

## **Resistência e Energia — Térmica**

3 de dezembro de 2022

Marco Maia — 1210951

Rúben Ferreira — 1210954

João Teixeira — 1210957

José Rente — 1211155

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Seleção de materiais</b>	<b>2</b>
2.1	Paredes Exteriores . . . . .	2
2.1.1	Camada Exterior . . . . .	2
2.1.2	Camada Isolante e Estrutural . . . . .	2
2.1.3	Camada Interior . . . . .	3
2.2	Paredes intermedia isolantes . . . . .	3
2.3	Paredes interiores . . . . .	3
2.4	Telhado . . . . .	3
2.5	Portas . . . . .	4
2.6	Janelas . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Estrutura</b>	<b>5</b>
3.1	Croqui . . . . .	5
3.2	Resistencia Termica nas Seccoes . . . . .	5
3.2.1	Zona A . . . . .	5
3.2.2	Zona B . . . . .	7
3.2.3	Zona C . . . . .	9
3.2.4	Zona D . . . . .	10
3.2.5	Zona E . . . . .	10
3.2.6	Telhado . . . . .	11

# 1 Introdução

## 2 Seleção de materiais

Perante o problema apresentado, investigar um conjunto de materiais para fazerem parte de uma estrutura, iniciou-se uma pesquisa em busca das melhores alternativas. Para tal, procurou-se materiais com um **baixo valor de condutividade térmica** ( $k$ ).

### 2.1 Paredes Exteriores

Perante uma situação de diferentes temperaturas nas diversas secções da estrutura, optou-se por manter a consistência e utilizar os **mesmos materiais em todas as paredes exteriores**.

No final, obteve-se uma espessura de  $32cm$ .

#### 2.1.1 Camada Exterior

Para a camada exterior das paredes, escolheu-se o **cimento**. Este material é usado em infraestruturas de todo o mundo dado, não só às suas **características térmicas satisfatórias** mas, também, ao seu **baixo custo**.

Optou-se pela seguinte disposição:

Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$
Cimento	0,46	0,09

#### 2.1.2 Camada Isolante e Estrutural

Para a camada isolante e estrutural, destacaram-se os seguintes materiais:

- ICF;
- Tijolo refratário, ( $k = 0,78 Wm^{-1}K^{-1}$ ).

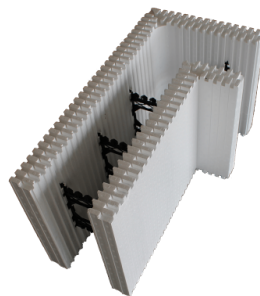


Figura 1: Sistema ICF, ainda por preencher com betão armado

Entre ambos, foi decidido utilizar o ICF. O ICF é uma sistema de construção distinguido pelo seu elevado **isolamento térmico** e acústico, baixo custo de manutenção e fácil aplicação.

Este sistema é constituído por **dois blocos isolantes verticais** de **poliestireno expandido** que, após a sua respetiva montagem, são preenchidos por **betão armado**.

Tendo sido desenvolvidos há pouco mais de 30 anos, estes sistemas têm sido utilizados um pouco por todo o mundo, com especial ênfase nos EUA e no Canadá, dadas as suas ótimas capacidades **térmicas** e acústicas

Apesar de, na figura ??, estar representado um reforço com barras de metal, essas serão ignoradas neste trabalho experimental.

Optou-se pela seguinte disposição:

Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$
Poliestireno Expandido	0,037	0,02
Betão Armado	2	0,18
Poliestireno Expandido	0,037	0,02

### 2.1.3 Camada Interior

Para a camada interior, destacaram-se os seguintes materiais:

- Gesso, ( $k = 0,25 Wm^{-1}K^{-1}$ );
- Estuque, ( $k = 0,4 Wm^{-1}K^{-1}$ ).

Pelas claras diferenças nos valores de condutividade térmica, escolheu-se o **gesso** para o revestimento interior das paredes exteriores.

