Mapa das zonas climáticas de Portugal.....	13
Figura 2.7– Envolvente marcada na planta.....	16
Figura 2.8– Envolvente marcada no corte.....	17
Figura 2.9 - Cálculo do $N_i$ .....	36
Figura 2.10 - Cálculo de $\gamma$ no verão.....	40
Figura 2.11 – Certificado energético edifício de habitação Portugal.....	45
Figura 2.12 - – Nova Caldeira .....	46
Figura 2.13 – Novo ar condicionado.....	47
Figura 3.1- Etiqueta de classificação energética Espanha.....	57

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Área de cada um dos compartimentos e espaços interiores. ....	6
Tabela 2.2- Área das envidraçados.....	7
Tabela 2.3- Área vigas e pilares exteriores .....	7
Tabela 2.4- Área vigas e pilares interiores.....	8
Tabela 2.5 - Área parede exterior R/C e área pavimento.....	8
Tabela 2.6 - Área parede exterior 1º andar e área cobertura. ....	9
Tabela 2.7- Área parede edifício adjacente.....	9
Tabela 2.8-NUTS III .....	12
Tabela 2.9 Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento. ...	13
Tabela 2.10- Critérios para a determinação da zona climática de inverno. ....	14
Tabela 2.11- Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento.....	14
Tabela 2.12- Critérios para a determinação da zona climática de verão. ....	15
Tabela 2.13 Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis, $U_{máx}$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ].	17
Tabela 2.14 - Verificação das envidraçados. ....	23
Tabela 2.15- Classificação do fator solar do vidro. ....	23
Tabela 2.16- Fator solar de janela com proteção solar permanente ou móvel com incidência normal....	24
Tabela 2.17- Perdas associadas à Parede Exterior. ....	27
Tabela 2.18- Perdas associadas à Cobertura Exterior [ $W/^\circ C$ ]. ....	27
Tabela 2.19- Perdas associadas aos envidraçados Exteriores. ....	28
Tabela 2.20- Perdas associadas às pontes térmicas lineares. ....	28
Tabela 2.21 - Perdas associadas à paredes em contacto com edifício adjacente.....	29

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.22– Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico. ....	30
Tabela 2.23– Cálculo do Rph.....	31
Tabela 2.24 – Fator de orientação para as diferentes exposições.....	33
Tabela 2.25 – Cálculo ganhos solares inverno. ....	33
Tabela 2.26- Valores de referência de U de acordo com a zona climática e o elemento construtivo a estudar. ....	35
Tabela 2.27 – Ganhos solares pela envolvente opaca exterior.....	38
Tabela 2.28- Coeficiente de absorção da radiação solar, $\alpha$ .....	38
Tabela 2.29– Cálculo ganhos solares de envidraçados exteriores.....	39
Tabela 2.30– Equipamentos existentes fração. ....	44
Tabela 2.31– Valores de FPU para equipamentos de referência.....	44
Tabela 2.32– Classes energéticas.....	46
Tabela 3.1 – Coeficientes para SCI. ....	50
Tabela 3.2 – Coeficientes para SCV. ....	50
Tabela 3.3 – Intervalo zona inverno.....	50
Tabela 3.4– Intervalo zona verão.....	50
Tabela 3.5– Zonas climáticas legislação espanhola.....	51
Tabela 3.6– Valores de U máximos - legislação espanhola.....	52
Tabela 3.7 - Valores de U máximos para edifícios adjacentes - legislação espanhola.....	53
Tabela 3.8- Valores mínimos de ocupação de cálculo no uso de habitação privada.....	54
Tabela 3.9– Valor do fator de centralização em casas multifamiliares.....	55
Tabela 3.10- Cálculo de AQS.....	56
Tabela 3.11- Classificação energética das habitações de edifícios destinados a habitações.....	58



## ÍNDICE

Resumo.....	iii
Abstract .....	v
Resumen.....	vii
Símbolos .....	ix
Índice de figuras .....	xiii
Índice de tabelas .....	xiv
Índice .....	17
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivo do trabalho.....	1
1.2 Regulamentos aplicados .....	2
1.2.1 Apresentação da legislação portuguesa (REH) .....	2
1.2.2 Apresentação da legislação espanhola (RITE) .....	2
2 Estudo de caso – Desempenho térmico de um edifício de habitação unifamiliar de acordo com a legislação portuguesa.....	4
2.1 Descrição do edifício.....	4
2.2 Dimensões e áreas do edifício .....	5
2.3 Soluções Construtivas .....	10
2.4 Localização Geográfica do Edifício e Clima .....	11
.....	12
2.5 Aplicação da legislação portuguesa sobre o desempenho térmico dos edifícios .....	12
2.5.1 Dados climáticos.....	12

## ÍNDICE

2.5.2	Cálculo do coeficiente btr e marcação das envolventes .....	15
2.5.3	Verificação dos requisitos mínimos das soluções de construção.....	17
2.5.4	Perdas e ganhos de energia na estação de aquecimento .....	26
2.5.5	Cálculo do indicador Nic e verificação regulamentar .....	34
2.5.6	Perdas e ganhos de energia na estação de arrefecimento.....	37
2.5.7	Cálculo do indicador <i>Nvc</i> e Verificação Regulamentar .....	40
2.5.8	Cálculo das necessidades energéticas para a preparação de água quente sanitária.....	42
2.5.9	Classe energética .....	43
2.5.10	Novos equipamentos para melhorar a classe energética da habitação.....	46
2.5.11	Energias renováveis .....	47
3	Estudo de caso – Análise do desempenho energético de um edifício de habitação unifamiliar de acordo com a legislação espanhola.....	49
3.1	Dados climáticos .....	49
3.2	Cálculo e verificação dos parâmetros característicos da envolvente.....	52
3.3	Cálculo de necessidades energéticas para a preparação de água quente sanitária.....	54
3.4	Análise da classe energética .....	56
4	Estudo do caso - Análise e comparação dos resultados obtidos com a legislação portuguesa e espanhola .....	59
4.1	Dados climáticos .....	59
4.2	Verificação de requisitos mínimos.....	59
4.3	Água quente sanitária .....	60
4.4	Comparação da classe energética.....	60
5	Conclusões.....	62
	Bibliografia.....	64
	Anexo 1: Vistas do edifício.....	67

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

A eficiência energética de um edifício é aquela que minimiza as necessidades energéticas do edifício, de forma a minimizar e racionalizar a energia disponível, mas garantindo o conforto térmico no seu espaço interior. A utilização eficiente desta energia tem sobretudo dois objetivos na conceção de um edifício.

O primeiro objetivo é conseguir poupanças económicas, uma vez que quanto menos energia for necessária para atingir uma temperatura adequada dentro da construção, menos se tem de pagar por isso e assim se beneficiará o orçamento familiar disponível para a climatização.

O segundo objetivo está relacionado com o ambiente e a utilização de combustíveis fósseis não renováveis, uma vez que, apesar das melhorias e avanços na utilização das energias renováveis em todo o mundo, uma grande percentagem da energia utilizada para aquecer ou arrefecer o interior de um edifício provém de fontes como o carvão e o gás natural. Estas fontes, além de não serem ilimitadas, têm efeitos prejudiciais para o ambiente, pelo que a sociedade é cada vez mais obrigada a reduzir ao máximo o seu consumo.

Este projeto analisará e verificará se um edifício dedicado à residência das pessoas satisfaz os objetivos de eficiência energética e, caso tal não o faça, serão implementadas medidas construtivas e a escolha de sistemas de aquecimento e refrigeração para minimizar o uso da energia disponível.

Para isso, vamos analisar e otimizar um projeto para a construção de uma casa localizada na cidade portuguesa do Porto.

Devido aos múltiplos pactos dos países da União Europeia para evitar práticas que não promovam os cuidados e a conservação do ambiente, as leis que regem as necessidades energéticas dos edifícios são semelhantes em ambas as nações. No entanto, em alguns aspetos, as diferenças entre o clima e a exigências de energia primária não são as mesmas em todos os países.

É por isso que vamos analisar e comparar as necessidades energéticas do edifício em que este projeto se baseia com a legislação portuguesa, o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e espanhola, o Regulamento das Instalações Técnicas (RITE).

Assim, este trabalho terá um duplo propósito, por um lado, procuramos tornar um edifício mais eficiente em termos energéticos e, por outro lado, analisaremos as diferenças e semelhanças que podemos encontrar nos procedimentos legislativos em dois países vizinhos.

## **1.2 REGULAMENTOS APLICADOS**

### **1.2.1 Apresentação da legislação portuguesa (REH)**

É intenção deste trabalho aplicar e esclarecer definições e conceitos que constam no Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua atual redação, necessários à correta identificação do objeto de análise para o âmbito de aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios Habitação (REH).

Os temas aqui apresentados serão desenvolvidos numa estrutura sequencial, necessários à melhor análise e aplicabilidade da metodologia regulamentar a um caso de estudo.

Para aplicação do REH, é necessário o estudo e a implementação dos seguintes documentos legislativos:

- Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013
- Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013
- Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013
- Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013
- Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013
- Portaria n.º 379-A/2015
- Portaria n.º 349 -B/2013
- Portaria n.º 319/2016

### **1.2.2 Apresentação da legislação espanhola (RITE)**

No caso de Espanha, o regulamento que somos obrigados a cumprir no que diz respeito aos requisitos básicos de segurança e habitabilidade é o Código Técnico de Construção (CTE).

O Código Técnico de Construção é dividido em duas partes. O primeiro detalha todos os requisitos de segurança e habitabilidade necessários para a construção de um edifício, de acordo com a Lei de Gestão de Edifícios e o segundo é composto pelos diferentes Documentos Básicos, que são:

- *DB SE*: Segurança estrutural
- *DBSI*: Segurança contra incêndios
- *DBSUA*: Segurança de utilização e acessibilidade
- *DBHE*: Poupança de energia
- *DBHR*: Proteção contra o ruído
- *DBHS*: Saúde

Neste caso, vamos focar-nos no documento de base *DBHE* que incorpora o Regulamento das Instalações Térmicas (RITE) em forma sumária e aplicando-o a edifícios com uso habitacional.

Também consideraremos o *DBHS4* e o *DBHS5* para instalações privadas

## 2 ESTUDO DE CASO – DESEMPENHO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

### 2.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

Na figura seguinte está representado o edifício de habitação unifamiliar que será estudada neste trabalho. É um edifício de dois andares, com uma entrada através de uma porta virada a norte. Tem 6 janelas, 2 delas viradas a norte e 4 a sul.

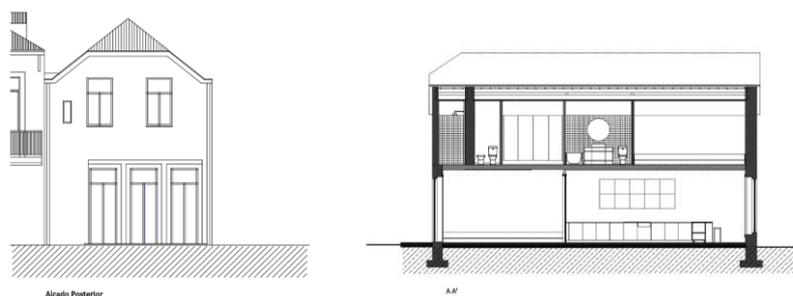


Figura 2.1 - Alçado posterior e corte

A parede virada a este é uma parede exterior, enquanto a parede oposta está em contacto com outra casa adjacente à nossa.

Quanto à distribuição dos compartimentos, os quartos e duas instalações sanitárias encontram-se no primeiro andar e no R/c existe uma sala de estar, uma cozinha e um hall.



Figura 2.2- Planta dos dois andares

Não existem espaços não úteis nesta habitação e apenas será considerado o edifício adjacente como um espaço que terá influência no desempenho térmico desta habitação.

## 2.2 DIMENSÕES E ÁREAS DO EDIFÍCIO

Para analisar plenamente as necessidades energéticas da casa que queremos construir, será necessário realizar medidas exaustivas da casa com a ajuda do software AutoCAD.

Primeiro, medimos a área de cada um dos compartimentos e espaços interiores e adicionando-os todos obtemos a área útil do pavimento.

Tabela 2.1 - Área de cada um dos compartimentos e espaços interiores.

Compartimento	A [m <sup>2</sup> ]
Caixa de Escadas	18,2
Cozinha	25,8
Sala	30,8
Área do r/C	<b>74,8</b>
Quarto 1	14,2
Quarto 2	14,2
Quarto 3	23,4
WC 1	8,0
WC 2	6,0
Corredor	10,8
Área do 1 piso	<b>76,6</b>
TOTAL	<b>156,3</b>

Em virtude de no R/C existir um valor para o Pé direito e no primeiro piso o Pé direito ser variável é necessário determinar um valor médio através de uma média ponderada. Assim:

$$(P_{d_{R/C}} \times A_{R/C} + P_{d_{m\u00e9dio_{1P}}} \times A_{1P}) / A_p = (3,4 \times 74,8 + 3,3 \times 76,6) / 156,3 = 3,3 \text{ m}$$

A próxima coisa que faremos é medir cada uma das janelas, bem como a porta da frente.

Tabela 2.2 - Área das envidraçados

Elementos	Orientação	Compartimento	Descrição	A [m <sup>2</sup> ]	
Envidraçados	N	Cozinha	2x(0,96x0,29)	4,38	
		Quartos 1 e 2	2x3,42	6,84	
		<b>TOTAL</b>		<b>11,22</b>	
	S	Sala	3x(0,89x2,75)	7,35	
		WC1	0,84x1,67	1,40	
		WC2	0,76x0,24	0,18	
		Quarto 3	0,84x1,67	1,40	
		<b>TOTAL</b>		<b>10,34</b>	
	<b>TOTAL</b>				<b>21,56</b>
	Porta	N	Hall de entrada	3,00x1,10	<b>3,30</b>

Outros elementos de construção a ter em conta serão os pilares e vigas que trazem estabilidade ao edifício. Para facilitar os cálculos subsequentes, mediremos a sua área tendo em conta a orientação destes.

Tabela 2.3 - Área vigas e pilares exteriores

Elementos	Orientação	Compartimento	Descrição	A [m <sup>2</sup> ]	
Pilares	r/c	E	0,15 x3,0	0,45	
	1 PISO	E	(0,15 +0,2)x2,6	0,91	
	<b>TOTAL</b>			<b>1,36</b>	
Vigas	R/C	E	(7,9+5,2)x0,2	2,62	
		S	(0,27+0,4+0,4+1,26)x0,2	0,47	
		N	(0,3+0,1+0,4+0,8+0,2)x0,2	0,36	
	1 PISO	E	(5,3+2,75+4,9)x0,2	2,59	
		S	(0,4+0,9+0,5+1,6)x0,2	0,64	
		N	(1,5+1,5)x0,2	0,62	
	<b>TOTAL</b>				<b>7,30</b>

Tabela 2.4 - Área vigas e pilares interiores.

