

**Licenciatura em Engenharia Informática**

**Física Aplicada – 2022/2023**

## **Relatório Resumo**

Projeto Integrador

**Autores:**

1191296 Gabriel Gonçalves

1191369 Tiago Leite

1211304 Francisco Bogalho

**Turma:** 2DI **Grupo:** 82

**Data:** 04/12/2022

## Introdução

Este trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular de Física Aplicada, onde elaborou-se uma pesquisa para construir uma estrutura composta por diferentes materiais, com características que permitam manter diferentes temperaturas.

Na estrutura das paredes exteriores é composta por sete camadas com três materiais diferentes a separar as temperaturas interiores das exteriores. Já a cobertura superior tem dupla inclinação mínima e cobre toda a estrutura, com o cume ao longo de todo o comprimento.

Assumiu-se um espaço físico grande como um armazém agrícola, com as seguintes dimensões:

- 10 metros de largura;
- 20 metros de comprimento;
- 5 metros de altura.

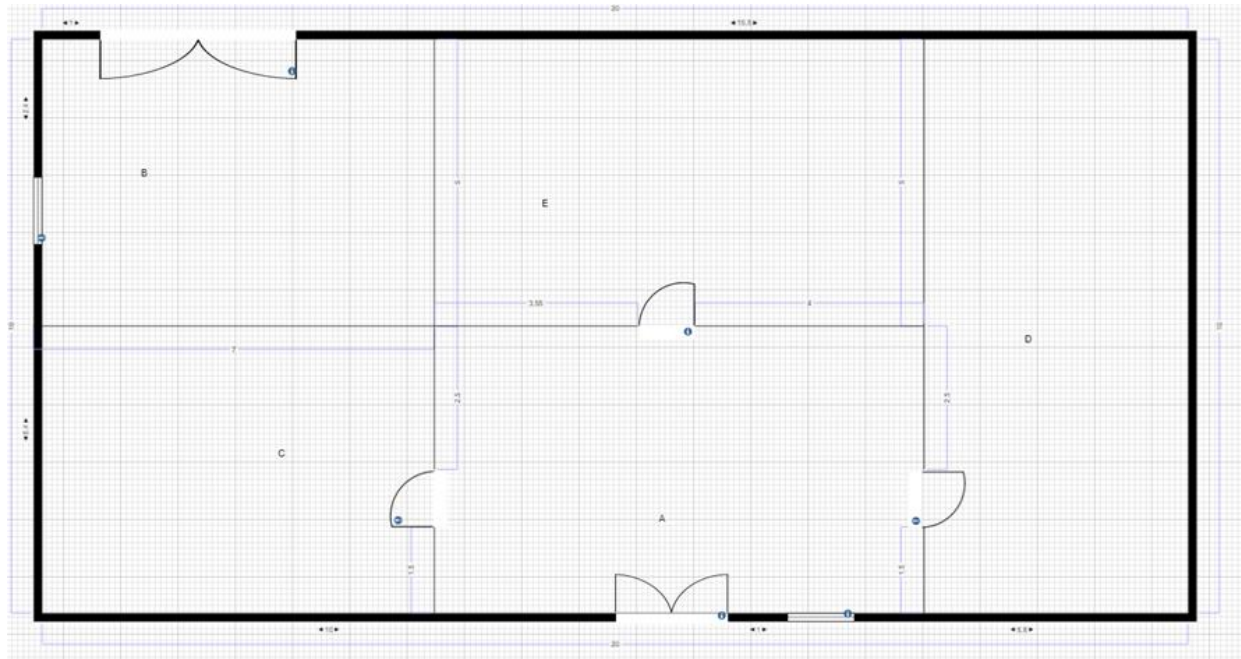
O espaço interior foi dividido em 5 zonas por forma a poder suportar diferentes temperaturas:

- Zona A – Contém uma porta de acesso e uma janela do lado do exterior. Esta zona deve funcionar a uma temperatura 5°C abaixo da temperatura que se encontra no exterior;
- Zona B – Sem ligação interior às restantes, só com ligação direta ao exterior e uma janela. Esta zona também deve funcionar a uma temperatura de 5°C abaixo daquela que se encontre no exterior;
- Zona C – Possui apenas uma porta de acesso à zona A. Esta zona deve funcionar a uma temperatura de -10 °C;
- Zona D – Esta zona deve funcionar a uma temperatura de 0 °C, e onde apenas existe uma porta de acesso para a zona A;
- Zona E – Deve ser mantida a uma temperatura de 10 °C, em que existe apenas uma porta que a liga com a zona A.

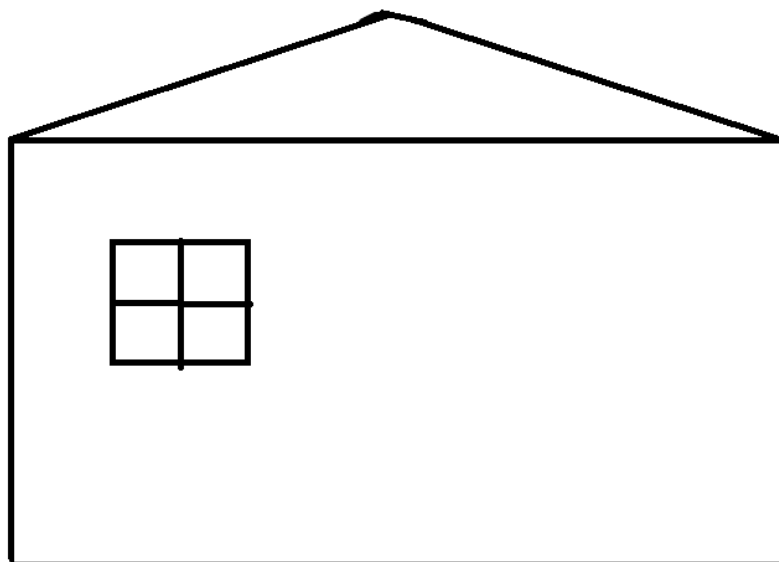
## Croqui (US401)