Optou-se pela seguinte disposição:

Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$
Gesso	0,25	0,01

## 2.2 Paredes intermedia isolantes

## 2.3 Paredes interiores

## 2.4 Telhado

Para o telhado, optou-se por um modelo de duas águas. Para a **estrutura exterior**, o que fez mais sentido foi uma cobertura de **cimento**, sobreposto por uma camada de **telha**. O cimento, pelas mesmas razões referidas no tópico ??, foi a melhor decisão, dado aos seus baixos valores de condutividade térmica de  $k = 0,46 Wm^{-1}K^{-1}$ .

Já o **material isolante** escolhido, difere do material isolante das paredes exteriores. Optou-se por **espuma de poliuretano** que, permite obter um isolamento térmico que satisfaz as necessidades do caso de estudo. Este material apresenta um valor de condutividade térmica



Figura 2: Espuma de poliuretano

de  $k = 0,028 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  e, é muito popular nas indústrias que dependem de **espaços com temperaturas controladas**.

Por fim, e, à semelhança das paredes exteriores, decidiu-se aplicar uma camada de **gesso**, como **revestimento interior do telhado**.

Optou-se pela seguinte disposição:

Estrutura	Material	$k \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$	$\Delta x \text{ (m)}$
Exterior	Telha	1,2	0,06
Cobertura	Cimento	0,46	0,04
Isolante	Espuma de Poliuretano	0,028	0,17
Interior	Gesso	0,25	0,03

## 2.5 Portas

## 2.6 Janelas

Por fim, foram idealizadas duas janelas que satisfazem as necessidades térmicas do espaço. Para tal, optou-se por uma construção de **duas folhas**, com uma **estrutura de alumínio** e vidro duplo.

Estrutura	Material	$k \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$	$\Delta x \text{ (m)}$
Perfil	Alumínio	237	0,053
Vidro	Vidro	0,79	0,004
Ar	Ar	0,025	0,023
Vidro	Vidro	0,79	0,004

### 3 Estrutura

#### 3.1 Croqui

#### 3.2 Resistencia Termica nas Seccoes

##### 3.2.1 Zona A

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona A**, para funcionar à temperatura de  $15^{\circ}C$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$	Área ( $m^2$ )
Parede Exterior ( $\times 2$ )	Cimento	0.46	0.09	48,5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	48,5
	Betão Armado	2	0.18	48,5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	48,5
	Gesso	0.25	0.01	48,5
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	40
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	40
	Madeira Pinus	0.12	0.1	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Betão Armado	2	0.18	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Gesso	0.25	0.01	37
Janela ( $\times 1$ )	Alumínio	237	0,053	0,66
	Vidro	0,79	0,004	1,34
	Ar	0,025	0,023	1,34
	Vidro	0,79	0,004	1,34
Porta de Subir ( $\times 1$ )	Fibra de vidro	0.04	0.1	15

Tabela 1: Composição da zona A

Com base na tabela ??, o cálculo das resistências para esta sucede-se da seguinte forma:

**Janela:** Os vidros e o ar estão associados em série:

$$R_{janelas} = \frac{1}{\frac{1}{R_{aluminio}} + \frac{1}{2 \times R_{vidro} + R_{ar}}} \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow R_{janelas} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{0,053}{237 \times 0,66}} + \frac{1}{2 \times \frac{0,004}{0,79 \times 1,34} + \frac{0,023}{0,025 \times 1,34}}} = 3,40 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (2)$$

**Parede exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_n\tilde{a}o\_ext+porta+janela} = \frac{1}{\frac{1}{R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{bet\tilde{a}o} + R_{gesso}} + \frac{1}{R_{porta}} + \frac{1}{R_{janela}}} \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{1}{\frac{1}{\frac{0,09}{0,46 \times 48,5} + 2 \times \frac{0,02}{0,037 \times 48,5} + \frac{0,18}{2 \times 48,5} + \frac{0,01}{0,25 \times 48,5}} + \frac{1}{\frac{0,1}{0,04 \times 15}} + \frac{1}{3,40 \times 10^{-4}}} \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_n\tilde{a}o\_ext+porta+janela} = 2,47 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (5)$$