Elementos	Orientação	Compartimento	Descrição	A [m <sup>2</sup> ]
Pilares	r/c	W	0,15 x3,0	0,45
	1 PISO	W	(0,15 +0,2)x2,6	0,91
	<b>TOTAL</b>			<b>1,36</b>
Vigas	R/C	W	(5,28x7,73)x0,2	2,60
	1 PISO	W	(4,9+2,9+2,6+1,2+1,2)x0,2	2,96
	<b>TOTAL</b>			<b>5,56</b>

Finalmente, para o cálculo das áreas das paredes exteriores e da parede em contacto com o edifício adjacente de ambos os pisos, optaremos por calcular a área total destes e subtrair a área de elementos como portas, janelas, vigas, pilares, etc. que encontramos em cada uma delas. Também realizaremos nesta etapa as medidas relevantes para calcular a área do telhado e do pavimento.

Tabela 2.5 - Área parede exterior R/C e área pavimento.

Elementos	Orientação	Compartimento	Descrição	A [m <sup>2</sup> ]
Parede exterior (R/C)	E	Sala	5,26x3,20-0,2x5,26	15,78
		C.ESC	7,88x3,2-0,2x7,88-0,15x3	23,19
		<b>TOTAL</b>		
	N	Cozinha	4x3,20-2x2,19-0,2x(1,5+0,1)	8,10
		C. Escadas	1,46x3,20-3,3-1,5x0,2	1,07
		<b>TOTAL</b>		
	S	Sala	5,8x3,2-3x2,45-0,47	10,74
		<b>TOTAL</b>		
	<b>TOTAL</b>			
Pavimento				<b>74,8</b>

Tabela 2.6 - Área parede exterior 1º andar e área cobertura.

Elementos	Orientação	Compartimento	Descrição	A [m <sup>2</sup> ]
Parede exterior (1 PISO)	E	Quarto 3	2,8x5,5-0,2X4,9	14,42
		Quarto 1	4,88x2,8-0,2X5,3-2,6X0,2	12,08
		C. Esc	2,88x2,8-0,2X2,75-2,6X0,15	7,12
		<b>TOTAL</b>		<b>33,63</b>
	N	Quarto 1	2,86x2,8-3,42-1,5X0,2	4,29
		Quarto 2	2,86x2,8-3,42-1,5X0,2	4,29
		<b>TOTAL</b>		<b>8,58</b>
	S	Quarto 3	2,70x2,8-1,4-(1,6+0,5)X0,2	5,74
		Wc 1	3,11x2,8-1,4-(0,9+0,4)X0,2	7,05
		<b>TOTAL</b>		<b>12,79</b>
	<b>TOTAL</b>			
Cobertura				<b>76,60</b>

Total área parede exterior dos 2 pisos:  $A = 113,87 \text{ m}^2$

Tabela 2.7 - Área parede edifício adjacente.

Elementos	Andar	Compartimento	Descrição	A [m <sup>2</sup> ]	
Parede para edifício adjacente	R/c	Cozinha	3,2x7,9-7,9X0,2-0,15X3	23,25	
		Sala	5,26x3,20-0,2X5,28	15,83	
		<b>TOTAL</b>		<b>39,08</b>	
	1 PISO	WC 1	2,19x2,8-0,2X2,6-0,2X2,4	5,13	
		Quarto 2	4,88x2,8-4,9X0,2	12,68	
		Quarto 3	2,66x2,8-2,6X0,2	6,93	
		WC 2	2,9x2,8-2,9X0,2-0,15X2,6	7,15	
		<b>TOTAL</b>		<b>31,89</b>	
	<b>TOTAL</b>				<b>70,98</b>

### 2.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Um dos principais objetivos deste projeto é verificar se as soluções construtivas desta habitação são adequadas. Para isso é essencial conhecer tanto a composição como as dimensões das espessuras dos materiais que compõem as paredes, tetos, pavimentos, vigas, pilares e janelas da nossa casa.

A parede exterior e para o edifício adjacente têm a mesma constituição e são compostas por uma camada de 2 cm de reboco em ambos os lados e alvenaria de tijolo de 11cm (interior) e 15 cm (exterior) separados por uma caixa de ar de 2 cm e uma camada de isolante térmico de 3 cm de espessura.

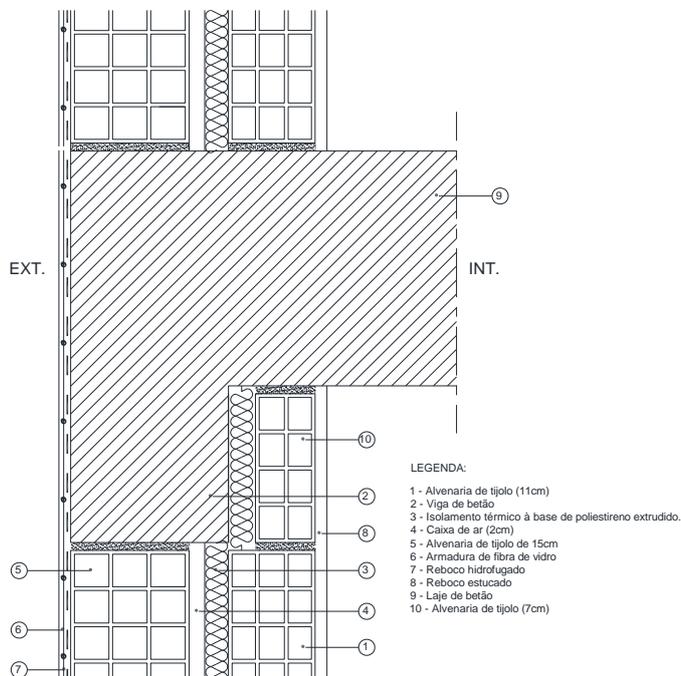
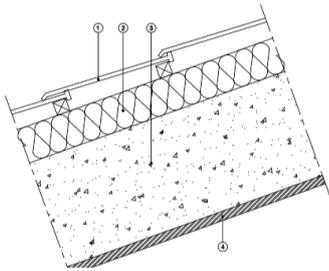


Figura 2.3 - Composição da parede exterior.

Os pilares e vigas apresentam também a mesma solução construtiva. Aqui encontramos também um revestimento de 2 cm de reboco em ambas as faces, alvenaria de tijolo de 7 cm de espessura seguida de 3 cm de isolante térmico e 20 cm de betão armado.

Para a cobertura inclinada foi proposta a seguinte solução construtiva: revestimento exterior em telha cerâmica, 8 cm de isolamento térmico exterior laje de 20 cm de betão armado e uma camada de 2 cm de estuque.



LEGENDA:

- 1 – Telha cerâmica
- 2 – Poliestireno extrudido (8 cm)
- 3 – Laje maciça de betão armado (20 cm)
- 4 – estuque (2 cm)

Figura 2.4 - Composição de cobertura.

Quanto às janelas, temos sempre o mesmo tipo de vidro (vidro duplo de 6mm + 5mm com caixa de ar de 16mm), caixilharia em PVC e as proteções solares serão portadas de madeira interiores de cor clara.

## 2.4 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO EDIFÍCIO E CLIMA

O projeto a estudar situa-se na cidade portuguesa de Porto, que pertence à NUT de nível III Grande Porto. Uma vez que é um estudo das necessidades energéticas de uma casa, estamos interessados em ter uma noção básica do clima da região.

É uma zona costeira e, portanto, de baixa altitude, localizada no norte da Península Ibérica, na margem direita do Douro na sua foz no Oceano Atlântico.

No Porto, os verões são secos e na sua maioria limpos e os invernos são frios, húmidos e parcialmente nublados. Ao longo do ano, a temperatura geralmente varia de 6°C a 24°C e raramente desce para menos de 1°C ou sobe para mais de 30°C.



Figura 2.5 - Localização geográfica da cidade do Porto

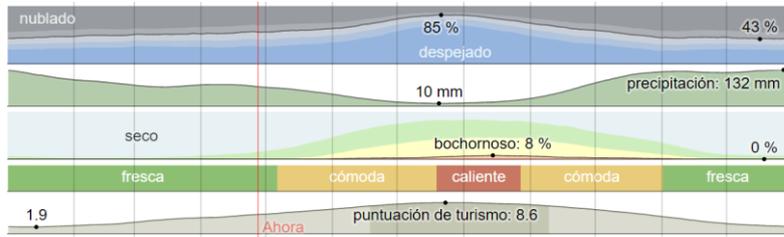


Figura 2.5 - Clima do Porto

## 2.5 APLICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

### 2.5.1 Dados climáticos

A casa que queremos estudar situa-se no concelho do Porto a uma altitude de 15 metros.

Para conhecer a zona climática em que estamos, vamos utilizar o *Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013*. Consultamos os valores tabelados neste documento aplicando as medidas de correção em função da altitude da casa para calcular a duração da estação e os graus-dias de aquecimento (na estação de inverno) e à temperatura média exterior (para os valores de verão).

Assim, poderemos classificar a nossa casa numa das três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e o mesmo para o verão (V1, V2, V3). Estas zonas não têm necessariamente de ser as mesmas para ambas as estações, abaixo está a distribuição das mesmas representadas no mapa de Portugal Continental.

Tabela 2.8 - NUTS III

NUTS III	Municípios
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira
Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Cávado	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde
Ave	Cabeceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela
Grande Porto	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia

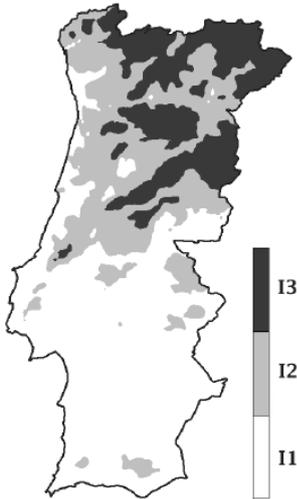


Fig. 01.01 - Zonas climáticas de inverno no continente

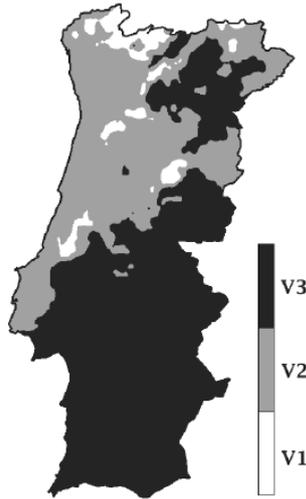


Fig. 01.02 - Zonas climáticas de verão no continente

Figura 2.6 - Mapa das zonas climáticas de Portugal.

Para a estação de aquecimento, consultamos a tabela 04 do documento acima mencionado e obtivemos uma altitude de referência de 94 m. Com este valor procedemos ao cálculo do número de meses em que podemos aplicar as condições de aquecimento (M), o número de graus dias na base de 18 °C correspondente ao período de aquecimento convencional (GD) e a energia solar média mensal durante a estação recebida por uma superfície vertical virada a sul (G<sub>sol</sub>).

Todos os parâmetros, exceto o associado à radiação solar, são obtidos seguindo a mesma equação genérica, na qual aplicamos as diferentes medidas de correção:

$$X = X_{REF} + a (z \cdot z_{REF}) \quad [2.1]$$

Tabela 2.9 -Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento.

	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km	kWh/m <sup>2</sup> por mês
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130

Verificando a tabela 2.9 e fazendo os cálculos relevantes, obtemos:

$$M = M_{REF} + a (z \cdot z_{REF}) = 6,2 + \left(\frac{2}{1000}\right) \cdot (15 - 94) = 6,0 \text{ meses}$$

$$GD = GD_{REF} + a (z \cdot z_{REF}) = 1250 + \left(\frac{1600}{1000}\right) \cdot (15 - 94) = 1124^{\circ}\text{C}$$

$$G_{SUL} = 130 \text{ kWh/m}^2$$

Uma vez obtidos todos os valores, vamos para a tabela 2.10 para determinar a zona climática de inverno, que neste caso corresponde à zona I1.

Tabela 2.10 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno.

Critério	GD ≤ 1300	1300 < GD ≤ 1800	GD > 1800
Zona	I1	I2	I3

No caso da estação de arrefecimento, é necessário consultar a tabela 2.11, onde encontramos uma temperatura média exterior de 20,9 °C e a energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação que usaremos para cobertura) e em superfícies verticais (inclinação de 90° que usaremos nas paredes) para os três pontos cardeais (N, S, E).

Tabela 2.11 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento

	z REF m	$\theta_{ext,v}$		$I_{sol}$								
		REF °C	$a$ °C/km	kWh/m <sup>2</sup> acumulados de junho a setembro								
		0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW		
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350

Semelhante à secção anterior obtemos os seguintes valores:

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v,REF} + a (z \cdot z_{REF}) = 20,9 + 0 \cdot (15 - 94) = 20,9^{\circ}\text{C}$$

$$I_{SOL,N} = 220 \text{ kWh/m}^2$$

$$I_{\text{SOL, E}} = 490 \text{ kWh/m}^2$$

$$I_{\text{SOL, S}} = 425 \text{ kWh/m}^2$$

$$I_{\text{SOL, COBERTURA}} = 800 \text{ kWh/m}^2$$

Estamos, portanto, de acordo com a tabela 2.12 numa zona climática V2 correspondente à estação de arrefecimento.

Tabela 2.12 - Critérios para a determinação da zona climática de verão.

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

### 2.5.2 Cálculo do coeficiente btr e marcação das envolventes

Normalmente encontramos diferentes espaços que chamamos de não úteis num edifício de habitação, como a lavandaria, a caixa de escadas, a caixa do elevador, o desvão da cobertura... Estes espaços situam-se a uma temperatura diferente das áreas interiores da casa, uma vez que não correspondem às condições de referência dos outros compartimentos.

O cálculo das perdas de calor por transmissão através dos elementos que separam os espaços com temperatura interior de referência dos espaços não úteis será afetado pelo coeficiente de redução de perdas, btr, o que resulta numa redução da transmissão de calor.

Este coeficiente pode ser calculado como:

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad [2.2]$$

$\theta_{int}$  - Temperatura interior [°C]

$\theta_{enu}$  - Temperatura do ENU [°C]

$\theta_{ext}$  - Temperatura exterior [°C]

Se o  $b_{tr}$  parâmetro for superior a 0,7, aplicar-se-ão os requisitos mínimos para a envolvente exterior, enquanto se o coeficiente de redução de perdas for igual ou inferior a 0,7, devem ser utilizados os requisitos mínimos para a envolvente interior.

Neste caso não temos nenhum espaço não útil em nossa casa, mas existe uma parede que comunica com outro edifício adjacente. Nestes casos, o coeficiente de redução de perdas tem o sempre o mesmo valor, que corresponde a 0,6.

Seguem-se as plantas da habitação com a envolvente marcada de acordo com os requisitos mínimos que devem ser aplicados para verificar se os elementos construtivos atendem às necessidades térmicas exigidas pela legislação. Neste caso, na ausência de espaços não úteis, apenas marcaremos as paredes em contacto com o edifício adjacente, para as quais devem ser aplicados requisitos mínimos para um recinto interior ( $btr \leq 0.7$ ).