### Estrutura completa

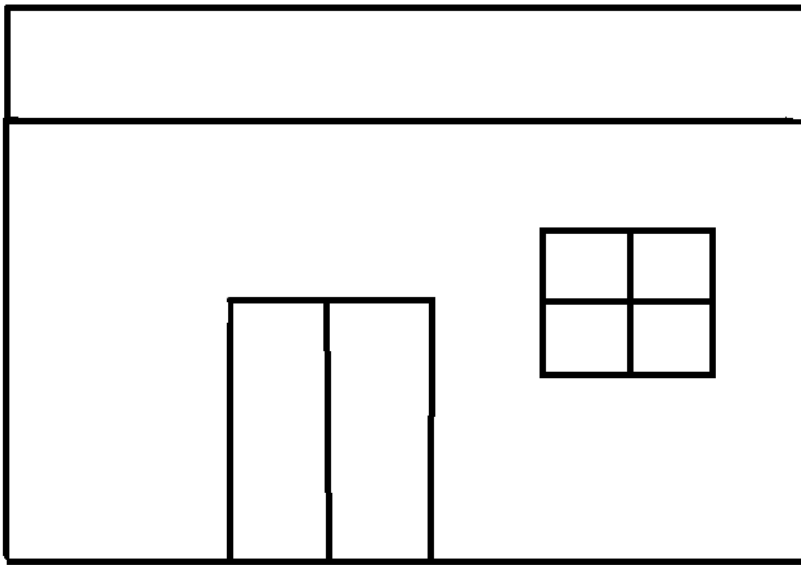
O armazém agrícola tem 20 metros de largura, 10 metros de comprimento e 5 metros de altura. O mesmo conta também com 5 zonas diferentes (A, B, C, D, E).



Vista da estrutura completa pela parede oeste

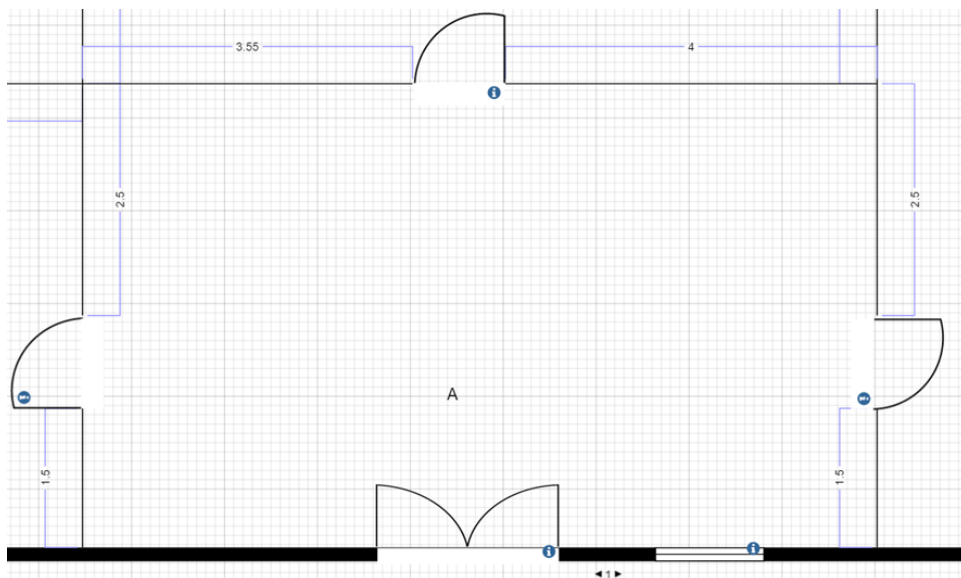


## Vista da estrutura completa pela parede sul



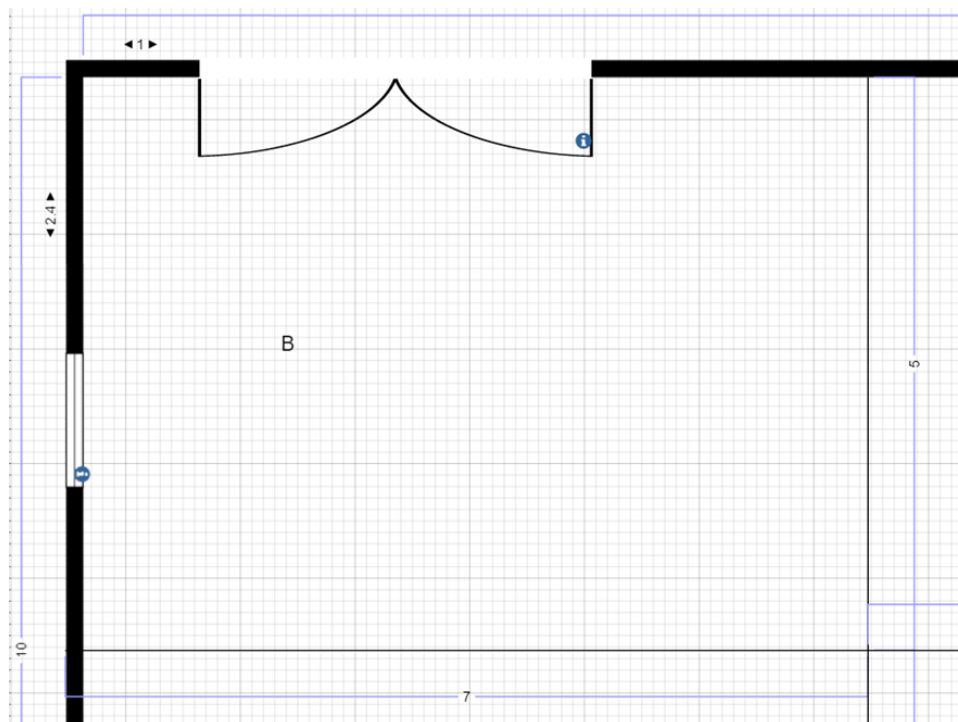
## Zona A

Na zona A, que tem de medidas de 8,55 metros de largura e 5 metros de comprimento, existe uma porta dupla para o exterior, de 2 metros de largura e 3 metros de altura. Existe também uma janela para o exterior de 1,2 metros de largura e 1,2 metros de altura. Nesta zona existem também ligações entre A e C, A e D, e A e E.