**Parede Interior Não Estrutural com porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut+porta} = \frac{1}{\frac{1}{2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus}} + \frac{1}{R_{porta}}} \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut+porta} = \frac{1}{\frac{1}{2 \times \frac{0,01}{0,25 \times 40} + \frac{0,08}{0,033 \times 40} + \frac{0,1}{0,12 \times 40}} + \frac{1}{\frac{0,1}{0,12 \times 3}}} \quad (7)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut+porta} = \frac{1}{8,34 \times 10^{-2} + 2,78 \times 10^{-2}} = 3,61 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (8)$$

**Parede Interior Estrutural:**

$$R_{parede\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{bet\tilde{a}o} \quad (9)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut} = 2 \times \frac{0,01}{0,25 \times 37} + 2 \times \frac{0,02}{0,033 \times 37} + \frac{0,18}{2 \times 37} = 3,74 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (10)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações ??, ?? e ??

$$R_{total} = 2.47 \times 10^{-2} + 3.61 \times 10^{-2} + 6.28 \times 10^{-2} = 1.23 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (11)$$

### 3.2.2 Zona B

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona B**, para funcionar à temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$	$\Delta x \text{ (m)}$	Área ( $\text{m}^2$ )
Parede Exterior ( $\times 2$ )	Cimento	0.46	0.09	57.5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	57.5
	Betão Armado	2	0.18	57.5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	57.5
	Gesso	0.25	0.01	57.5
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	25
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	25
	Madeira Pinus	0.12	0.1	25
	Gesso	0.25	0.01	25
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	40
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	40
	Betão Armado	2	0.18	40
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Janela ( $\times 1$ )	Alumínio	237	0,053	0,66
	Vidro	0,79	0,004	1,34
	Ar	0,025	0,023	1,34
	Vidro	0,79	0,004	1,34
Porta dupla ( $\times 1$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	6

Tabela 2: Composição da zona B

Com base na tabela ??, o cálculo das resistências para esta secção sucede-se da seguinte forma:

**Janela:** Os vidros e o ar estão associados em série:



$$R_{janelas} = \frac{1}{\frac{1}{R_{aluminio}} + \frac{1}{2 \times R_{vidro} + R_{ar}}} \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow R_{janelas} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{0,053}{237 \times 0,66}} + \frac{1}{2 \times \frac{0,004}{0,79 \times 1,34} + \frac{0,023}{0,025 \times 1,34}}} = 3,40 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (13)$$

**Parede exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_n\tilde{a}o\_ext+porta+janela} = \frac{1}{\frac{1}{R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{bet\tilde{a}o} + R_{gesso}} + \frac{1}{R_{porta}} + \frac{1}{R_{janela}}} \quad (14)$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{1}{\frac{1}{\frac{0,09}{0,46 \times 57,5} + 2 \times \frac{0,02}{0,037 \times 57,5} + \frac{0,18}{2 \times 57,5} + \frac{0,01}{0,25 \times 57,5}} + \frac{1}{\frac{0,1}{0,12 \times 6}} + \frac{1}{3,40 \times 10^{-4}}} \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_n\tilde{a}o\_ext+porta+janela} = 3,34 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (16)$$

**Parede Interior Não Estrutural com porta:**

$$R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus} \quad (17)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut} = 2 \times \frac{0,01}{0,25 \times 25} + \frac{0,08}{0,033 \times 25} + \frac{0,1}{0,12 \times 25} = 1,34 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (18)$$

**Parede Interior Estrutural:**

$$R_{parede\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{bet\tilde{a}o} \quad (19)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut} = 2 \times \frac{0,01}{0,25 \times 40} + 2 \times \frac{0,02}{0,033 \times 40} + \frac{0,18}{2 \times 40} = 3,46 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (20)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações ??, ?? e ??

$$R_{total} = 3,34 \times 10^{-4} + 1,34 \times 10^{-1} + 3,46 \times 10^{-2} = 1,69 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (21)$$

### 3.2.3 Zona C

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona C**, para funcionar à temperatura de  $-10^{\circ}C$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$	Área ( $m^2$ )
Parede Exterior ( $\times 1$ )	Cimento	0.46	0.09	40
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	40
	Betão Armado	2	0.18	40
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 2$ )	Gesso	0.25	0.01	50
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	50
	Madeira Pinus	0.12	0.1	50
	Gesso	0.25	0.01	50
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Betão Armado	2	0.18	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Gesso	0.25	0.01	37
Porta Simples ( $\times 1$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	3