Figura 2.7 - Envolvente marcada na planta.

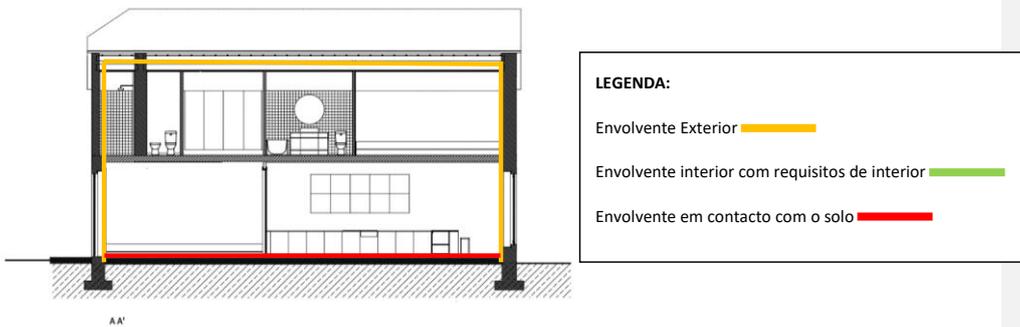


Figura 2.8 - Envoltura marcada no corte.

Em amarelo temos a parede, pilares, vigas, envidraçados e cobertura com requisitos exteriores e em verde a parede, os pilares e as vigas para o edifício adjacente e em vermelho o pavimento em contacto com o solo.

### 2.5.3 Verificação dos requisitos mínimos das soluções de construção

Um parâmetro muito importante quando se trata de alcançar um bom comportamento térmico das nossas estruturas é o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), definido como a intensidade total da transferência de calor através de um material. Isto depende de diferentes fatores como os materiais com os quais será construído, a sua espessura, a condutibilidade destes, a velocidade do vento exterior e o movimento do ar interior.

Para verificar se as diferentes soluções de construção satisfazem os requisitos mínimos de qualidade, o coeficiente de transmissão de calor deve ser calculado e, posteriormente, verificado que é inferior ao máximo estabelecido pela legislação de acordo com a zona climática em que a casa deve ser estudada. Estes valores-limite constam do documento *Portaria n.º 379-A/2015*, de 22 de outubro.

Tabela 2.13 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis,  $U_{máx}$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

$U_{máx}$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]		Portugal Continental		
		A partir de 31 de dezembro 2015		
Zona corrente da envoltura:		I1	I2	I3
		em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50
Elementos opacos horizontais	0,40		0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,80	2,40	2,20

Procedemos agora à verificação dos requisitos mínimos para a parede exterior, a parede do edifício adjacente, as janelas, o telhado e os pilares e vigas da casa.

### **Parede exterior**

Estamos, como mencionamos anteriormente na zona climática I1. Ao verificar a tabela 2.13, obtemos o nosso U máximo para uma parede vertical opaca em contacto com o exterior:

$$U_{max,par.ext.} = 0,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Em seguida, calcularemos o coeficiente real de transmissão térmica da parede exterior, sendo necessário saber quais são as resistências térmicas dos materiais que o compõem, bem como as resistências térmicas superficiais interiores e exteriores.

A resistência térmica de um material representa a capacidade do material de se opor ao fluxo de temperatura.

No nosso caso, com materiais homogéneos, calcularemos a resistência térmica,  $R_t$ , como a razão da espessura do material e a condutividade térmica do material ( $\lambda$ ).

Os valores das resistências térmicas do espaço de ar, as resistências térmicas superficiais e dos blocos de tijolos são obtidos diretamente através da consulta do ITE 50 do LNEC.

Com a consulta do documento LNEC\_ITE\_50 obtêm-se:

$$\lambda_{reboco} = 1,3 (m^2^\circ C)/W; \lambda_{poliestireno} = 0,037 (m^2^\circ C)/W$$

$$R_{se} = 0,04 (m^2^\circ C)/W; R_{si} = 0,13(m^2^\circ C)/W; R_{ar} = 0,17 (m^2^\circ C)/W$$

$$R_{tijolo\ 11} = 0,27 \frac{m^2^\circ C}{W}; R_{tijolo\ 15} = 0,39 (m^2^\circ C)/W$$

Calculamos agora a resistência e o coeficiente total de transmissão térmica da parede:

$$R_{t,pared\ ext} = R_{si} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo\ 11} + R_{ar} + \frac{e_{poliest}}{\lambda_{poliest}} + R_{tijolo\ 15} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{se} \quad [2.3]$$

$$R_{t,pared\ ext} = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,27 + 0,17 + \frac{0,03}{0,037} + 0,39 + \frac{0,02}{1,3} + 0,04 = 1,84 (m^2^\circ C)/W$$

$$U_{par.ext.} = \frac{1}{R_{t,pared\ ext}} = 0,543 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Pode observar-se que a parede exterior não satisfaz os requisitos mínimos exigidos por lei, como:

$$U_{Par.ext.} = 0,543 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} > 0,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = U_{max,par.ext.} \rightarrow \text{Não verifica}$$

Teremos de fazer uma série de correções nesta parede para viabilizar a construção da casa, encontrando a espessura mínima do isolamento térmico que verifica os requisitos exigidos, uma vez que estamos interessados em tornar o nosso projeto o mais económico possível.

A primeira correção que faremos será aumentar a espessura do isolante térmico em um centímetro, para isso, temos de reduzir a espessura da caixa de ar, que agora mede 1 cm. Porque este é um valor muito pequeno podemos desprezar a resistência térmica,  $R_{ar}$ , nos cálculos do novo coeficiente de transmissão de calor.

$$R'_{t,pared ext} = R_{si} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo 11} + \frac{e_{poliest}}{\lambda_{poliest}} + R_{tijolo 15} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{se}$$

$$R'_{t,pared ext} = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,27 + \frac{0,04}{0,037} + 0,39 + \frac{0,02}{1,3} + 0,04 = 1,94 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$$

$$U'_{Par.ext.} = \frac{1}{R'_{t,pared ext}} = 0,514 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$U'_{Par.ext.} = 0,514 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} > 0,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = U_{max,par.ext.} \rightarrow \text{Não verifica}$$

Uma vez que, após a primeira correção, ainda não verificamos os requisitos mínimos, temos de alterar mais uma vez a composição da parede exterior. Neste caso, aumentaremos a camada isolante um centímetro mais do que a correção anterior, agora mede 5 cm e podemos ter as mesmas considerações com a resistência térmica da caixa de ar.

$$R''_{t,pared ext} = R_{si} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo 11} + \frac{e_{poliest}}{\lambda_{poliest}} + R_{tijolo 15} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{se}$$

$$R''_{t,pared ext} = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,27 + \frac{0,05}{0,037} + 0,39 + \frac{0,02}{1,3} + 0,04 = 2,21 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$$

$$U''_{Par.ext.} = \frac{1}{R''_{t,pared ext}} = 0,452 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$U''_{Par.ext.} = 0,452 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} < 0,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = U_{max,par.ext.} \rightarrow \text{Verifica}$$

Finalmente aumentando em 2 centímetros a espessura da camada de poliestireno conseguimos o que procurávamos ao menor preço possível.

### **Parede em contacto com edifício adjacente**

Para conhecer o coeficiente de transmissão máximo de uma parede opaca vertical em contacto com um edifício adjacente ( $b_{tr} < 0.7$ ) deve ir para a tabela I05A.

$$U_{max,par.adj.} = 2,0 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ao calcular a resistência térmica desta parede procederemos da mesma forma à secção anterior, uma vez que os materiais e a espessura destes são os mesmos. Há apenas uma exceção, neste caso não há material em contacto com o exterior, então a resistência térmica do ar exterior será substituída pela do ar interior, deixando os cálculos da seguinte forma:

$$R_{t,pared\ adj} = R_{si} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo\ 11} + R_{ar} + \frac{e_{poliest}}{\lambda_{poliest}} + R_{tijolo\ 15} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{si} \quad [2.4]$$

$$R_{t,pared\ adj} = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,27 + 0,17 + \frac{0,03}{0,037} + 0,39 + \frac{0,02}{1,3} + 0,13 = 1,93 \text{ (m}^2\text{C)/W}$$

$$U_{Par.\ adj.} = \frac{1}{R_{t,pared\ adj.}} = 0,52 \frac{W}{m^2\text{C}}$$

$$U_{Par.adj.} = 0,543 \frac{W}{m^2\text{C}} < 2 \frac{W}{m^2\text{C}} = U_{max,par.adj.} \rightarrow \text{Verifica}$$

Verificamos que esta parede está em conformidade com os requisitos impostos pela legislação, pelo que não é necessária qualquer correção.

### **Cobertura**

A cobertura inclinada corresponde a um elemento opaco horizontal em contacto com o exterior, que de acordo com a tabela I05B tem um valor de:

$$U_{max,cobertura} = 0,40 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Voltando ao ANEXO I do LNEC\_ITE\_50 obtemos os valores das resistências térmicas do ar interior e exterior, bem como os valores da condutividade térmica que compõem o telhado da casa.

$$\lambda_{estruque} = 0,13 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} ; \lambda_{betao} = 0,037 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} ; \lambda_{poliest.} = 0,037 \text{ W/(m}^2\text{C)}$$

$$R_{si} = 0,10 \text{ (m}^2\text{°C)/W}$$

Calculamos a resistência térmica e o coeficiente de transmissão de calor:

$$R_{t,cobertura} = R_{si} + \frac{e_{estruque}}{\lambda_{estruque}} + \frac{e_{betao}}{\lambda_{betao}} + \frac{e_{poliest}}{\lambda_{poliest}} + R_{si} \quad [2.5]$$

$$R_{t,cobertura} = 0,1 + \frac{0,02}{0,13} + \frac{0,2}{2} + \frac{0,08}{0,037} + 0,1 = 2,61 \text{ (m}^2\text{°C)/W}$$

$$U_{cobertura} = \frac{1}{R_{t,cobertura}} = 0,38 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$U_{cobertura} = 0,38 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} < 0,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} = U_{cobertura} \rightarrow \text{Verifica}$$

Depois de então, cumprimos os objetivos, tanto térmicos como económicos, propostos.

### **Envidraçados**

No caso das janelas, devemos ter em conta a estação em que estamos para analisar os requisitos mínimos que precisamos de verificar.

Na estação de aquecimento a verificação é mais simples e consiste em verificar se o coeficiente de transmissão de calor,  $U_{wdn}$ , para uma janela de vidro duplo de 6mm + 16mm + 5mm com caixilharia de PVC e portadas interiores de madeira (anexo III LNEC\_ITE\_50) não excede o coeficiente máximo de transmissão fornecido pelo quadro I.05A do documento portaria n.o 379-A/2015. Verificamos que cumpre eficazmente os requisitos mínimos estabelecidos.

$$U_{wdn} = 2,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} < 2,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} = U_{wd,max} \rightarrow \text{Verifica}$$

Para a estação de arrefecimento, será necessário analisar um a um todas as janelas da casa. No entanto, existem também algumas exceções, não precisará de verificar:

- As janelas viradas para norte (N), nordeste (NE) e noroeste (NW).
- Janelas cuja área é inferior a 5% da área de parede em que está localizada. Além disso, haverá dois tipos de verificações dependendo das dimensões das janelas e das paredes em que estão localizadas.

Antes de analisar as janelas da nossa casa, alguns conceitos introdutórios são brevemente explicados:

- Inércia térmica ( $It$ ): a capacidade de certos elementos de construção para armazenar calor, conservá-lo e soltá-lo de forma gradual, permitindo uma menor utilização de sistemas de aquecimento mecânico e até mesmo de arrefecimento.
- Fator solar total ( $g_T$ ): fração de sol que entra do lado de fora para o interior da casa. No nosso caso, temos um vidro duplo. Quando o vidro não é corrente, é necessário corrigir o valor do fator solar da seguinte forma:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad [2.6]$$

$g_{\perp,vi}$  - Fator solar de janela com protecção solar permanente ou móvel com incidência normal.

$g_{Tvc}$  - Fator solar de um vidro para uma incidência normal à janela de acordo com o fabricante.

- Fator de sombreamento ( $F_S$ ) redução da radiação que afeta devido à sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, tais como elementos externos, tais como outros edifícios, vegetação, orografia... ou por elementos do próprio edifício, tais como grades ou sistemas externos de protecção solar.

$$F_S = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad [2.7]$$

$F_h$  - Obstruções causadas por outro edifício ou por outros elementos do edifício.

$F_o$  - Obstruções causadas por elementos horizontais localizados na janela.

$F_f$  - Obstruções causadas por elementos verticais localizados na janela.

A verificação que as janelas devem obedecer se a área dos envidraçados for inferior a 15% da área do compartimento em que se encontram, é a seguinte:

$$g_{\perp,vi} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\perp,vi,max} \quad [2.8]$$

No caso de a área dos envidraçados exceder 15% da área total do compartimento, temos de aplicar uma correção à fórmula e, por isso, temos de:

$$g_{\perp,vi} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\perp,vi,max} \cdot \frac{0,15}{A_{envid}/A_{compartimento}} \quad [2.9]$$

Analisamos na tabela seguinte as dimensões de cada uma das janelas viradas a sul, uma vez que as restantes estão viradas para norte e, como mencionado acima, não necessitam de verificação:

Tabela 2.14 - Verificação das envidraçados.

Janela	Orientação	Compart.	Área da Janela [m <sup>2</sup> ]	Área do Comp. [m <sup>2</sup> ]	Ajan./A. Comp	Obs
1	S	Quarto 3	6,84	23,4	0,29	> 0.15 A correção aplica-se
2	S	WC1	1,4	8	0,175	> 0.15 A correção aplica-se
3	S	WC2	0,18	6	0,03	<0.05 Não é necessária nenhuma verificação
4	S	Sala de estar	7,35	30,8	0,24	> 0.15 A correção aplica-se

Uma vez que sabemos qual a inequação que é necessário verificar, procedemos ao cálculo dos elementos que a compõem, que se encontram em tabelas em diferentes documentos de consulta.

A fração solar máxima permitida pela legislação pode ser encontrada *no documento portaria n.o 379-A/2015* pode verificar-se que para uma forte inércia térmica (o caso caso mais corrente) numa zona climática I1:

$$g_{T,max} = 0,56$$

Uma vez que não é indicado que existe qualquer elemento de proteção solar externa nas janelas que obstrua a entrada de luz na casa, o valor de  $F_o$  e de  $F_f$  assume um valor igual à unidade. Todavia, ao tratar dos cálculos é de notar que o produto de ambos os fatores corresponde a:

$$F_o \cdot F_f = 0,9$$

Voltamos agora para a Tabela 17 do *Documento Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013* para conhecer os valores da fração solar do vidro utilizado em todas as janelas da casa:

Tabela 2.15 - Classificação do fator solar do vidro.

vidro		$g_{L,vi}$
Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,75
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35

$$g_{L,vi} = 0,75$$

Agora é necessário verificar qual o fator solar do vidro com as portas interiores de madeira de cor clara. Como o fator solar do visro é 0,75, trata-se de um vidro corrente, pelo que podemos ler diretamente na tabela o valor do fator solar do vidro com a proteção que é 0,35.