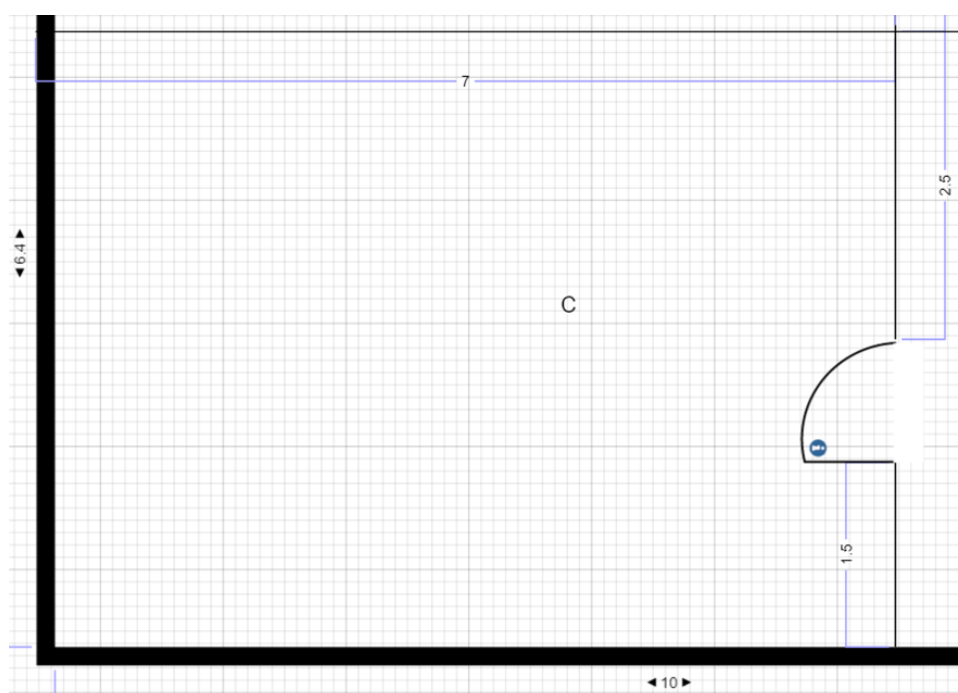
## Zona B

Na zona B, que tem medidas 7 metros de comprimento e 5 metros de largura, existe uma porta dupla para o exterior de 3,5 metros de comprimento e 4 de altura, e uma janela de 1,2 metros de largura e 1,2 metros de comprimento.



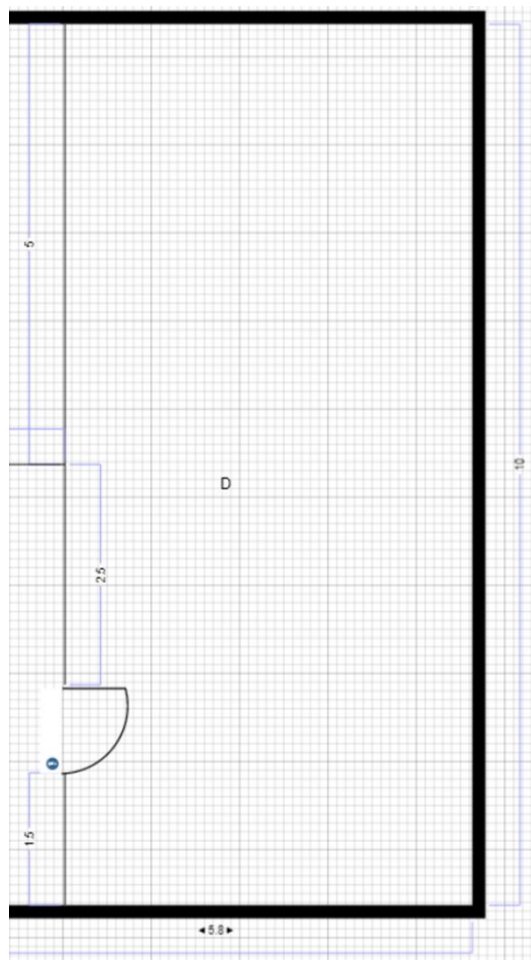
## Zona C

Na zona C, que tem medidas 7 metros de comprimento e 5 metros de largura, existe uma porta de ligação à zona A, a porta tem 1 metro de largura e 2 metros de altura.



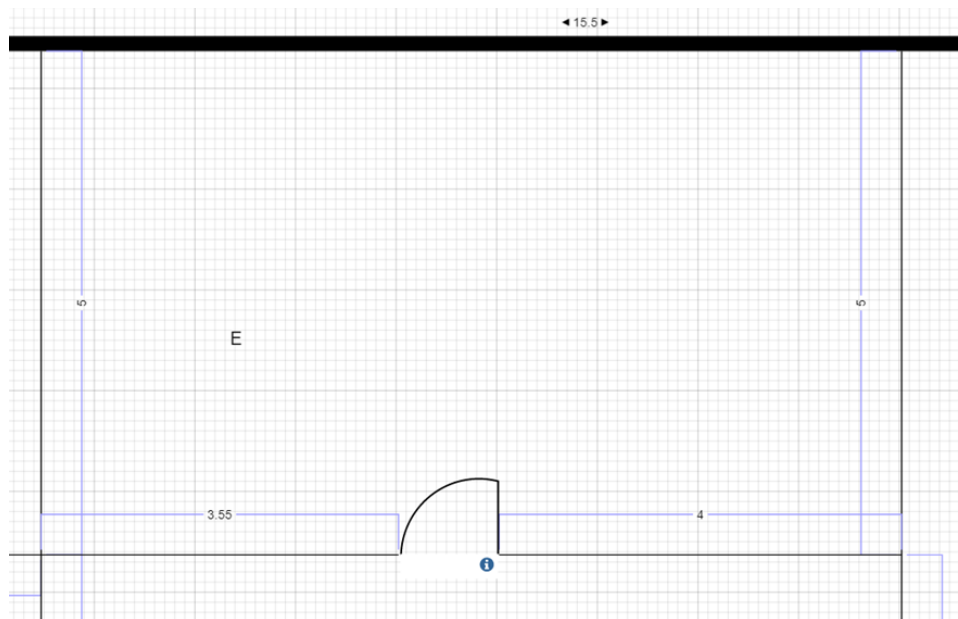
## Zona D

Na zona D, que tem medidas 10 metros de comprimento e 4,55 metros de largura, existe uma porta de ligação á zona A, a porta tem 1 metro de largura e 2 metros de altura.



## Zona E

Na zona E, que tem medidas 8,55 metros de comprimento e 5 metros de largura, existe uma porta de ligação á zona A, a porta tem 1 metro de largura e 2 metros de altura.



## Materiais e características térmicas

### Paredes exteriores (US402)

As paredes que formam a estrutura grande que envolve as dimensões pequenas, possuem os seguintes materiais na sua constituição:

- Tijolo com 14cm de espessura, na terceira posição a contar a partir do exterior;
- Poliestireno expandido com 7,5cm de espessura, na segunda posição a contar a partir do exterior;
- Betão leve com 10cm de espessura, na primeira posição a contar a partir do exterior.