Tabela 3: Composição da zona C

Com base na tabela ??, o cálculo das resistências para esta secção sucede-se da seguinte forma:

**Parede exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_ext} = R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso} \quad (22)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext} = \frac{0.09}{0.46 \times 40} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 40} + \frac{0.18}{2 \times 40} + \frac{0.01}{0.25 \times 40} = 3.52 \times 10^{-2} KW^{-1} \quad (23)$$

**Paredes Interiores Não Estruturais:**

$$R_{parede\_não\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus} \quad (24)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_não\_estrut} = 2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 50} + \frac{0.08}{0.033 \times 50} + \frac{0.1}{0.12 \times 50} = 6.67 \times 10^{-2} KW^{-1} \quad (25)$$

**Parede Interior Estrutural com porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$R_{parede\_estrut+porta} = \frac{1}{2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão}} + \frac{1}{R_{porta}} \quad (26)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut+porta} = \frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 37} + 2 \times \frac{0.02}{0.033 \times 37} + \frac{0.18}{2 \times 37}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}} \quad (27)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut+porta} = 3.29 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (28)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações ??, ?? e ??

$$R_{total} = 3.52 \times 10^{-2} + 6.67 \times 10^{-2} + 3.29 \times 10^{-2} = 1.34 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (29)$$

### 3.2.4 Zona D

### 3.2.5 Zona E

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona E**, para funcionar à temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$	$\Delta x \text{ (m)}$	Área ( $\text{m}^2$ )
Paredes Exteriores (Área com base no croqui)	Cimento	0.46	0.09	90
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	90
	Betão Armado	2	0.18	90
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	90
	Gesso	0.25	0.01	90
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	47
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	47
	Madeira Pinus	0.12	0.1	47
	Gesso	0.25	0.01	47
Porta Simples ( $\times 1$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	3

Tabela 4: Composição da zona E

Com base na tabela ??, o cálculo das resistências para esta secção sucede-se da seguinte forma:

**Parede exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_ext} = R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso} \quad (30)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext} = \frac{0.09}{0.46 \times 90} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 90} + \frac{0.18}{2 \times 90} + \frac{0.01}{0.25 \times 90} = 1.56 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (31)$$

**Parede Interior Não Estrutural com porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$R_{parede\_não\_estrut+porta} = \frac{1}{\frac{1}{2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus}} + \frac{1}{R_{porta}}} \quad (32)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_não\_estrut+porta} = \frac{1}{\frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 47} + \frac{0.08}{0.033 \times 47} + \frac{0.1}{0.12 \times 47}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}}} \quad (33)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_não\_estrut+porta} = \frac{1}{7.10 \times 10^{-2} + 2,78 \times 10^{-2}} = 5.66 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (34)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações ?? e ??

$$R_{total} = 1.56 \times 10^{-2} + 5.65 \times 10^{-2} = 7.21 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (35)$$

### 3.2.6 Telhado

Para cada uma das secções, **a área do telhado é igual**. Deste modo, ao calcular a resistência do telhado para uma secção, estamos a obter também o seu valor para todas as outras.

Secção	Material	$k \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$	$\Delta x \text{ (m)}$	Área ( $\text{m}^2$ )
Telhado	Telha	1.2	0.06	80.1
	Cimento	0.46	0.04	80.1
	Espuma de Poliuretano	0.028	0.17	80.1
	Gesso	0.25	0.03	80.1

Tabela 5: Composição da zona C

Com base na tabela ??, o cálculo das resistência para o telhado sucede-se da seguinte forma:

$$R_{telhado} = R_{telha} + R_{cimento} + R_{poliuretano} + R_{gesso} \quad (36)$$

$$\Leftrightarrow R_{telhado} = \frac{0.06}{1.2 \times 80.1} + \frac{0.04}{0.46 \times 80.1} + \frac{0.17}{0.028 \times 80.1} + \frac{0.03}{0.25 \times 80.1} = 7.90 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (37)$$