Tabela 2.16 - Fator solar de janela com proteção solar permanente ou móvel com incidência normal.

Tipo de Proteção		g <sub>vis</sub>					
		Vidros Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Perfilaria de vigas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Fatoro veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Fatoro veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Fatoro de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Postais opacos	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Perfilaria	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Continuamos a verificar se cada uma das janelas cumpre os requisitos mínimos exigidos por lei. Todos eles terão de utilizar a correção na fórmula, exceto a janela 3, que, devido às suas pequenas dimensões, não necessita de verificação.

- Janela 1:

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\perp,vi,max} \cdot \frac{0,15}{A_{envid}/A_{compart}}$$

$$0,35 \cdot 0,9 \leq 0,56 \cdot \frac{0,15}{0,29} \Rightarrow 0,315 \leq 0,269 \Rightarrow \text{Nao verifica}$$

- Janela 2:

$$g_{\perp,vi} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\perp,vi,max} \cdot \frac{0,15}{A_{envid}/A_{pared}}$$

$$0,35 \cdot 0,9 \leq 0,56 \cdot \frac{0,15}{0,175} \Rightarrow 0,315 \leq 0,446 \Rightarrow \text{Verifica}$$

- Janela 4:

$$g_{\perp,vi} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\perp,vi,max} \cdot \frac{0,15}{A_{envid}/A_{pared}}$$

$$0,35 \cdot 0,9 \leq 0,56 \cdot \frac{0,15}{0,24} \Rightarrow 0,315 \leq 0,325 \Rightarrow \textit{Verifica}$$

Na janela da sala, os requisitos mínimos não são atendidos, sendo necessária uma correção. Pode ser, por exemplo, o uso de proteções externas, como cortinas pretas claras, onde  $g_T = 0,04$  e, portanto, a verificação agora seria:

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\perp,vi,max} \cdot \frac{0,15}{A_{envid}/A_{compart}}$$

$$0,04 \cdot 0,9 \leq 0,56 \cdot \frac{0,15}{0,29} \Rightarrow 0,036 \leq 0,269 \Rightarrow \textit{Verifica}$$

Agora podemos dizer que todas as janelas estão de acordo com a legislação.

### **Vigas e Pilares**

Os últimos elementos de construção a estudar são os pilares e vigas da casa. Estas são pontes térmicas planas.

Uma ponte térmica é uma área do edifício onde o fluxo de calor varia, muda de direção, causada por uma mudança de forma ou uma mudança de material na composição do envelope. Em geral, trata-se de áreas com maiores perdas de energia do que as restantes.

A lei portuguesa exige que, para todos estes tipos de elementos, o coeficiente de transmissão de calor não exceda o valor de

$$U_{p,v,máx} = 0,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Os valores das resistências térmicas do bloco de tijolos, os do ar exterior e interior, bem como a condutividade térmica dos materiais que compõem os pilares e vigas a estudar, podem ser obtidos a partir do anexo III do ITE\_LNEC\_50.

$$\lambda_{reboco} = 0,13 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}; \lambda_{betão} = 2,0 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}; \lambda_{poliest.} = 0,037 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$$

$$R_{si} = \frac{0,13(m^2 \cdot ^\circ C)}{W}; R_{se} = \frac{0,04(m^2 \cdot ^\circ C)}{W}; R_{tijolo \gamma} = 0,19(m^2 \cdot ^\circ C)/W$$

Procedemos agora ao cálculo das resistências térmicas e coeficientes destes elementos de construção, tendo em conta a composição destes elementos, para verificar se estão de acordo com os requisitos mínimos estabelecidos.

$$R_{t,p,v} = R_{si} + \frac{\epsilon_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo} + \frac{\epsilon_{poliest}}{\lambda_{poliest}} + \frac{\epsilon_{betao}}{\lambda_{betao}} + \frac{\epsilon_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{se} \quad [2.10]$$

$$R_{t,p,v} = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,19 + \frac{0,03}{0,037} + \frac{0,2}{2,0} + \frac{0,03}{1,3} + 0,04 = 1,31(m^2\text{°C})/W$$

$$U_{p,v} = \frac{1}{R_{t,p,v}} = 0,76 \frac{W}{m^2 \cdot \text{°C}}$$

$$U_{p,v} = 0,76 \frac{W}{m^2 \cdot \text{°C}} < 0,9 \frac{W}{m^2 \cdot \text{°C}} = U_{p,v,max} \rightarrow \text{Verifica}$$

Não será necessário fazer alterações nas dimensões da espessura dos materiais que compõem as vigas e pilares, uma vez que estão de acordo com a legislação indica.

#### 2.5.4 Perdas e ganhos de energia na estação de aquecimento

Para analisar plenamente as necessidades energéticas de um edifício, é necessário saber quais as suas perdas e ganhos energéticos durante a estação de aquecimento.

Na estação de aquecimento da casa, estamos interessados que a temperatura no interior seja 18 °C, então as principais perdas vamos encontrá-las nas paredes que comunicam com o exterior e com o edifício adjacente; no telhado, no pavimento em contacto com o solo e nas janelas e portas. Além disso, haverá perdas de energia associadas à renovação do ar dentro da casa.

Os ganhos energéticos serão dados principalmente pelo sol incidente na casa através das janelas (ganhos solares) e por ganhos internos, como eletrodomésticos e iluminação, que podem existir dentro da casa (ganhos brutos).

O fluxo de calor que se perde através dos elementos de construção em contacto com o exterior e com o solo pode ser calculado como:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad [2.11]$$

Onde  $H_{tr,i}$  é o coeficiente de transferência de transmissão de calor pelo envolvente, nomeadamente paredes, envidraçados, telhados, pisos, pontes térmicas planas e lineares, de forma a calcular as necessidades na época de aquecimento. Este coeficiente resulta da soma de quatro elementos:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/\text{°C}] \quad [2.12]$$

$H_{ext}$ : Coeficiente associado a perdas pelo envelope exterior.  $[W/\text{°C}]$

$H_{enu}$ : Coeficiente associado a perdas para espaços não úteis.  $[W/\text{°C}]$

$H_{adj}$ : Coeficiente associado a perdas de parede em contacto com outros edifícios.  $[W/\text{°C}]$

$H_{ecs}$ : Coeficiente associado a perdas de elementos em contacto com o solo.  $[W/°C]$

No nosso caso, na ausência de espaços não úteis, temos  $H_{enu} = 0$ .

Para o cálculo das perdas associadas à transmissão de calor através da envolvente exterior, temos de ir ao documento *Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013* e calcular os valores dos coeficientes lineares de transmissão térmica associados às ligações das paredes exteriores, ( $\psi$ ). Também teremos de medir dentro do edifício ao comprimento de contacto de cada ponte térmica linear ( $B$ ). Os valores de área e os coeficientes de transmissão de calor são obtidos a partir dos calculados em secções anteriores.

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad [2.13]$$

Tabela 2.17 - Perdas associadas à Parede Exterior.

Paredes Exteriores	Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> °C)]	U.A [W/ °C]
PAREDE EXTERIOR	113,87	0,43	48,39
PILARES	1,36	0,53	0,72
PORTA	3,30	2,00	6,60
VIGAS	7,30	0,76	5,54
<b>TOTAL</b>	<b>115,23</b>		<b>61,26</b>

Tabela 2.18 - Perdas associadas à Cobertura Exterior  $[W/°C]$ .

Coberturas Exteriores	Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> °C)]	U.A [W/ °C]
Cobertura	76,6	0,327	25,05
<b>TOTAL</b>	<b>76,6</b>		<b>25,05</b>

Tabela 2.19 - Perdas associadas aos envidraçados Exteriores.

Vãos envidraçados exteriores	Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	U·A [W/ °C]
Verticais:			
QUARTO	8,24	2,40	19,78
SALA	7,35	2,40	17,64
COZINHA	4,38	2,40	10,51
WC	1,58	2,40	3,79
<b>TOTAL</b>	<b>21,55</b>		<b>51,72</b>

Tabela 2.20 - Perdas associadas às pontes térmicas lineares.

Pontes térmicas lineares	B [m]	ψ [W/m·°C]	ψ·B [W/°C]
Fachada com os pavimentos térreos	38,30	0,80	30,64
Fachada com pavimentos intermédios	77,60	0,50	38,80
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	39,30	1,00	39,30
Duas paredes verticais	20,44	0,50	10,22
Fachada com caixilharia	51,62	0,25	12,91
<b>TOTAL</b>	<b>227,26</b>	<b>3,05</b>	<b>131,87</b>

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] = 269,89 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Da mesma forma, mas para o coeficiente de perdas de parede em contacto com edifícios adjacentes, teremos:

$$H_{adj} = b_{tr} \sum_i [U_i \cdot A_i] \quad [2.14]$$

Tabela 2.21 - Perdas associadas à paredes em contacto com edifício adjacente.

Paredes em contacto com edifícios adjac.	Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	btr	btr.U.A [W/°C]
PAREDE PARA EDIFÍCIO ADJACENTE	70,98	0,52	0,60	22,15
PILARES PARA EDIFÍCIOS ADJACENTES	1,36	0,53	0,60	0,43
VIGAS PARA EDIFÍCIOS ADJACENTES	5,56	0,53	0,60	1,77
<b>TOTAL</b>	<b>77,9</b>			<b>24,35</b>

$$H_{adj} = b_{tr} \sum_i [U_i \cdot A_i] = 24,35 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Finalmente, para conhecer as perdas que ocorrem por pavimentos em contacto com o solo, devemos calcular  $H_{ecs}$  como:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf,i} \cdot A_i] + \sum_j [z_j \cdot P_j \cdot U_{bf,i}] \quad [2.15]$$

Onde  $z_j$  representa a profundidade média da parede enterrada no chão, que no caso da nossa casa é zero, uma vez que não há nenhuma secção de parede enterrada, pelo que a equação é simplificada estando em forma:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf,i} \cdot A_i] \quad [2.16]$$

Tabela 2.22 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico.

B'	z ≤ 0,5 m				0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m			
	R <sub>f</sub> [(m <sup>2</sup> ·°C)/W]				R <sub>f</sub> [(m <sup>2</sup> ·°C)/W]				R <sub>f</sub> [(m <sup>2</sup> ·°C)/W]			
	0,5	1	2	≥3	0,5	1	2	≥3	0,5	1	2	≥3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,3	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,2	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
≥20	0,22	0,21	0,16	0,13	0,21	0,18	0,15	0,13	0,20	0,18	0,15	0,13

B'	z ≤ 0,5 m				0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m			
	2,0 m < z ≤ 3,0 m				z > 3 m							
	R <sub>f</sub> [(m <sup>2</sup> ·°C)/W]				R <sub>f</sub> [(m <sup>2</sup> ·°C)/W]							
	0,5	1	2	≥3	0,5	1	2	≥3				
3	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,20				
4	0,42	0,34	0,25	0,20	0,36	0,30	0,23	0,19				
6	0,36	0,30	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17				
10	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15				
15	0,22	0,20	0,16	0,14	0,20	0,18	0,15	0,13				
≥20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12				

O coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado é calculado com base na tabela 2.22 do documento Despacho (extrato) n.o 15793-K/2013:

$$B' = \frac{Ap}{0,5 \cdot P} [m] \quad [2.17]$$

$$Ap = 74,8 \text{ m}^2 \text{ (área em contacto con suelo)}$$

$$P = 2 \cdot 5,95 + 2 \cdot 13,7 = 38,24 \text{ m (perímetro del pavimento en contacto con el suelo)}$$

$$B' = \frac{Ap}{0,5 \cdot P} = 3,8 \text{ m}$$

$$z = 0,75 \text{ m} R_f = \frac{e_{\beta_{tao}}}{\lambda_{\beta_{tao}}} = 0,3 < 0,15 \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2\text{)}/\text{W}$$

Interpolando para B' entre 3 e 4 metros temos

$$U_{rf} = 0,53 \text{ W}/(\text{}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2)$$

$$U_{bf} = 1,1 \cdot U_{rf} = 1,1 \cdot 0,53 = 0,58 \text{ W}/(\text{}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2)$$

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf,i} \cdot A_i] = 0,58 \cdot 74,80 = 43,61 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Ao recolher os dados das secções anteriores calculamos o coeficiente de transmissão pela envolvente:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{adj} + H_{ecs} = 269,89 + 24,35 + 43,61 = 341,76 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Em seguida, o fluxo de calor que se perde através dos elementos de construção em contacto com o exterior, com o edifício adjacente e com o terreno terá um valor de:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} = 0,024 \cdot 1124 \cdot 341,76 = 9219,32 \text{ kW/año}$$

Outro fluxo de calor pelo qual perdemos energia na estação de aquecimento deve-se à renovação do ar do interior, este fluxo é calculado pela seguinte equação:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad [2.18]$$

Para conhecer o coeficiente de transferência de calor precisamos de saber qual é a área interior útil do pavimento e  $A_p$  e o Pé direito médio do edifício  $P_d$  que são respectivamente:

$$A_p = 156,32 \text{ m}^2 \quad P_d = 3,3 \text{ m}$$

Além disso, é necessário calcular a taxa nominal horária de renovação do ar ( $R_{ph}$ ), de acordo com o documento LNEC sobre ventilação.

Tabela 2.23 - Cálculo do Rph

Balanco de Energia – Edifício	
$R_{ph,i} (h-1)$ – Aquecimento	0,44
$R_{ph,v} (h-1)$ – Arrefecimento	0,60
$R_{ph,i,REF} (h-1)$	0,44
Caudal mínimo de ventilação	
Rph estimado em condi'ões nominais (h-1)	0,44
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40
Mínimo de Critério Rph	Satisfatório

$$R_{ph} = 0,44h^{-1}$$

Com tudo isto podemos calcular o fluxo de calor que se perde devido à renovação do ar:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d = 0,44 \cdot 156,32 \cdot 3,3 = 78,93 [W/^{\circ}C]$$

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} = 0,024 \cdot 1124 \cdot 78,93 = 2129,22 kWh/año$$

Nesta estação, podemos aproveitar o calor da luz solar que entra através das janelas e usar como aquecimento para compensar as perdas já calculadas e assim por processos naturais ajudar a obter uma temperatura adequada dentro da casa

Os ganhos internos resultam do fluxo de calor que existe devido aos equipamentos, à iluminação e as pessoas que ocupam a casa.

A fórmula que consideraremos é:

$$Q_{int,i} = 0,720 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad [2.19]$$

$$0,720 = 30 \text{ días} \cdot 24h/1000$$

$q_{int} = 4 W/m^2$  (ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil do pavimento)

$$A_p = 156,3 m^2 (\text{área útil del pavimento})$$

$$M = 6 \text{ meses} (\text{meses do ano no que consideramos ser a estação do Inverno})$$

Com tudo isto podemos calcular o fluxo de calor bruto dos ganhos internos:

$$Q_{int,i} = 0,720 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p = 0,720 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 156,3 = 2701,21 kW/ano$$

Teremos agora que determinar o fluxo de energia solar que aproveitamos para compensar as perdas de calor.