Condutividade térmica destes materiais:

$$k_{Tijolo} = 0,6 \text{ W/(k.m)}$$

$$k_{Poliestireno \text{ expandido}} = 0,03808 \text{ W/(k.m)}$$

$$k_{Betão} = 0,18 \text{ W/(k.m)}$$

Área da parede grande com a porta grande:

Para determinar **apenas a área da parede grande**, que possui uma porta grande na sua estrutura, começamos por calcular a área da parede grande separadamente da área da porta grande. Após realizar estes dois cálculos, retiramos a área da porta grande à área da parede grande.

$$A_{Parede \text{ grande}} = 20 * 5 = 100 \text{ m}^2$$

$$A_{Porta \text{ grande}} = 3,5 * 4 = 14 \text{ m}^2$$

$$A_{Parede \text{ grande c/ porta grande}} = A_{Parede \text{ grande}} - A_{Porta \text{ grande}} = 100 - 14 = 86 \text{ m}^2$$

#### Área da parede grande com uma porta pequena e com uma janela:

Para determinar **apenas a área da parede grande**, que possui na sua estrutura uma porta pequena e uma janela, começamos por calcular a área de cada um destes componentes, separadamente. Após realizar estes cálculos, retiramos a área da porta pequena e da janela à área da parede grande.

$$A_{Parede\ grande} = 100\ m^2$$

$$A_{Porta\ pequena} = 2 * 3 = 6\ m^2$$

$$A_{Janela} = 1,2 * 1,2 = 1,44\ m^2$$

$$A_{Parede\ grande\ c/\ porta\ pequena\ e\ c/\ janela} = A_{Parede\ grande} - A_{Porta\ pequena} - A_{Janela}$$

$$A_{Parede\ grande\ c/\ porta\ pequena\ e\ c/\ janela} = 100 - 6 - 1,44 = 92,56\ m^2$$

#### Área da parede pequena com uma janela:

Para determinar **apenas a área da parede pequena**, que possui uma janela na sua estrutura, começamos por calcular a área da parede pequena e a área da janela, separadamente. Após realizar estes cálculos, retiramos a área da janela à área da parede pequena.

$$A_{Parede\ pequena} = 10 * 5 = 50\ m^2$$

$$A_{Janela} = 1,44\ m^2$$

$$A_{Parede\ pequena\ c/\ janela} = A_{Parede\ pequena} - A_{Janela} = 50 - 1,44 = 48,56\ m^2$$

#### Área da parede pequena sem portas e sem janelas:

Para determinar a área da parede pequena que não possui qualquer outro tipo de componentes na sua estrutura, basta realizar o cálculo da área dessa mesma parede.

$$A_{Parede\ pequena} = 50\ m^2$$

Agora com o conhecimento da área de cada parede, com a exclusão de janelas e portas, podemos então calcular a resistência térmica de cada uma das paredes exteriores existentes.

#### **Resistência térmica da parede grande com uma porta grande**

A área desta parede grande, com a exclusão da área da porta grande, tem um valor de  $93\ m^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{14 * 10^{-2}}{86 * 0,6} \approx 0,00271\ K/W$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{Poliestireno\ expandido} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{86 * 0,03808} \approx 0,02290\ K/W$$

- Resistência térmica do betão:



$$R_{Bet\tilde{a}o} = \frac{10 * 10^{-2}}{86 * 0,18} \approx 0,00646 K/W$$

Agora, para determinar a resist\^encia total da parede grande que cont\^em uma porta grande, devemos utilizar a analogia das resist\^encias em s\^erie, pois os materiais da parede encontram-se dispostos desta forma. Portanto, para obter a resist\^encia t\^ermica total apenas da parte da parede grande, excluindo a \^area da porta grande, deve-se somar a resist\^encia t\^ermica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_T = R_{Tijolo} + R_{Poliestireno\ expandido} + R_{Bet\tilde{a}o}$$

$$R_T = 0,00271 + 0,02290 + 0,00646 = 0,03207 K/W$$

#### **Resist\^encia t\^ermica da parede grande com uma porta pequena e com uma janela**

A \^area desta parede grande, com a exclus\~ao da \^area da porta pequena e da janela, tem um valor de  $94,56 m^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes c\~alculos para obter a resist\^encia t\^ermica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resist\^encia t\^ermica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{14 * 10^{-2}}{92,56 * 0,6} \approx 0,00252 K/W$$

- Resist\^encia t\^ermica do poliestireno expandido:

$$R_{Poliestireno\ expandido} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{92,56 * 0,03808} \approx 0,02128 K/W$$

- Resist\^encia t\^ermica do bet\~ao:

$$R_{Bet\tilde{a}o} = \frac{10 * 10^{-2}}{92,56 * 0,18} \approx 0,006 K/W$$

Agora, para determinar a resist\^encia total da parede grande que cont\^em uma porta pequena e uma janela, devemos utilizar a analogia das resist\^encias em s\^erie, pois os materiais da parede encontram-se dispostos desta forma. Portanto, para obter a resist\^encia t\^ermica total apenas da parte da parede grande, excluindo a \^area da porta pequena e da janela, deve-se somar a resist\^encia t\^ermica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_T = R_{Tijolo} + R_{Poliestireno\ expandido} + R_{Bet\tilde{a}o}$$

$$R_T = 0,00252 + 0,02128 + 0,006 = 0,0298 K/W$$

#### **Resist\^encia t\^ermica da parede pequena com uma janela**

A \^area desta parede pequena, com a exclus\~ao da \^area de uma janela, tem um valor de  $48,56 m^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes c\~alculos para obter a resist\^encia t\^ermica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resist\^encia t\^ermica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{14 * 10^{-2}}{48,56 * 0,6} \approx 0,00481 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{48,56 * 0,03808} \approx 0,04056 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do betão:

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{48,56 * 0,18} \approx 0,01144 \text{ K/W}$$

Agora, para determinar a resistência total da parede pequena que contém uma janela, devemos utilizar a analogia das resistências em série, pois os materiais da parede encontram-se dispostos desta forma. Portanto, para obter a resistência térmica total apenas da parte da parede pequena, excluindo a área da janela, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_T = R_{Tijolo} + R_{\text{Poliestireno expandido}} + R_{\text{Betão}}$$

$$R_T = 0,00481 + 0,04056 + 0,01144 = 0,05681 \text{ K/W}$$

#### **Resistência térmica da parede de menores dimensões sem porta e sem janela**

A área desta parede pequena tem um valor de  $50 \text{ m}^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{14 * 10^{-2}}{50 * 0,6} \approx 0,00467 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{50 * 0,03808} \approx 0,03939 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do betão:

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{50 * 0,18} \approx 0,01111 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência total da parede de menores dimensões sem portas e sem janelas, devemos utilizar novamente a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total da parede de menores dimensões, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{\text{Parede pequena}} = R_{Tijolo} + R_{\text{Poliestireno expandido}} + R_{\text{Betão}}$$

$$R_{\text{Parede pequena}} = 0,00467 + 0,03939 + 0,01111$$

$$R_{\text{Parede pequena}} \approx 0,05517 \text{ K/W}$$

## Telhado (US402)

No que toca à estrutura do telhado de duas águas, o modelo escolhido apenas possui três camadas:

- 7,5 cm de espessura lã de rocha no interior;
- 10 cm de espessura de madeira no interior;
- 5 cm de espessura de telha no exterior.