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot M \cdot X_i \sum_j [X_i \cdot \sum (F_{s,i} \cdot A_{s,i})] \quad [2.20]$$

$G_{sul}$  → Incidente médio de energia solar numa superfície vertical virada a sul da área da unidade durante a temporada de inverno ( $kWh/m^2$ ).

$X_i$  → Factor de orientação para as diferentes exposições (obtido a partir do quadro 01 do despacho de despacho (extrato) n.º 15793-J/2013.

Tabela 2.24 - Fator de orientação para as diferentes exposições.

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
$X_j$	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

$F_{s,i}$  - Fator de obstrução da secção envidraçada

$A_{s,i}$  - Área coletora de radiação solar

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i$$

$A_w$  → Área total da janela

$g_i$  → Fator solar de vidro não protegido, já que estamos interessados em maximizar o aproveitamento da energia solar. Este fator resulta do fator solar do vidro para uma incidência perpendicular ao vão,  $g_{\perp v}$  multiplicado pelo fator de seletividade angular,  $F_{w,i}$  que nesta estação assume sempre o valor de 0,9.

$F_g$  - Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com o despacho que procede à publicação dos parâmetros térmicos

Tabela 2.25 - Cálculo ganhos solares inverno.

Orient.	Designação do vão envidraçado	Área [m <sup>2</sup> ]	Factor de orientação X [-]	Factor Solar do vidro g [-]	Factor de Obstrução Fh.Fo.Ff Fs [-]	Fracção Envidraçada Fg [-]	Factor de Sel. Angular Fw [-]	Área Efectiva Ae [m <sup>2</sup> ]
S	SALA	7,35	1,00	0,75	0,40	0,65	0,90	1,29
S	WC1	1,40	1,00	0,75	0,40	0,65	0,90	0,25
S	WC 2	0,18	1,00	0,75	0,40	0,65	0,90	0,03
S	QUARTO 3	1,40	1,00	0,75	0,40	0,65	0,90	0,25
N	COZINHA	4,38	0,27	0,75	1,00	0,65	0,90	0,52
N	QUARTOS 1 E 2	6,84	0,27	0,75	1,00	0,65	0,90	0,81

Considerando todos estes valores para cada uma das janelas da casa e fazendo os cálculos relevantes obtemos os ganhos solares pelos envidraçados:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot M \cdot X_i \sum_j [X_j \cdot \sum (F_{s,i} \cdot A_{s,i})] = 2450,81 \text{ kWh/ano}$$

Para calcular os ganhos úteis totais da nossa casa, é suficiente para somar o fluxo de calor devido aos ganhos internos e o produzido pelo sol incidente nas janelas e multiplicá-lo pelo fator de utilização de ganhos térmicos,  $\eta_i$ .

Este fator de utilização depende da inércia térmica e da relação entre os ganhos brutos da habitação e as perdas que apresenta ( $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$ ).

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento}} = \frac{Q_{g,i}}{Q_{tr,i} + Q_{ve,i}} = 0,48$$

$$\left. \begin{array}{l} \left( \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \right) \Leftrightarrow \gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 1 \\ \left. \right\} \frac{a}{a+1} \Leftrightarrow \gamma = 1 \\ \left( \frac{1}{\gamma} \right) \Leftrightarrow \gamma < 1 \end{array} \right\}$$

No nosso caso, considerando as soluções construtivas propostas, consideramos uma forte inércia térmica, por isso vamos ter um parâmetro  $a$  com um valor de 4.2.

Com tudo isto encontramos o fator de utilização e o fluxo de calor útil que aproveitamos para aquecer o interior da casa:

$$\eta = 0,98$$

$$Q_{int,uteis,i} = \eta \cdot (Q_{int,i} + Q_{sol,i}) = 0,98 \cdot (2701,21 + 2450,81) = 5024,16 \text{ kWh}$$

### 2.5.5 Cálculo do indicador Nic e verificação regulamentar

De acordo com a norma europeia EN ISO 13790, as necessidades de aquecimento de um edifício devem ser determinadas tendo em conta que cada edifício e/ou fração autónoma do edifício devem ser considerados como uma única área, com as mesmas condições internas de referência.

Para calcular as necessidades totais utilizaremos o  $N_{ic}$  indicador, que depois compararemos com o indicador,  $N_i$  que é calculado com base em valores máximos nominais, para saber se o nosso edifício cumpre os valores regulamentares e pode assim realizar o projeto.

A fórmula a seguir para calcular o indicador de necessidades de aquecimento é:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{int,uteis,i})}{A_p} \quad [2.21]$$

Realização dos cálculos relevantes:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{int,uteis,i})}{A_p} = 40,30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

De acordo com o (extrato) n.º 15793-I/2013, a fim de realizar um projeto de construção de uma casa, deve ser verificado que as necessidades energéticas úteis para o aquecimento, representadas no valor do índice  $N_{ic}$ , não podem exceder um valor máximo representado pelo indicador  $N_i$ .

A fórmula deste último indicador é análoga à do  $N_{ic}$  mas, neste caso, devem ser utilizados determinados valores de referência, que dependem da zona climática em que estamos localizados:

Tabela 2.26 - Valores de referência de U de acordo com a zona climática e o elemento construtivo a estudar.

Uref			
$\left[\frac{W}{m^2} \cdot ^\circ C\right]$			
	I1	I2	I3
PAREDES EXTERIORES E PARA ENU COM btr > 0,7	0,5	0,4	0,35
COBERTURAS AO AR LIVRE/PAVIMENTOS E PARA ENU COM btr > 0,7	0,4	0,35	0,3
PAREDES INTERIORES E PARA ENU COM btr ≤ 0,7	0,8	0,7	0,6
COBERTURAS/PAVIMENTOS INTERIORES E PARA ENU COM btr ≤ 0,7	0,6	0,6	0,5
ENVIDRAÇADOS	2,8	2,4	2,2
ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO	0,5	0,5	0,5

$$N_i = \frac{(Q_{tr,ref,i} + Q_{ve,ref,i} - Q_{int,ref,uteis,i})}{A_p} \quad [2.22]$$

$$Q_{tr,ref,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot \sum_i [U_{ref,i} \cdot A_i] + \sum_j [\psi_{ref,j} \cdot B_j] \quad [2.23]$$

$$Q_{ve,ref,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,ref,i} = 0,024 \cdot GD \cdot 0,34 \cdot R_{ph,ref} \cdot A_p \cdot P_d \quad [2.24]$$

$$Q_{ganos\ uteis,ref,i} = (Q_{sol,ref,i} + Q_{int,ref,i}) \cdot \eta_{ref} \quad [2.25]$$

$$Q_{sol,ref,i} = G_{sul} \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot A_p \cdot M \quad [2.26]$$

$$Q_{int,ref,i} = Q_{int,i} \quad [2.27]$$

$$\eta_{ref} = 0,6$$

Perdas por transmissão pela envolvente exterior e ECS					
	Uref (W/m <sup>2</sup> ·°C)		A m <sup>2</sup>	Uref.A (W/°C)	
Paredes exteriores	0,50		115,23	57,62	
Coberturas exteriores	0,40		76,60	30,64	
Envidraçados exteriores Aenv > 0,2*Ap	2,80		21,55	60,34	
Pavimento Têrreo ECS	0,50		81,52	40,76	
			<b>TOTAL</b>	<b>189,35</b>	
Pontes térmicas lineares					
	Yref (W/m·°C)		B (m)	Yref.B (W/°C)	
Fachada / pav.terreo + pav.sobre ext ou LNU + cod + pav.int + varanda	0,50		155,20	77,60	
2 Paredes Verticais	0,40		20,44	8,18	
Fachada com caixilharia e caixa de estore	0,20		51,62	10,32	
			<b>TOTAL</b>	<b>96,10</b>	
(Hexts + Hecs)ref- Coeficiente de transferência de calor para EXT e ECS da Fracção Autónoma (W/°C)					
			<b>TOTAL</b>	<b>285,45</b>	
Paredes para Edifícios Adjacentes					
PAREDE PARA EDIFÍCIO ADJACENTE	70,98	0,80	0,60	34,07	
	70,98		<b>TOTAL</b>	<b>34,07</b>	
(Henu+Hadj)ref- Coeficiente de transferência de calor para ENU e edifícios adjacentes da Fracção Autónoma (W/°C)					
			<b>TOTAL</b>	<b>34,07</b>	
Perdas por renovação de ar					
	Rph,i	Req.	Rph,i ref	V	0,34*Y*Rph,iref
Hvent =	0,45	≤ 0,6	0,45	515,86	78,93
Graus-dias no local (°C.dia)					
				1124	
Qtr,i,ref		0,024 x GD x Htr,i,ref			8619,37
Qve,i,ref		0,024 x GD x Hve,i,ref			2129,11
Qint		0,72 x 4 x M x Ap			2701,21
Gsol,ref		Gsolx0.146x0.15*Ap*M			2670,26
Qgu,i,ref	niref=0,6		niref (Qint + Qsol)		3222,88

Figura 2.9 - Cálculo do Ni.

$$N_i = \frac{(Q_{tr,ref,i} + Q_{ve,ref,i} - Q_{int,ref,uteis,i})}{A_p} = 48,14 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$$

$$N_{ic} = 40,30 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano} < 48,14 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano} = N_i$$

Finalmente, podemos dizer que a habitação que queremos construir não excede as necessidades máximas de aquecimento estabelecidas pela legislação portuguesa. Vamos verificar se acontece o mesmo na temporada de verão.

### 2.5.6 Perdas e ganhos de energia na estação de arrefecimento

Procedemos então à realização dos cálculos semelhantes aos anteriores, mas neste caso para a estação que consideramos como verão, uma vez que o que é procurado neste caso é manter a casa permanentemente a uma temperatura de 25°C.

Neste caso temos também um fluxo de calor de ganhos solares, tanto pelas paredes exteriores opacas como pelas janelas, bem como um de ganhos internos e outro de perdas, através de paredes exteriores, pavimento em contacto com o solo e por ventilação.

Durante a estação de arrefecimento, a temperatura média exterior é 20,9 °C inferior à temperatura de conforto interior definida como 25 °C. Assim, devido ao efeito da temperatura existirão perdas de energia que serão determinadas de forma semelhante à da estação de aquecimento. A única diferença que existe é que agora na equação de perdas teremos em conta a diferença na temperatura média exterior e a temperatura de referência (25°C) em vez dos Graus-Dias referidos ao inverno.

Além disso, a taxa de ventilação do ar interior aumentará para um valor mínimo de 0,6 h<sup>-1</sup> e. Todos os outros coeficientes de transmissão de calor devem permanecer invariantes.

Assim, aplicando a fórmula e realizando os cálculos relevantes que temos:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (25 - \theta_{ext}) = 304,68 \text{ kWh}$$

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (25 - \theta_{ext}) = 105,23 \text{ kWh}$$

$$Q_{perdas,v} = Q_{tr,v} + Q_{ve,v} = (H_{tr,v} + H_{ve,v}) \cdot (25 - \theta_{ext}) \quad [2.28]$$

$$Q_{perdas,v} = (304,68 + 105,23) \cdot (25 - 20,9) = 5073,85 \text{ kWh}$$

Para o cálculo dos ganhos solares pela envolvente opaca, teremos em conta as paredes exteriores opacas, portas, vigas e pilares exteriores, bem como a cobertura. Utilizando a seguinte fórmula:

$$Q_{sol,opac,v} = \sum_j I_{sol} [\sum F_{s,v} \cdot A_{s,v}] \quad [2.29]$$

$$A_{s,v} = \alpha \cdot U \cdot A_p \cdot R_{se} \quad [2.30]$$

$R_{se}$  → Resistência térmica do ar exterior (anexo I do LNEC)

$\alpha$  → O coeficiente de absorção da radiação solar depende da cor do revestimento exterior da superfície e é tabulado no Despacho (*extrato*) n.º 15793-K/2013. No nosso caso, temos um revestimento de cores claras.

Tabela 2.28 - Coeficiente de absorção da radiação solar,  $\alpha$

Cor	$\alpha$
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Tabela 2.27 - Ganhos solares pela envolvente opaca exterior.

Designação	Orientação	A [m <sup>2</sup> ]	U [W /m <sup>2</sup> °C]	$\alpha$	F	Ir [kWh/m <sup>2</sup> ]	Rse [m <sup>2</sup> °C/W]	Factor de sombreamento (opcional)	G. Sol. Envolvente Opaca Ex. [kWh]
Parede N	N	17,75	0,43	0,4	1	220	0,04	1	26,87
Parede E	E	72,6	0,43	0,4	1	490	0,04	1	244,75
Parede S	S	23,53	0,43	0,4	1	425	0,04	1	68,80
Cobertura	H	74,8	0,33	0,4	0,8	800	0,04	1	535,76
Pilares E	E	1,36	0,53	0,4	1	220	0,04	1	2,54
Vigas N	N	0,98	0,53	0,4	1	490	0,04	1	4,07
Vigas S	S	1,11	0,53	0,4	1	220	0,04	1	2,07
Vigas E	E	5,21	0,53	0,4	1	490	0,04	1	21,65
Porta		3,3	2	0,4	1	220	0,04	1	23,23
<b>TOTAL</b>									<b>646,74</b>

$$Q_{sol,opac,v} = 646,74 \text{ kWh}$$

Para quantificar os ganhos pelos envidraçados a expressão de cálculo a utilizar é a mesma da envolvente opaca:

$$Q_{sol,env,v} = \sum_j I_{SOL} [\sum F_{S,V} \cdot A_{S,V}] \quad [2.31]$$

$$A_{S,V} = A_W \cdot F_g \cdot g_v \quad [2.32]$$

Os diferentes fatores de sombreamento são tabelados no documento Despacho (*extrato*) n.o 15793-K/2013 e dependerão da orientação e tipo de proteção utilizados em cada janela. Estes fatores já foram apresentados no capítulo 1, relativo à verificação dos requisitos para os envidraçados.

O fator tempo em que a proteção móvel será ativada,  $F_{mv}$ , aparece agora nos cálculos relativos aos ganhos solares pelos envidraçados. Ao contrário do inverno, o que nos interessa agora é minimizar a entrada de energia solar pelos envidraçados para tentar evitar o sobreaquecimento do interior da casa.

$$g_v = F_{mv} \cdot g_{V+P} + (1 - F_{mv}) F_{w,v} \cdot g_{v\perp} \quad [2.34]$$

Recolhendo todos os valores de áreas, coeficientes e radiação solar de secções anteriores calculamos o fluxo de energia que ganhamos através das janelas.