Características térmicas do material:

$$k_{Lã\ de\ rocha} = 0,035\ W/(m.k)$$

$$k_{Madeira} = 0,14\ W/(m.k)$$

$$k_{Telha} = 1,2\ W/(m.k)$$

Área do telhado:

$$A_{Telhado} = 10 * 20 = 200\ m^2$$

### Resistência térmica do telhado

- Resistência térmica da lã de rocha:

$$R_{Lã\ de\ rocha} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{200 * 0,035} \approx 0,01071\ K/W$$

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{Madeira} = \frac{10 * 10^{-2}}{200 * 0,14} \approx 0,00357\ K/W$$

- Resistência térmica da telha:

$$R_{Telha} = \frac{5 * 10^{-2}}{200 * 1,2} \approx 0,00021\ K/W$$

Para determinar a resistência do telhado devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de lã de rocha com a camada de madeira e com a camada de telha.

$$R_{Telhado} = R_{Lã\ de\ rocha} + R_{Madeira} + R_{Telha}$$

$$R_{Telhado} = 0,01071 + 0,00357 + 0,00021 \approx 0,01449\ K/W$$

Como o telhado escolhido é de duas águas, deve-se multiplicar a resistência do telhado calculada anteriormente por 2.

$$R_{Telhado\ duas\ águas} = R_{Telhado} * 2$$

$$R_{Telhado\ duas\ águas} = 0,01449 * 2 \approx 0,02898\ K/W$$

## Portas exteriores (US402)

No que toca à estrutura das portas exteriores, o modelo escolhido possui cinco camadas, constituído por apenas 3 materiais, resultando em 25 cm de grossura:

- 2,5 cm de espessura de madeira na primeira e quinta posição, a contar a partir do exterior;
- 10 cm de espessura de aço na terceira posição a contar, a partir do exterior;
- 5 cm de espessura de cortiça na segunda e quarta posição, a contar a partir do exterior.

Características térmicas do material:

$$k_{Madeira} = 0,14 \text{ W/(m.k)}$$

$$k_{Aço} = 52 \text{ W/(m.k)}$$

$$k_{Cortiça} = 0,04 \text{ W/(m.k)}$$

Área da porta exterior da zona A:

$$A_{Telhado} = 2 * 3 = 6 \text{ m}^2$$

Área da porta exterior da zona B:

$$A_{Telhado} = 3,5 * 4 = 14 \text{ m}^2$$

### Resistência térmica da porta exterior da zona A

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{Madeira} = \frac{0,025}{6 * 0,14} \approx 0,0298 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do aço:

$$R_{Aço} = \frac{0,1}{6 * 52} \approx 0,000321 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{0,05}{6 * 0,04} \approx 0,208 \text{ K/W}$$

### Resistência térmica da porta exterior da zona B

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{Madeira} = \frac{0,025}{14 * 0,14} \approx 0,0128 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do aço:

$$R_{Aço} = \frac{0,1}{14 * 52} \approx 0,000137 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{0,05}{14 * 0,04} \approx 0,0893 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência da porta exterior da zona A devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de madeira com a camada de aço e com a camada de cortiça.

$$R_{\text{Porta exterior da zona A}} = R_{\text{Madeira}} + R_{\text{Cortiça}} + R_{\text{Aço}} + R_{\text{Cortiça}} + R_{\text{Madeira}}$$

$$R_{\text{Porta exterior da zona A}} = 0,0298 + 0,208 + 0,000321 + 0,208 + 0,0298 \approx 0,476 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência da porta exterior da zona B devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de madeira com a camada de aço e com a camada de cortiça.

$$R_{\text{Porta exterior da zona B}} = R_{\text{Madeira}} + R_{\text{Cortiça}} + R_{\text{Aço}} + R_{\text{Cortiça}} + R_{\text{Madeira}}$$

$$R_{\text{Porta exterior da zona B}} = 0,0128 + 0,0893 + 0,000137 + 0,0893 + 0,0128 \approx 0,204 \text{ K/W}$$

## Janelas exteriores (US402)

No que toca à estrutura das janelas exteriores, o modelo escolhido possui três camadas, resultando em 25 cm de grossura:

- 5 cm de espessura de ar na segunda posição, a contar a partir do exterior;
- 10 cm de espessura de vidro na primeira e terceira posição a contar, a partir do exterior;

Características térmicas do material:

$$k_{Ar} = 0,03 \text{ W/(m.k)}$$
$$k_{Vidro} = 0,8 \text{ W/(m.k)}$$

Área de uma janela exterior:

$$A_{Telhado} = 1,2 * 1,2 = 1,44 \text{ m}^2$$

### Resistência térmica de uma janela exterior

- Resistência térmica do ar:

$$R_{Ar} = \frac{0,05}{1,44 * 0,03} \approx 1,157 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do vidro:

$$R_{Aço} = \frac{0,1}{1,44 * 52} \approx 0,0868 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência de uma janela exterior devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de ar com a camada de vidro.

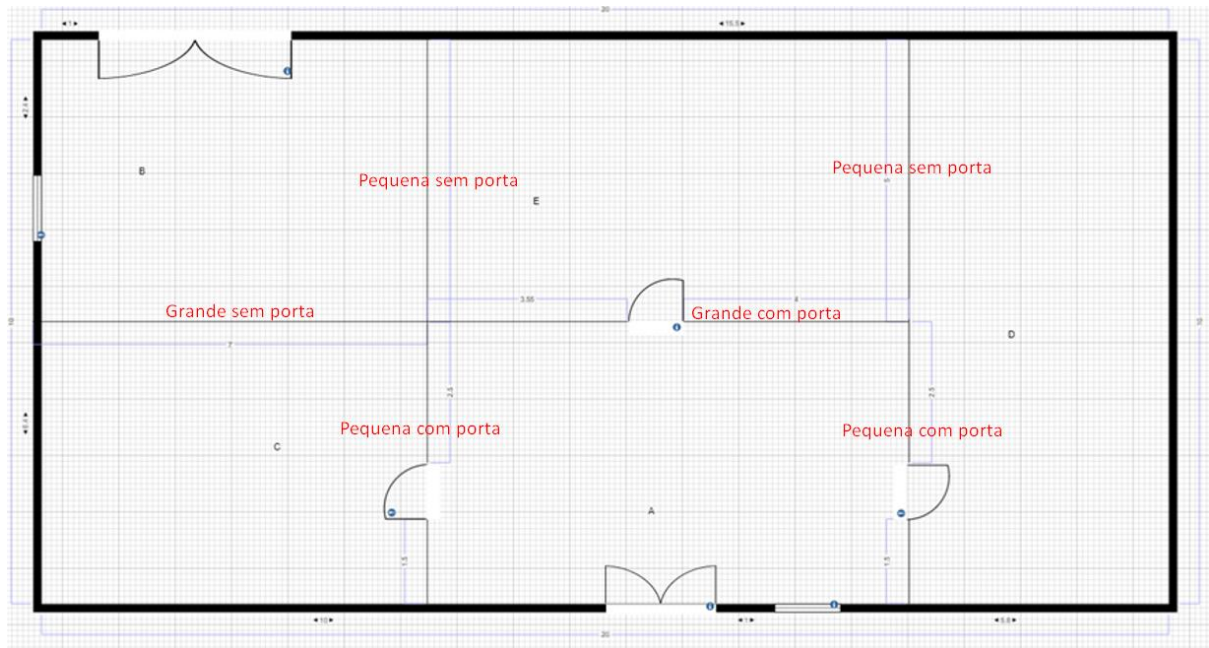
$$R_{\text{janela exterior}} = R_{Vidro} + R_{Ar} + R_{Vidro}$$
$$R_{\text{janela exterior}} = 0,0868 + 1,157 + 0,0868 \approx 1,331 \text{ K/W}$$