Tabela 2.29 - Cálculo ganhos solares de envidraçados exteriores

Designação do envidraçado	Orientação	A [m <sup>2</sup> ]	Tipo de vidro	F <sub>g</sub>	F <sub>w,v</sub>	F <sub>mv</sub>	g <sub>t</sub>	g <sub>tp</sub>	g <sub>v</sub>	A <sub>s,v</sub>	Int. De rad na estação de arrefec. [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores [kWh]
Cozinha	N	4,38	Duplo	0,65	0,8	0	0,35	0,75	0,60	1,71	220	375,80
Quarto 1	N	6,84	Duplo	0,65	0,8	0	0,35	0,75	0,60	2,67	220	586,87
Sala	S	7,35	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,35	0,75	0,44	2,08	425	521,11
WC 1	S	1,40	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,35	0,75	0,44	0,40	425	99,26
WC 2	S	0,18	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,35	0,75	0,44	0,05	425	12,76
Quarto 3	S	1,40	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,35	0,75	0,44	0,40	425	99,26
<b>TOTAL</b>												<b>1695,07</b>

$$Q_{sol,env,v} = \sum_j I_{SOL} [\sum F_{S,V} \cdot A_{S,V}] = 375,80 + 586,87 + 521,11 + 99,6 + 12,76 + 99,26$$

$$Q_{sol,env,v} = 1695,07 \text{ kWh/ano}$$

A determinação dos ganhos internos é ao realizada como na temporada de inverno:

$$Q_{int,v} = q_{int} \cdot A_p \cdot 2,928 = 1830,82 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,v} = Q_{sol,env,v} + Q_{sol,opac,v} + Q_{int,v}$$

$$Q_{g,v} = Q_{sol,env,v} + Q_{sol,opac,v} + Q_{int,v} = 4172,63 \text{ kWh}$$

### 2.5.7 Cálculo do indicador $N_{vc}$ e Verificação Regulamentar

As necessidades de arrefecimento da casa estão quantificadas com o indicador  $N_{vc}$  que segue a seguinte fórmula:

$$N_{vc} = Q_{g,v} \cdot (1 - \eta_v) / A_p \quad [2.36]$$

Quando o fator de utilização  $\eta_v$  ( ) for calculado neste caso tendo em conta a inércia térmica e as necessidades energéticas, tal como no inverno.

$$\left. \begin{array}{l} \left( \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \right) \Leftrightarrow \gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 1 \\ \left( \frac{a}{a + 1} \right) \Leftrightarrow \gamma = 1 \\ \left( \frac{1}{\gamma} \right) \Leftrightarrow \gamma < 1 \end{array} \right\}$$

Ganhos Térmicos Totais	4172,63	(kWh)
/		
Perdas Térmicas Totais	5073,85	(kWh)
=		
$\gamma = \text{Ganhos/Perdas}$	$\gamma =$	0,822
Inércia do edifício		Forte
<small>(In. Fraca=1,8; In. Média=2,6; In. Forte=4,2)</small>		
	a =	4,2

Figura 2.10 - Cálculo de  $\gamma$  no verão.

$$\eta_v = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = 0,868$$

$$N_{vc} = Q_{g,v} \cdot \frac{1 - \eta_v}{A_p} = 4172,63 \cdot \frac{1 - 0,868}{156,32} = 3,53 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$$

É necessário verificar se o índice de referência de verão, que indica o valor máximo que as necessidades de energia podem ter numa casa, é maior do que o indicador real.

$$N_v = Q_{g,v,ref} \cdot (1 - \eta_{v,ref}) / A_p \quad [2.37]$$

O fator de utilização  $\eta_{v,ref}$  deve ser calculado neste caso tendo em conta a referência e as temperaturas ao ar livre nesta estação.

$$\begin{aligned} 0,52 + 0,22 \cdot \ln(\Delta\theta) &\Leftrightarrow \Delta\theta > 1 \\ 0,45 &\Leftrightarrow 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,3 &\Leftrightarrow \Delta\theta \leq 0 \end{aligned}$$

$$\Delta\theta = (25 - \theta_{ext,v}) = 4,1$$

O fluxo de calor de referência tem a seguinte expressão:

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = q_{int} \cdot 2,928 \cdot g_{v,ref} \cdot \left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} \cdot I_{SOL,ref} \quad [2.38]$$

$g_{v,ref} = 0,43$  → Fator solar de referência para o verão (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

$\left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} = 0,2$  → Relação das áreas de referência

$q_{int} = 4 \text{ W/m}^2$  (ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil do pavimento)

$$I_{SOL,ref} = I_{SOL,OESTE} = 490 \text{ kW/m}^2$$

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = q_{int} \cdot 2,928 \cdot g_{v,ref} \cdot \left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} \cdot I_{SOL,ref} = 4 \cdot 2,928 \cdot 0,43 \cdot 0,2 \cdot 490 = 8418,14 \text{ kWh}$$

Uma vez calculado o fator de utilização e fluxo de referência, verificamos que, de facto, o edifício está em conformidade com as normas estabelecidas para a estação de arrefecimento da casa:

$$N_v = Q_{g,v,ref} \cdot \frac{1 - \eta_{v,ref}}{A_p} = 8418,14 \cdot \frac{1 - 0,83}{156,32} = 9,13 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$$

$$N_{vc} = 3,27 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano} < 9,13 \frac{kWh}{m^2 \cdot ano} = N_v$$

### 2.5.8 Cálculo das necessidades energéticas para a preparação de água quente sanitária

Esta secção visa calcular a energia útil necessária para preparar água quente sanitária usada pelos habitantes convencionais da casa.

A expressão de tal energia é dada no *Despacho (extrato) n.o 15793-I/2013*:

$$Q_a = (M_{aqs} \cdot 4178 \cdot \Delta T \cdot n_d) / 3600000 \quad [2.39]$$

Onde  $\Delta T$  é o aumento de temperatura necessário para aquecer a água, que, para fins práticos, tem um valor de 35 °C.

$n_d$  é o número anual de dias de consumo de água quente sanitária em edifícios residenciais, considera-se que esta energia é utilizada ao longo do ano, pelo que consideraremos um valor de 365 dias.

O valor do  $M_{aqs}$  é o consumo médio de  $M_{aqs}$  referência que será calculado como

$$M_{aqs} = n \cdot 40 \cdot f_{eh} \quad [2.40]$$

$n$  é o número de ocupantes convencionais da casa, calculado como o número de quartos da casa, neste caso há três quartos, mais um. Então teremos que considerar 4 ocupantes convencionais.

O fator de utilização da eficiência da água,  $f_{eh}$ , leva valores de 0,9 para chuveiros ou sistemas de duche da classe A e superiores e 1 nos restantes casos. No nosso caso, vamos optar pelo caso mais desfavorável em termos energéticos e teremos que  $f_{eh} = 1$ .

O número 40 diz-nos o número de litros de água quente consumida por cada ocupante num edifício residencial.

Assim, com todos estes dados, procedemos ao cálculo da energia necessária para fornecer água quente sanitária:

$$M_{aqs} = n \cdot 40 \cdot f_{eh} = 4 \cdot 40 \cdot 1 = 160 \text{ l}$$

$$Q_a = \frac{M_{aqs} \cdot 4178 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000} = \frac{160 \cdot 4178 \cdot 35 \cdot 365}{3600000} = 2377,99 \text{ kWh/ano}$$

### 2.5.9 Classe energética

O rótulo energético é um meio muito eficaz, utilizado pela União Europeia para ajudar o consumidor a escolher a opção mais sustentável na escolha de uma habitação.

Um aparelho, processo ou instalação é eficiente em termos energéticos quando consome uma quantidade de energia inferior à média para realizar uma atividade. A eficiência energética visa proteger o meio ambiente reduzindo o consumo de energia, a libertação de CO<sub>2</sub> e acostumando o usuário a consumir o que for necessário e não mais.

#### 2.5.9.1 Cálculo das necessidades energéticas primárias ( $N_{tc}$ ) e Verificação Regulamentar (Nt)

Para saber a quantidade de energia primária necessária para satisfazer as necessidades dos habitantes da casa a estudar, será essencial saber quais são os sistemas energéticos utilizados para o aquecimento, arrefecimento, preparação de água quente, bem como o tipo de combustível que cada um utiliza.

No nosso caso, usaremos a mesma caldeira a gás para aquecer a água sanitária e aumentar a temperatura interior durante o inverno. No verão, vamos refrigerar a casa com ar condicionado elétrico.

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \cdot Fpu + \frac{\delta \cdot N_{vc}}{\eta} \cdot Fpu + \frac{Qa/Ap}{\eta} \cdot Fpu + \frac{Wvm}{A_p} \cdot Fpu - \frac{E_{ren}}{A_p} \cdot Fpu \quad [2.41]$$

O fator de conversão de energia útil  $Fpu$  requer valores de 1 para combustíveis gasosos sólidos, líquidos e não renováveis (é o caso da nossa caldeira a gás) e valores de 2,5  $kWh_{EP}/kWh$  (ar condicionado elétrico).

$\eta$  é a eficiência nominal do sistema, que deverá ser fornecido pelo fabricante. No caso de estudo, utilizamos os valores mínimos permitidos para caldeiras e ar condicionado, ou seja,  $\eta_{caldeira} = 0,9$  e  $\eta_{arc} = 3,01$

A energia renovável utilizada na habitação, que no nosso caso será igual a 0, é dada na equação pelo termo  $E_{ren}$ .

$Wvm$  é a energia necessária para o funcionamento dos ventiladores, que nesta casa como a utilização da ventilação mecânica será de uso pontual e, portanto, eliminaremos o termo da equação.

$\delta$  será sempre igual a 1, exceto quando o fator de utilização do verão for maior do que o fator de referência ( $\eta_v > \eta_{v,ref}$ ), que nesse caso,  $\delta = 0$ . Neste caso, deve ser tomado  $\delta = 1$ .

Tabela 2.30 - Equipamentos existentes fração.

Sistema para aquecimento	caldeira	Fonte de Energia	gás	FPU (eletricidade=2,5; outras=1)	1	Eficiência Nominal $\eta$	0,90
			Eletricidade				
Sistema para arrefecimento	Ar Condicionado split com permuta ar-ar classe B		Eletricidade		2,5	Eficiência Nominal $\eta_v$	3,01
Sistema para AQS	caldeira		gás		1	Eficiência Nominal $\eta_a$	0,90
Sistema com recurso a energia renovável	Sistema solar térmico para AQS	Solar	1				

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{\delta \cdot N_{vc}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{W_{vm}}{A_p} \cdot F_{pu} - \frac{E_{ren}}{A_p} \cdot F_{pu} = 64,39 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}$$

Em seguida, procedemos à avaliação de se a nossa casa satisfaz as necessidades energéticas primárias, verificando que não excede o valor limite estabelecido pela legislação portuguesa.

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{ref}} \cdot F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{ref}} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta_{ref}} \cdot F_{pu} \tag{2.42}$$

As únicas variações com o cálculo de  $N_{tc}$  resulta da utilização dos índices dos valores das necessidades de aquecimento e arrefecimento de referência,  $N_i$  e  $N_v$  em vez dos valores calculados da habitação ( $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ ).

Também teremos em conta a utilização do valor da eficiência de referência,  $\eta_{ref}$ , que para este caso particular, tomaremos os mesmos valores que os nominais da caldeira e o ar condicionado da casa.

Tabela 2.31- Valores de FPU para equipamentos de referência.

Sistema para aquecimento	caldeira	Fonte de energia	gás	FPU	1	$\eta$	0,9
Sistema para arrefecimento	ar condicionado		eletricidade		2,5		3,01
Sistema para AQS	caldeira		gás		1		0,9

Com tudo isto obtemos um valor máximo de necessidades energéticas

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{ref}} \cdot F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{ref}} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta_{ref}} \cdot F_{pu} = 77,97 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}$$

$$N_t = 77,97 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} > 64,39 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} = N_{tc}$$

Na verdade, isso é inferior à taxa das necessidades energéticas da casa e, por conseguinte, o nosso edifício está de acordo com a legislação.

### 2.5.9.2 Cálculo da classe energética

Certificados em Portugal vão da classe A+ até à F. Para edifícios novos terão que apresentar a classe A+, A, B ou B-.

Neste caso, focamo-nos no *Despacho (extrate) n.º 15793-J/2013*, que define os valores da classe energética dos sistemas energéticos utilizados de acordo com o rácio de necessidades energéticas primárias ( $N_{tc}$ ) e o seu valor máximo ( $N_{t}$ ). Estes valores constam do documento anterior.

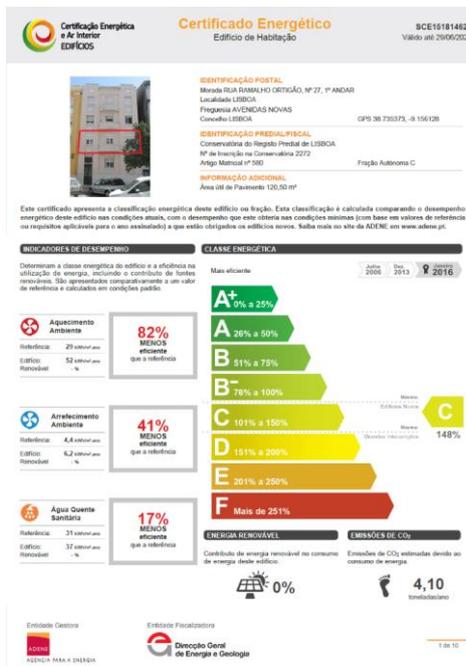


Figura 2.11 - Certificado energético edifício de habitação Portugal.

Tabela 2.32 - Classes energéticas.

	Classe energética
$R_{NT} \leq 0,25$	A+
$0,26 \leq R_{NT} \leq 0,5$	B+
$0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$	B
$0,76 \leq R_{NT} \leq 1$	B-
$1,01 \leq R_{NT} \leq 1,5$	C
$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$	D
$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,50$	E
$R_{NT} \geq 2,51$	F

$$R_{NT} = \frac{N_{LC}}{N_t} = \frac{64,39 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}}{77,97 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}} = 0,83$$

Constatamos que a classe energética dos sistemas de refrigeração e aquecimento da nossa casa é do tipo B- esta é uma classe legalmente aceitável, mas não é muito eficiente em termos energéticos, por isso vamos recalculá-la usando novos equipamentos de menor consumo.

### 2.5.10 Novos equipamentos para melhorar a classe energética da habitação

Para a caldeira a gás, escolhemos o modelo JUNKERS CERAPUR ZWB 30/32-1 P que tem uma  $\eta = 0,99$  eficiência, como se pode ver na ficha de dados do equipamento.

Potência nominal (em kW)	30
Superfície de aquecimento indicativa (em m <sup>2</sup> )	375
Rendimento (em %)	99
Diâmetro de evacuação dos gases queimados (em mm)	60
Capacidade do vaso de expansão (em l)	7
Eco opções	Poupança de energia
Eficiência energética sazonal (E <sub>tas</sub> ) (em %)	93
Material principal	Alumínio
Uso do produto	Aquecimento e produção de água quente instantânea
Tipo de energia (caldeira)	Gás



Figura 2.12 - Nova Caldeira

No caso do arrefecimento, optámos por substituí-lo pelo MODELO AR CONDICIONADO WHIRLPOOL SPIW318L (36 M2 - 18000 BTU - BRANCO) cuja eficiência energética é neste caso.  $\eta = 6,1$ .

① Ruído Unidade Exterior	65
① Ruído Unidade Interior	60
① Consumo de energia	287-1645 kWh/ano
① SEER / SCOP	6.1 / 4.0



Figura 2.13 - Novo ar condicionado.

Mantém-se a taxa máxima de necessidades energéticas, uma vez que os valores de referência escolhidos são os mesmos, enquanto a taxa de necessidades energéticas da casa diminuirá ao utilizar equipamentos com menor consumo.

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{\delta \cdot N_{vc}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{W_{vm}}{A_p} \cdot F_{pu} - \frac{E_{ren}}{A_p} \cdot F_{pu} = 53,33 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}$$

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{53,33 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}}{77,97 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}} = 0,68$$

Ao verificar a tabela de classificação das necessidades energéticas, vemos que esta é agora a classe B que nos permite saber a importância de escolher sistemas de refrigeração e aquecimento quando se trata de ter uma casa mais sustentável.

### 2.5.11 Energias renováveis

Outra forma de alcançar uma maior eficiência energética e um menor consumo dos nossos equipamentos domésticos é a utilização de energias renováveis para o aquecimento e arrefecimento.

Em Portugal é obrigatório utilizar esta energia enquanto o telhado estiver orientado para o S, SE e SW. No nosso caso, temos um telhado virado a leste e outro a oeste, pelo que não será necessário utilizar este tipo de energia.

No entanto, no hipotético facto de termos uma casa idêntica, localizada no mesmo local, mas com um telhado virado a sul e outra a norte, com o equipamento energético do ponto 2.7.4, que produzia um total

de  $E_{ren} = 1060 \frac{kWh}{ano}$ . A quantificação deste valor foi realizada com o software SCE.ER. Neste caso, o valor das necessidades de energia primária será substancialmente mais baixo.

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{\delta \cdot N_{vc}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{W_{vm}}{A_p} \cdot F_{pu} - \frac{E_{ren}}{A_p} \cdot F_{pu} = 44,48 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}$$

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{44,48 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}}{74,24 \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}} = 0,626 \rightarrow \text{CLASSE B}$$

### 3 ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO ESPANHOLA

#### 3.1 DADOS CLIMÁTICOS

Procedemos agora à verificação e comparação de soluções construtivas com a legislação espanhola. Embora o procedimento seja bastante semelhante ao acima referido, existem algumas diferenças, principalmente nos valores máximos de referência dos coeficientes de transmissão de calor, bem como na designação de zonas climáticas.

Nesta secção vamos focar-nos no cálculo das zonas climáticas de inverno e verão do local onde queremos construir a nossa casa. Como é uma lei feita para o território espanhol, somos forçados a mudar o nosso projeto. Vamos agora escolher como cidade do projeto Zaragoza, numa zona localizada a uma altitude de 15 m também.

As expressões e valores das constantes para o cálculo das zonas climáticas podem ser encontrados no documento de referência do RITE DB-HE-Climas.

A severidade climática de inverno é calculada utilizando a seguinte equação:

$$SCI = a \cdot GD + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot GD^2 + d \cdot (n/N)^2 + e \quad [3.1]$$

Onde a GD é a soma dos graus de inverno baseados 20 para meses que vão de outubro a maio. Note-se que na lei portuguesa, a base deste parâmetro é o 18 °C e a duração da estação é variável.

Também descobrimos que n/N é a relação entre o número de horas de sol e o número de horas máximas de sol, cada uma adicionada separadamente para os mesmos meses.

Finalmente a, b, c, d e e são coeficientes de regressão que são tabulados no quadro 1 do mesmo documento:

Tabela 3.1 - Coeficientes para SCI.

a	b	c	d	e
3,546E-04	-4,043E-01	8,394E-08	-7,325E-02	-1,137E-01

Para o cálculo da severidade climática de verão, temos de:

$$SCI = a \cdot GD + b \cdot GD^2 + c \quad [3.2]$$

Aqui temos que o GD soma é idêntico ao utilizado no inverno (mesma base de 20°C), mas para os meses que vão de junho a setembro.

Neste caso, os coeficientes de regressão tomam os valores do quadro 2 da referência DB-HE-Climas:

Tabela 3.2 - Coeficientes para SCV.

a	b	c
2,990E-3	-1,1597E-07	-1,713E-1

Ao definir zonas climáticas, está disponível, de acordo com os intervalos expostos no DB-HE, que utilizando a severidade climática de inverno pode haver 6 zonas ( $\alpha$ , A, B, C, D e E):

Tabela 3.3 - Intervalo zona inverno.

$\alpha$	A	B	C	D	E
$SCI \leq 0$	$0 < SCI \leq 0,23$	$0,23 < SCI \leq 0,5$	$0,5 < SCI \leq 0,93$	$0,94 < SCI \leq 1,51$	$SCI > 1,51$

Para o verão será análogo, mas neste caso teremos em conta os intervalos do SCV e os valores (1, 2, 3, 4).

Tabela 3.4 - Intervalo zona verão.

1	2	3	4
$SCV \leq 0,5$	$0,5 < SCV \leq 0,83$	$0,83 < SCV \leq 1,38$	$SCV > 1,38$

É verdade que, se seguirmos todos os passos acima, encontramos as zonas climáticas que procuramos, no entanto estes valores estão tabelados no quadro A do anexo B do DB-HE:

Tabela 3.5 - Zonas climáticas legislação espanhola.

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																							
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m	
Albacete																								
Alicante/Alacant																								
Almería																								
Araba/Álava																								
Asturias																								
Ávila																								
Badajoz																								
Balears, Illes																								
Barcelona																								
Bizkaia																								
Burgos																								
Cáceres																								
Cádiz																								
Cantabria																								
Castellón/Castelló																								
Ceuta																								
Ciudad Real																								
Córdoba																								
Gorüña, A																								
Cuenca																								
Gipuzkoa																								
Girona																								
Granada																								
Guadalajara																								
Huelva																								
Huesca																								
Jaén																								
León																								
Lleida																								
Lugo																								
Madrid																								
Málaga																								
Melilla																								
Murcia																								
Navarra																								
Ourense																								
Palencia																								
Palmas, Las																								
Pontevedra																								
Rioja, La																								
Salamanca																								
Santa Cruz de Tenerife																								
Segovia																								
Sevilla																								
Sória																								
Tarragona																								
Tertuel																								
Toledo																								
Valencia/València																								
Valladolid																								
Zamora																								
Zaragoza																								

Assim, podemos ver que a nossa casa ficará localizada numa zona climática de inverno e verão C3, respetivamente.

Os valores no inverno variam de α a E e os valores de verão de 1 a 4 do mínimo ao mais rigoroso.

### 3.2 CÁLCULO E VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA ENVOLVENTE

Em seguida, vamos proceder ao cálculo dos coeficientes U para a parede exterior, pavimento térreo, telhado, janelas, paredes de construção adjacentes, pilares e vigas.

Olhando novamente para o DB-HB no anexo, podemos ver que a expressão de cálculo, espessuras e condutividade térmica, bem como as resistências térmicas dos materiais não variam e, portanto, teremos os valores da secção anterior:

$$U_{Par.ext.} = \frac{1}{R_{t,pared\ ext}} = 0,543 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$U_{Par. adj.} = \frac{1}{R_{t,pared\ adj.}} = 0,52 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$U_{cobertura.} = \frac{1}{R_{t,cobertura}} = 0,82 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$U_{P,V} = \frac{1}{R_{t,P,V}} = 0,53 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

Focamo-nos agora nos valores dos coeficientes máximos que não devem exceder os nossos envelopes e soluções construtivas. Do Quadro 3.1.1.a do Guia de Implementação do HE:

Tabela 3.6 - Valores de U máximos - legislação espanhola.

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_{s, U_{e,d}}$ )	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_c$ )	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_t$ ) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{M,D}$ )	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_{H,i}$ )*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

\*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de  $U_H$  en un 50%.

No caso da parede com o edifício adjacente, focamo-nos no Quadro 3.2 do mesmo documento:

Tabela 3.7 - Valores de U máximos para edifícios adjacentes - legislação espanhola

	Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
		$\alpha$	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso	Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes	Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Das tabelas acima concluímos que os valores máximos para as paredes exteriores, pavimento em contacto com solo, cobertura e parede para o edifício adjacente para uma zona climática de inverno C são respetivamente:

$$U_{Par.ext.máx} = 0,49 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad U_{cobertura.máx.} = 0,40 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad U_{Par.adj.máx} = 1,20 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$U_{bf.máx} = 0,70 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Como podemos ver, no caso das exigências térmicas para a parede exterior e cobertura são geralmente ligeiramente mais baixas do que para os portugueses. Isto ocorre em nossa casa, embora não devemos esquecer que analisamos a mesma casa, mas em diferentes locais.

Onde a diferença no valor-limite da transmissão térmica é mais perceptível está nas paredes que estão em contacto com edifícios adjacentes. Assim, o nosso valor máximo é  $0,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  menos do que na primeira secção.

Também é de salientar que na legislação portuguesa não existe um valor máximo para os elementos em contacto com o solo e que para os edifícios adjacentes os valores são tabelados independentemente do tipo de ocupação do outro edifício.

Nos casos da parede do edifício contíguo, do pavimento em contacto com o solo e do revestimento, continua a ser cumprida a legislação térmica, desde que:

$$U_{Par. adj.} = 0,52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} < U_{Par. adj. máx.} = 1,20 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$U_{cobertura.} = 0,34 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} < U_{cobertura. máx.} = 0,40 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$U_{bf.} = 0,58 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} < U_{bf. máx.} = 0,70 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

No entanto, a parede exterior não satisfaz os requisitos mínimos de isolamento térmico, pelo que teria de ser efetuada uma série de modificações. O caso é idêntico ao praticava pela legislação portuguesa, ou seja, para aumentar o isolante térmico em dois centímetros, eliminando a caixa de ar. Desta forma teríamos (de acordo com os cálculos feitos na secção anterior):

$$U''_{Par. ext.} = 0,452 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} < 0,49 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

### 3.3 CÁLCULO DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS PARA A PREPARAÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

Vamos agora proceder ao cálculo da quantidade de água quente sanitária para o conforto dos ocupantes de uma casa.

Para o cálculo da procura de ACS para o novo HE consultamos o Anexo F, onde temos de ter em conta se essa energia é ou não para uso residencial.

No primeiro caso, tal como o nosso, a procura de referência da ACS será calculada tendo em conta a necessidade de 28 litros/dia por pessoa. Na segunda, tomando os valores da aba.

Esta procura deve ser para uma temperatura de referência da água de 60 °C e a ocupação deve ser, pelo menos, a indicada no quadro a-anexo F. É calculado com base no número de quartos:

Tabela 3.8 -Valores mínimos de ocupação de cálculo no uso de habitação privada.

Número de dormitórios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

No caso dos edifícios coletivos de habitação, será igualmente necessário aplicar um fator de centralização de acordo com o quadro b-anexo F. O valor deste fator depende do número total de casas:

Tabela 3.9 - Valor do fator de centralização em casas multifamiliares.

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Além disso, a procura de referência será aumentada em conformidade com as perdas térmicas por distribuição, acumulação e recirculação.

Em seguida, vamos calcular a procura de energia do AQS da nossa única casa de 3 quartos, então teremos:

$$N^{\circ} \text{ pessoas} = 4$$

$$\text{Fator centralização} = 1 \text{ (Temos uma única casa de dois andares)}$$

$$\text{Demanda AQS} = 4p \cdot 28 \frac{l}{d \cdot p} \cdot 1 = 122 \text{ l/d}$$

Pode observar-se que a procura de AQS é inferior à da legislação portuguesa (160l/dia), uma vez que, embora o número de pessoas e o fator de centralização seja o mesmo, é considerado uma procura mais elevada de litros por pessoa por dia do que na legislação espanhola (40 l/d/ocupante convencional contra 28l/d/ocupação).

Em seguida, calcularemos a procura de energia para a produção de ACS. Para o efeito, deve ser utilizada a seguinte expressão:

$$D_{ACS} = V_{ACS} \cdot C_e \cdot (t_u - t_e) \quad [3.3]$$

$D_{ACS}$  → Procura energética ACS (kWh/period)

$V_{ACS}$  → Volume consumido a partir de ACS (litros/periodo), à temperatura de utilização.

$C_e$  → Calor específico (kWh / (m<sup>3</sup>) °C); para a água tem o valor de 1.16

$t_u$  → Temperatura de funcionamento (°C).

$t_e$  → Temperatura da água fria para consumo humano (°C).

Neste caso, o volume consumido seria de 122 litros/dia, com uma temperatura de utilização de 38°C (três graus acima do utilizado na legislação portuguesa). Resolveremos o cálculo mensal, utilizando a temperatura média de água fria correspondente. As temperaturas médias de água fria podem ser obtidas a partir do apêndice B na secção HE 4 do CTE.

Tabela 3.10 - Cálculo de AQS

MÊS	DIA/MÊS	DEMANDA AQS [l/dia]	T <sub>u</sub> [°C]	T <sub>e</sub> [°C]	Dacs [kWh/mês]
Janeiro	31	122	38	8	131,61
Fevereiro	28	122	38	8	118,88
Marcao	31	122	38	10	122,84
Abril	30	122	38	12	110,39
Maio	31	122	38	14	105,29
Junho	30	122	38	17	89,16
Julho	31	122	38	20	78,97
Agosto	31	122	38	19	83,36
Setembro	30	122	38	17	89,16
Outubro	31	122	38	13	109,68
Novembro	30	122	38	10	118,88
Dezembro	31	122	38	8	131,61
<b>TOTAL</b>					<b>1289,81</b>

$$D_{ACS} = 1289,81 \text{ kWh/ano}$$

### 3.4 ANÁLISE DA CLASSE ENERGÉTICA

Até 21 de março de 2021, a classificação energética espanhola levava os valores de A++ a D. Recentemente foi modificada e agora retorna à escala usual que vai de A a G, onde A classifica os produtos com menor consumo e maior eficiência energética, e G inclui aqueles com maior consumo e menor eficiência energética.

Existem portanto 7 valores possíveis (de A a G) enquanto em Portugal a classe energética pode ser classificada de acordo com 8 letras que vão de A + a F.