### Paredes interiores (US403)

As paredes interiores possuem os seguintes materiais na sua constituição:

- Tijolo com 9cm de espessura;
- Cortiça com 4cm de espessura;
- Cimento com 5cm de espessura.

Para uma melhor percepção foram nomeados nomes às paredes interiores, como ilustra a seguinte figura.



Área da parede interior pequena sem porta:

Para determinar **apenas a área da parede interior pequena**, que não possui qualquer outro tipo de componentes na sua estrutura, basta realizar o cálculo da área dessa mesma parede.

$$A_{\text{parede pequena}} = 5 * 5 = 25 \text{ m}^2$$

Área da parede interior pequena com a porta:

Para determinar **apenas a área da parede interior pequena**, que possui uma porta na sua estrutura, começamos por calcular a área da parede pequena separadamente da área da porta. Após realizar estes dois cálculos, retiramos a área da porta à área da parede pequena.

$$A_{\text{Parede pequena}} = 5 * 5 = 25 \text{ m}^2$$

$$A_{porta} = 1 * 2 = 2 \text{ m}^2$$

$$A_{Parede\ pequena\ c/ porta} = A_{Parede\ pequena} - A_{Porta} = 25 - 2 = 23\ m^2$$

Área da parede interior grande sem porta:

Para determinar **apenas a área da parede interior grande**, que não possui qualquer outro tipo de componentes na sua estrutura, basta realizar o cálculo da área dessa mesma parede.

$$A_{Parede\ pequena} = 7 * 5 = 35\ m^2$$

#### Área da parede interior grande com a porta:

Para determinar **apenas a área da parede interior grande**, que possui uma porta na sua estrutura, começamos por calcular a área da parede grande separadamente da área da porta. Após realizar estes dois cálculos, retiramos a área da porta à área da parede grande.

$$A_{Parede\ grande} = 8,55 * 5 = 42,75\ m^2$$

$$A_{Porta} = 1 * 2 = 2\ m^2$$

$$A_{Parede\ grande\ c/ porta} = A_{Parede\ grande} - A_{Porta} = 42,75 - 2 = 40,75\ m^2$$

Agora com o conhecimento da área de cada parede, com a exclusão de portas, podemos então calcular a resistência térmica de cada uma das paredes interiores existentes.

#### **Resistência térmica da parede interior pequena sem porta**

A área desta parede pequena tem um valor de  $25\ m^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{9 * 10^{-2}}{25 * 0,6} \approx 0,006\ K/W$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{4 * 10^{-2}}{25 * 0,06} \approx 0,02667\ K/W$$

- Resistência térmica do cimento:

$$R_{Cimento} = \frac{5 * 10^{-2}}{25 * 0,9} \approx 0,00222\ K/W$$

Para determinar a resistência total da parede de menores dimensões sem porta, devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total da parede de menores dimensões, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{Parede\ pequena} = R_{Tijolo} + R_{Cortiça} + R_{Cimento}$$

$$R_{Parede\ pequena} = 0,006 + 0,02667 + 0,00222$$

$$R_{Parede\ pequena} \approx 0,03489\ K/W$$



### Resistência térmica da parede interior pequena com porta

A área desta parede pequena, com a exclusão da área da porta, tem um valor de  $23 \text{ m}^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{9 * 10^{-2}}{23 * 0,6} \approx 0,00652 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{4 * 10^{-2}}{23 * 0,06} \approx 0,02899 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do cimento:

$$R_{Cimento} = \frac{5 * 10^{-2}}{23 * 0,9} \approx 0,00242 \text{ K/W}$$

Agora, para determinar a resistência total da parede pequena que contém uma porta, devemos utilizar a analogia das resistências em série, pois os materiais da parede encontram-se dispostos desta forma. Portanto, para obter a resistência térmica total apenas da parte da parede pequena, excluindo a área da porta, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{Parede\ pequena\ c/porta} = R_{Tijolo} + R_{Cortiça} + R_{Cimento}$$

$$R_{Parede\ pequena\ c/porta} = 0,00652 + 0,02899 + 0,00242 \approx 0,03793 \text{ K/W}$$

### Resistência térmica da parede interior grande sem porta

A área desta parede grande tem um valor de  $35 \text{ m}^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{9 * 10^{-2}}{35 * 0,6} \approx 0,00429 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{4 * 10^{-2}}{35 * 0,06} \approx 0,01905 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do cimento:

$$R_{Cimento} = \frac{5 * 10^{-2}}{35 * 0,9} \approx 0,00159 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência total da parede de maiores dimensões sem porta, devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total da parede de maiores dimensões, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{Parede\ grande} = R_{Tijolo} + R_{Cortiça} + R_{Cimento}$$

$$R_{Parede\ grande} = 0,00429 + 0,01905 + 0,00159$$

$$R_{Parede\ grande} \approx 0,02493\ K/W$$

### **Resistência térmica da parede interior grande com porta**

A área desta parede grande, com a exclusão da área da porta, tem um valor de  $40,75\ m^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{9 * 10^{-2}}{40,75 * 0,6} \approx 0,00368\ K/W$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{4 * 10^{-2}}{40,75 * 0,06} \approx 0,01636\ K/W$$