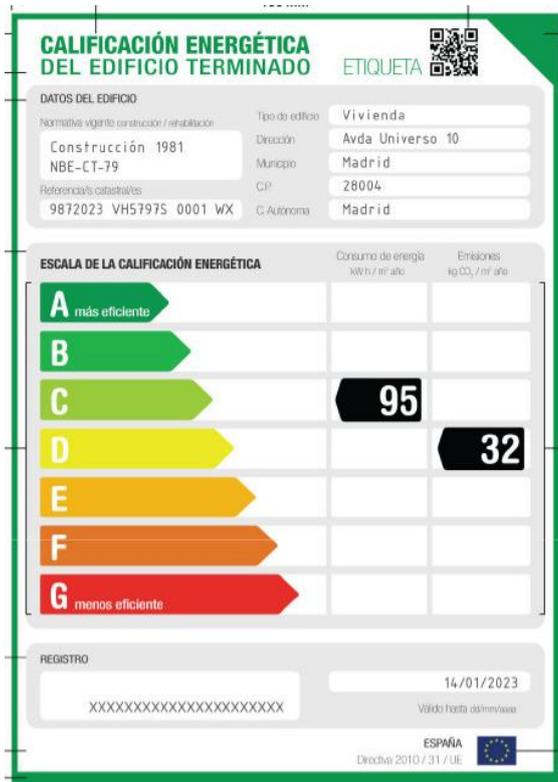


Figura 3.1- Etiqueta de clasificación energética Espanha.

Para determinar a LETRA de classificação, primeiro, um índice de classificação de eficiência energética é calculado como resultado da resolução de uma fórmula:

$$C1 = \frac{\left(\frac{I_0}{I_R} \cdot R\right) - 1}{2 \cdot (R - 1)} + 0,6$$

$$C2 = \frac{\left(\frac{I_0}{I_S} \cdot R'\right) - 1}{2 \cdot (R' - 1)} + 0,5$$

$I_0$  - Emissões de CO<sub>2</sub> do edifício.

$I_R$  - Emissões de CO<sub>2</sub> do edifício de referência em conformidade com HE1 + HE2 + HE3 + HE4

$I_S$  - Emissões de CO<sub>2</sub> do edifício de referência existente em 2006

$R$  - Razão entre o valor de  $I_R$  e o valor do percentil 10% de edifícios que cumprem HE1 + HE2 + HE3 + HE4

$R'$  - Rácio entre o valor de  $I_R$  e o valor do percentil 10% dos edifícios existentes em 2006

Tabela 3.11- Classificação energética das habitações de edifícios destinados a habitações.

Calificación de eficiencia energética del edificio	Índices de calificación de eficiencia energética
A	$C1 < 0.15$
B	$0.15 \leq C1 < 0.50$
C	$0.50 \leq C1 < 1.00$
D	$1.00 \leq C1 < 1.75$
E	$C1 > 1.75$ y $C2 < 1.00$
F	$C1 > 1.75$ y $1.00 \leq C2 < 1.5$
G	$C1 > 1.75$ y $1.50 \leq C2$

Os cálculos destes valores são muito complexos e devem ser efetuados com software especializado, ao contrário dos valores da legislação portuguesa, que se não se pretende a máxima precisão, o valor das resistências térmicas que determinam a classe energética pode ser facilmente obtido. fazer construção.

## **4 ESTUDO DO CASO - ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A LEGISLAÇÃO PORTUGUESA E ESPANHOLA.**

### **4.1 DADOS CLIMÁTICOS**

A diferença fundamental no cálculo das zonas climáticas é que enquanto em Portugal existem apenas três zonas para cada estação, em Espanha existem seis no inverno e quatro no verão. Isso se deve ao fato de que os climas dentro deste último país são mais variados e esse aumento das zonas climáticas nos permite fazer uma análise mais precisa de todas as casas.

De referir ainda que para facilitar os cálculos da zona climática, neste caso, os valores são tabelados de acordo com a província e a altitude em que se encontra o nosso edifício.

Também podemos observar diferenças nos parâmetros de cálculo das zonas climáticas. Na legislação portuguesa, a zona climática de inverno depende dos meses de duração da época de aquecimento e do número de graus-dia. Na legislação espanhola também deve ser calculado o quociente entre as horas de sol e o número de horas da estação e o número de dias-grau, mas a diferença fundamental neste caso é que enquanto em Portugal a base de DGs é de 18 °C em A Espanha é de 20 °C para ambas as estações.

No caso do cálculo da zona climática de verão, a legislação portuguesa utiliza a temperatura exterior média, enquanto a legislação espanhola continua a utilizar apenas graus-dia à base de 20 °C.

### **4.2 VERIFICAÇÃO DE REQUISITOS MÍNIMOS**

Como podemos ver, no caso das exigências térmicas para a parede exterior e cobertura são geralmente ligeiramente mais baixas do que para os portugueses. Isto ocorre em nossa casa, embora não devemos esquecer que analisamos a mesma casa, mas em diferentes locais.

Comparando as duas tabelas dos valores máximos que U pode ter, observamos que a legislação portuguesa apenas distingue entre paredes horizontais e verticais em contacto com divisões com  $btr > 0,7$  ou em contacto com o exterior, e paredes em contacto com divisões com  $btr < 0,7$ , como um edifício adjacente, por exemplo.

Na legislação espanhola, descobrimos que existem vários valores U para vários elementos de construção, isto é para realizar um cálculo muito rigoroso das condições térmicas.

Uma diferença, por exemplo, é que neste caso o U máximo é distinto para paredes que separam unidades do mesmo uso ou de uso diferente.

Se nos concentrarmos nos valores do coeficiente de transmissão térmica, temos que a legislação portuguesa é notavelmente mais rigorosa do que a espanhola no que se refere ao estabelecimento de requisitos mínimos. Um exemplo poderia ser a verificação de elementos verticais em contato com o exterior, no primeiro, o valor do U máximo para esses elementos varia entre 0,35 e  $0,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ , enquanto no caso da legislação espanhola temos que o mínimo é de  $0,37 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  e máximo o valor é  $0,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ .

Também é de salientar que na legislação portuguesa não existe um valor máximo para os elementos em contacto com o solo e que para os edifícios adjacentes os valores são tabelados independentemente do tipo de ocupação do outro edifício.

### 4.3 ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

Podemos ver que é preciso menos energia para aquecer a água da nossa casa de acordo com as leis espanholas (em Portugal  $2377,99 kWh/ano$  que precisávamos), é porque é devido a diferentes fatores. A primeira é que ambas as casas estão localizadas em diferentes cidades e, portanto, a temperatura da água fria do consumo humano variará. A outra é que consideramos menos litros por dia consumidos por pessoa, apesar de aumentar a temperatura de utilização do AQS em três graus.

Outra diferença notável é que com a legislação portuguesa o cálculo da energia necessária ao aquecimento das águas sanitárias é feito globalmente ao longo de um ano, enquanto em Espanha é calculado como a soma de todos os valores energéticos mês a mês, com parâmetros específicos para cada um deles eles.

### 4.4 COMPARAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA

A principal diferença quando se trata de conhecer a classe energética de uma residência nas duas legislações é a forma como essas letras são classificadas. Assim, em Portugal temos os Certificados de Vão da classe A+ até à F e para novos edifícios a apresentar às classes A+, A, B ou B-. Já na Espanha temos uma escala de avaliação que vai de A a G, onde A classifica os produtos com menor consumo e maior

eficiência energética, e G inclui aqueles com maior consumo e menor eficiência energética. Dessa forma, a etiqueta manterá sete classes de eficiência energética.

De notar que para o cálculo da classe energética portuguesa utilizamos apenas o valor de  $R_{nt}$ , que é o quociente entre as necessidades de energia primária e o valor máximo das necessidades de energia primária. Já na legislação espanhola é necessário o cálculo de dois parâmetros previamente analisados.

## 5 CONCLUSÕES

Do estudo realizado é possível tirar um conjunto de conclusões.

Observamos as primeiras através de um primeiro estudo exaustivo da casa de acordo com a legislação portuguesa. Aqui, primeiro percebemos a importância de escolher bem a localização geográfica de um edifício, uma vez que ao verificar se a nossa casa cumpre os requisitos térmicos mínimos, estes variam significativamente para as mesmas soluções construtivas dependendo da zona climática em que nos encontramos.

Também devemos ter em mente que devemos encontrar um equilíbrio entre as necessidades térmicas e o meio ambiente onde se localiza o edifício. Portanto, caso não sejam atendidos os requisitos mínimos de verificação, será necessário aplicar as correções necessárias visando economizar custos, ou seja, utilizar a camada mínima de isolamento possível para que a temperatura interna adequada do Lar.

Outro facto a destacar, relacionado com a eficiência energética, é a importância de uma boa escolha dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, quanto maior o seu desempenho, menores serão as necessidades de energia que teremos e por isso será mais fácil para o nosso edifício ter uma classe energética adequada. Essa classe energética também será favorecida se aumentarmos o uso de fontes renováveis de energia, por exemplo, para aquecimento de águas sanitárias.

Por outro lado, ao fazer uma análise térmica de um edifício temos que avaliar o território em que estamos localizados, uma vez que as leis que estabelecem os requisitos mínimos que devem ser cumpridos são diferentes em diferentes países. Assim, observando a REH (Legislação Portuguesa) e o documento RITE (Legislação Espanhola), constatamos que os valores a estudar são díspares. Por exemplo, a mesma quantidade de energia não é necessária para aquecer ou resfriar o interior de uma casa em ambos os países, pois as condições térmicas que eles devem atender não são as mesmas. Em geral, pudemos observar que o REH é muito mais rígido do que o RITE, pois os valores máximos de referência dos coeficientes de transmissão no primeiro são muito mais baixos do que no segundo. uma distinção maior é feita dependendo da altitude e latitude em que estamos.

Outro aspeto importante é a classe energética que, apesar de ser regulamentada em certa medida pela União Europeia, existem diferentes escalas e fatores para classificar energeticamente os edifícios e alcançar uma maior economia de energia.

Por fim, concluímos que para CONSTRUIR um edifício dedicado à habitação, não devemos apenas ter em conta os elementos construtivos, mas devemos olhar atentamente o lugar geográfico em que nos encontramos e as leis que os regem.

## **BIBLIOGRAFIA**

Despacho nº 15793-J/2013 – regras de determinação de classe energética; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-K /2013 – Parâmetros térmicos. Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-D/2013 – Fatores de conversão de energia útil para energia primaria a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-I/2013 – metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-F/2013 – Parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Portaria n.º 379-A/2015- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados- Diário da República, 1.ª série — N.º 207 — 22 de outubro de 2015.

Portaria n.º 349-B/2013- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) — Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções- Diário da República, 1.ª série — N.º 232 — 29 de novembro de 2013.

DB-HE-/0 - Documento descriptivo climas de referencia- Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Versión 2.0 / febrero 2017.

DB-HE-/1-Cálculo de parámetros característicos de la envolvente (Enero 2020)- Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Versión 2.0 / febrero 2017.

DB-HE-/3-Puentes térmicos- Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Versión 2.0 / febrero 2017.

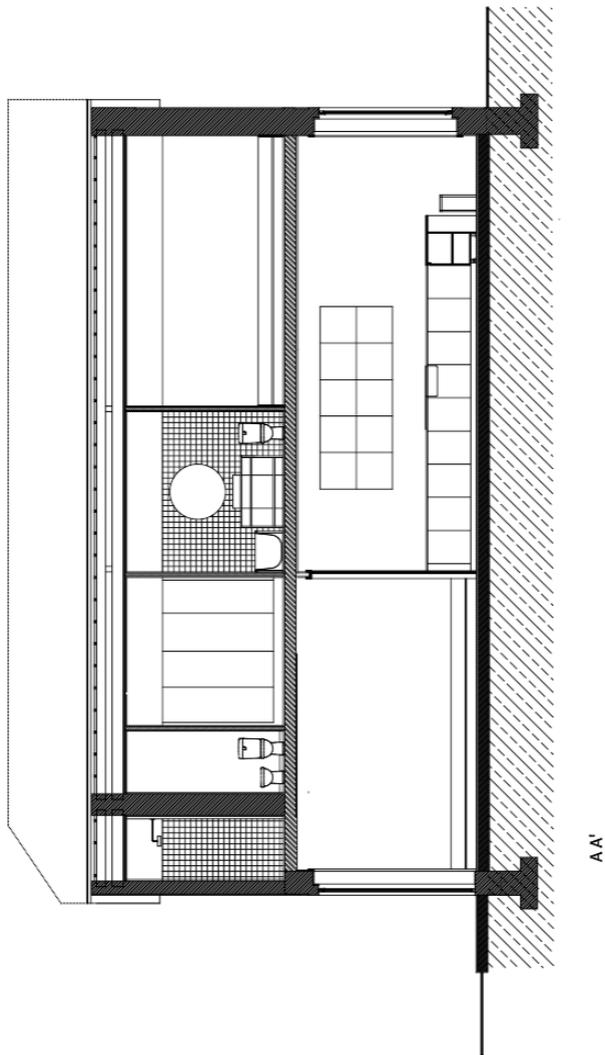
DB-HE-Documento descriptivo climas de referencia. Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, Versión 2.0 / febrero 2017.



## **ANEXO 1: VISTAS DO EDIFÍCIO**

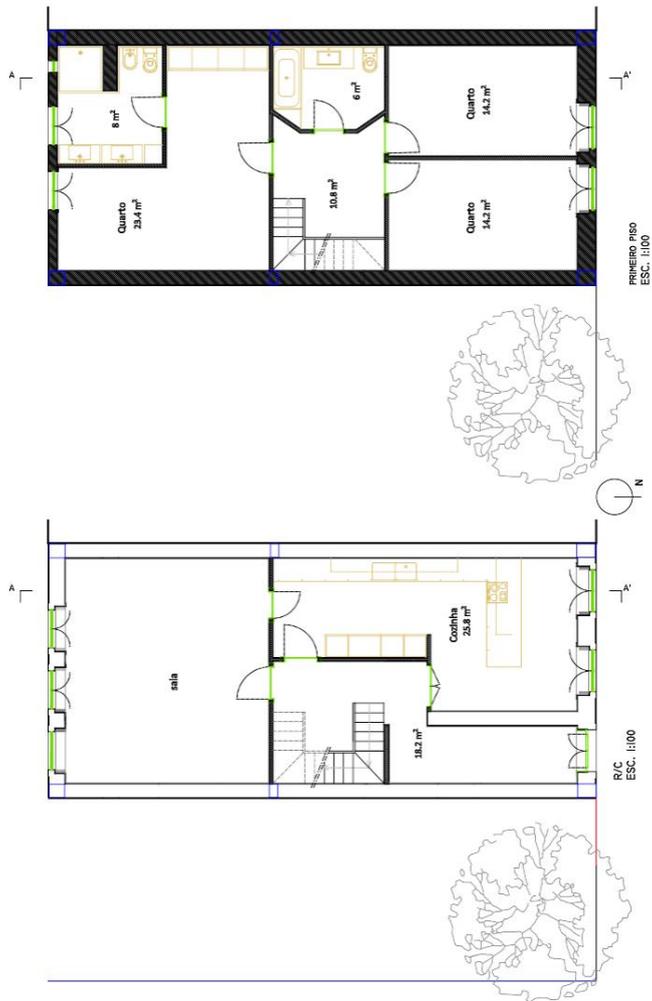


1- Alçado



2 - Corte

*ANEXO 1*



3 - Planta

ANEXO 1