- Resistência térmica do cimento:

$$R_{Cimento} = \frac{5 * 10^{-2}}{40,75 * 0,9} \approx 0,00136\ K/W$$

Agora, para determinar a resistência total da parede grande que contém uma porta, devemos utilizar novamente a analogia das resistências em série, pois os materiais da parede encontram-se dispostos desta forma. Portanto, para obter a resistência térmica total apenas da parte da parede grande, excluindo a área da porta, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{Parede\ grande\ c/porta} = R_{Tijolo} + R_{Cortiça} + R_{Cimento}$$

$$R_{Parede\ grande\ c/porta} = 0,00368 + 0,01636 + 0,00136 \approx 0,0214\ K/W$$

## Portas de acesso interiores (US403)

Existem três portas interiores, sendo que todas possuem os mesmos materiais na sua constituição, ou seja, são iguais. Estes materiais são:

- Duas placas de madeira com 3 cm de espessura cada, uma na primeira posição e outra na quinta posição;
- Duas caixas de ar com 3 cm de espessura cada, uma na segunda posição e outra na quarta posição;
- Uma placa de cortiça com 6 cm de espessura, no meio dos restantes materiais, ou seja, na terceira posição;

Condutividade térmica destes materiais:

$$k_{Madeira} = 0,14 \text{ W/(m.k)}$$

$$k_{ar} = 0,03 \text{ W/(m.k)}$$

$$k_{Cortiça} = 0,06 \text{ W/(m.k)}$$

Área de cada uma das portas do interior:

Para determinar **apenas a área de uma porta do interior**, que não possui qualquer outro tipo de componentes na sua estrutura, basta realizar o cálculo da área dessa mesma porta.

$$A_{Porta\ do\ interior} = 1 * 2 = 2 \text{ m}^2$$

Agora com o conhecimento da área de cada uma das portas do interior, sendo estas todas iguais, podemos então calcular a resistência térmica de cada uma delas.

### Resistência térmica de uma porta do interior

A área de cada uma das portas do interior tem um valor de  $2 \text{ m}^2$ , como calculado anteriormente. Desta forma, realizamos os seguintes cálculos para obter a resistência térmica de cada um dos materiais que as constitui:

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{Madeira} = \frac{3 * 10^{-2}}{2 * 0,14} \approx 0,10714 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do ar:

$$R_{Ar} = \frac{3 * 10^{-2}}{2 * 0,03} \approx 0,5 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{6 * 10^{-2}}{2 * 0,06} \approx 0,5 \text{ K/W}$$

Agora, para determinar a resistência total de cada uma das portas do interior, devemos utilizar a analogia das resistências em série, pois os materiais de uma porta encontram-se dispostos desta forma. Portanto, para obter a resistência térmica total de uma porta, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados. Neste cálculo será necessário multiplicar por dois tanto

a resistência térmica da madeira como a do ar, porque temos duas placas de madeira e duas caixas de ar na constituição de uma porta.

$$R_{Porta\ do\ interior} = 2 * R_{Madeira} + 2 * R_{Ar} + R_{Cortiça}$$

$$R_{Porta\ do\ interior} = 2 * 0,10714 + 2 * 0,5 + 0,5 \approx 1,71428\ K/W$$

## Resistência térmica de cada zona (US404)

### Estrutura completa

A **resistência térmica da parede norte da estrutura completa**, que é constituída por uma parede externa em paralelo com a porta externa da zona B, tem o valor:

$$R_{\text{Parede norte da estrutura completa}} = \left( \frac{1}{R_{\text{Parede exterior}}} + \frac{1}{R_{\text{Porta externa da zona B}}} \right)^{-1}$$
$$R_{\text{Parede norte da estrutura completa}} = \left( \frac{1}{0,03207} + \frac{1}{0,204} \right)^{-1} = 0,0277 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica da parede este da estrutura completa**, que é constituída por uma parede externa e que já foi calculada anteriormente, tem o valor de:

$$R_{\text{Parede este da estrutura completa}} = 0,05517 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica da parede sul da estrutura completa**, que é constituída por uma parede externa em paralelo com a porta externa da zona A e em paralelo com uma janela, tem o valor:

$$R_{\text{Parede sul da estrutura completa}} = \left( \frac{1}{R_{\text{Parede exterior}}} + \frac{1}{R_{\text{Porta externa zona A}}} + \frac{1}{R_{\text{janela}}} \right)^{-1}$$
$$R_{\text{Parede sul da estrutura completa}} = \left( \frac{1}{0,0298} + \frac{1}{0,476} + \frac{1}{1,331} \right)^{-1} = 0,027466 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica da parede oeste da estrutura completa**, que é constituída por uma parede externa e uma janela, tem o valor:

$$R_{\text{Parede oeste da estrutura completa}} = \left( \frac{1}{R_{\text{Parede exterior}}} + \frac{1}{R_{\text{janela}}} \right)^{-1}$$
$$R_{\text{Parede oeste da estrutura completa}} = \left( \frac{1}{0,05681} + \frac{1}{1,331} \right)^{-1} = 0,05448 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica do telhado da estrutura completa**, que é constituído por um telhado de duas águas e que já foi calculada anteriormente, tem o valor de:

$$R_{\text{Telhado da estrutura completa}} = 0,02898 \text{ K/W}$$

Dado isto, podemos concluir em relação à estrutura completa, que a resistência térmica do:

- conjunto parede do norte da estrutura completa é de 0,0277 K/W;
- conjunto parede do este da estrutura completa é de 0,05517 K/W;
- conjunto parede do sul da estrutura completa é de 0,027466 K/W;
- conjunto parede do oeste da estrutura completa é de 0,05448 K/W;
- conjunto telhado da estrutura completa é de 0,02898 K/W.

## Zona C

A **resistência térmica da parede norte da zona C**, que é constituída por uma parede interior e que a sua resistência térmica já foi calculada anteriormente, tendo um valor de:

$$R_{\text{Parede norte da zona C}} = 0,02493 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica da parede este da zona C**, que é constituída por uma parede interior e por porta interior, tem valor de:

$$R_{\text{Parede este da zona C}} = \left( \frac{1}{R_{\text{Parede interior}}} + \frac{1}{R_{\text{Porta interior}}} \right)^{-1}$$
$$R_{\text{Parede este da zona C}} = \left( \frac{1}{0,03793} + \frac{1}{1,71428} \right)^{-1} = 0,03711 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica da parede sul da zona C**, que é constituída por uma parede exterior e tem 35 m<sup>2</sup> de área, tem valor da soma das resistências de cada camada:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{35 * 0,6} \approx 0,00667 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{35 * 0,03808} \approx 0,0563 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do betão:

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{35 * 0,18} \approx 0,01587 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência total da parede exterior sul da zona C, devemos utilizar novamente a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total da parede exterior sul da zona C, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{\text{Parede sul da zona C}} = R_{\text{Tijolo}} + R_{\text{Poliestireno expandido}} + R_{\text{Betão}}$$

$$R_{\text{Parede sul da zona C}} = 0,00667 + 0,0563 + 0,01587 = 0,1389 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica da parede oeste da zona C**, que é constituída por uma parede exterior e tem 25 m<sup>2</sup> de área, tem o valor da soma das resistências de cada camada:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{25 * 0,6} \approx 0,00933 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{25 * 0,03808} \approx 0,0788 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do betão:

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{25 * 0,18} \approx 0,0222 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência total da parede exterior oeste da zona C, devemos utilizar novamente a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total da parede de menores dimensões, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{\text{Parede oeste da zona C}} = R_{\text{Tijolo}} + R_{\text{Poliestireno expandido}} + R_{\text{Betão}}$$

$$R_{\text{Parede oeste da zona C}} = 0,00933 + 0,0788 + 0,0222 = 0,11033 \text{ K/W}$$

A **resistência térmica do telhado da zona C**, que é constituído por três camadas e tem  $35 \text{ m}^2$  de área, tem o valor da soma das resistências de cada camada:

- Resistência térmica da lã de rocha:

$$R_{\text{Lã de rocha}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{35 * 0,035} \approx 0,061224 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{\text{Madeira}} = \frac{10 * 10^{-2}}{35 * 0,14} \approx 0,020408 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da telha:

$$R_{\text{Telha}} = \frac{5 * 10^{-2}}{35 * 1,2} \approx 0,00119 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência do telhado devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de lã de rocha com a camada de madeira e com a camada de telha.

$$R_{\text{Telhado}} = R_{\text{Lã de rocha}} + R_{\text{Madeira}} + R_{\text{Telha}}$$

$$R_{\text{Telhado}} = 0,061224 + 0,020408 + 0,00119 \approx 0,0827 \text{ K/W}$$

Dado isto, podemos concluir em relação à zona C, que a resistência térmica do:

- conjunto parede do norte da zona C é de  $0,02493 \text{ K/W}$ ;
- conjunto parede do este da zona C é de  $0,03711 \text{ K/W}$ ;
- conjunto parede do sul da zona C é de  $0,1389 \text{ K/W}$ ;
- conjunto parede do oeste da zona C é de  $0,11033 \text{ K/W}$ ;
- conjunto telhado da zona C é de  $0,0827 \text{ K/W}$ .

## Zona D

A **parede norte da zona D** é constituída por uma parede exterior, em que nesta zona ela tem um comprimento de 4,55 metros e uma altura de 5 metros. A partir desta informação, podemos calcular a sua área:

$$A_{\text{Parede norte da zona D}} = 4,55 * 5 = 22,75 \text{ m}^2$$

Para calcular a resistência total desta parede, temos de primeiro calcular a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui.

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{22,75 * 0,6} \approx 0,01026 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{22,75 * 0,03808} \approx 0,08657 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do betão:

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{22,75 * 0,18} \approx 0,02442 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência total da parede exterior norte da zona D, devemos utilizar a analogia das resistências em série, pois os materiais encontram-se dispostos dessa forma. Portanto, para obter a resistência total desta parede, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{\text{Parede norte da zona D}} = R_{\text{Tijolo}} + R_{\text{Poliestireno expandido}} + R_{\text{Betão}}$$

$$R_{\text{Parede norte da zona D}} = 0,01026 + 0,08657 + 0,02442 = 0,12125 \text{ K/W}$$

A **parede este da zona D** é constituída por uma parede exterior com  $50 \text{ m}^2$ , como calculado anteriormente. Também já foi calculado anteriormente que esta parede conta com a resistência térmica indicada a seguir:

$$R_{\text{Parede este da zona D}} \approx 0,05517 \text{ K/W}$$

**Nota:** Esta parede é representada nos cálculos anteriores por parede pequena sem portas e sem janelas.

A **parede sul da zona D** conta exatamente com as mesmas características que a parede norte desta mesma zona. Podemos então dizer que a parede sul da zona D tem a resistência térmica indicada a seguir:

$$R_{\text{Parede sul da zona D}} = R_{\text{Parede norte da zona D}} = 0,12125 \text{ K/W}$$

A **parede oeste da zona D** conta com uma parede de 10 metros de comprimento e 5 metros de altura. Dada esta informação, podemos calcular a sua área:

$$A_{\text{Parede oeste da zona D}} = 10 * 5 = 50 \text{ m}^2$$

Agora sabendo a área da parede, temos de retirar a área da porta que está integrada nesta mesma parede. Para isso sabendo a área da porta, fazemos a área da parede menos a área da porta.

$$A_{\text{Porta do interior}} = 2 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Parede oeste da zona D s/ porta}} = A_{\text{Parede oeste da zona D}} - A_{\text{Porta do interior}} = 50 - 2 = 48 \text{ m}^2$$

Para calcular a resistência total desta parede, temos de primeiro calcular a resistência térmica de cada um dos materiais que a constitui.



- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{Tijolo} = \frac{9 * 10^{-2}}{48 * 0,6} \approx 0,00313 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da cortiça:

$$R_{Cortiça} = \frac{4 * 10^{-2}}{48 * 0,06} \approx 0,01389 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do cimento:

$$R_{Cimento} = \frac{5 * 10^{-2}}{48 * 0,9} \approx 0,00116 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência térmica da parede oeste da zona D, sem contar com a porta que está embutida na sua estrutura, devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência térmica desta parede, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{Parede\ oeste\ da\ zona\ D\ s/\ porta} = R_{Tijolo} + R_{Cortiça} + R_{Cimento}$$

$$R_{Parede\ oeste\ da\ zona\ D\ s/\ porta} = 0,00313 + 0,01389 + 0,00116$$

$$R_{Parede\ oeste\ da\ zona\ D\ s/\ porta} \approx 0,01818 \text{ K/W}$$

Sabemos, devido a já ter sido calculado anteriormente, a resistência térmica que uma porta do interior tem. Essa resistência térmica é a seguinte:

$$R_{Porta\ do\ interior} \approx 1,71428 \text{ K/W}$$

Como a porta interior encontra-se disposta em paralelo em relação à parede, teremos de realizar o seguinte cálculo para sabermos a resistência do conjunto da parede oeste da zona D com a porta:

$$R_{Parede\ oeste\ da\ zona\ D} = \left( \frac{1}{R_{Parede\ oeste\ da\ zona\ D\ s/\ porta}} + \frac{1}{R_{Porta\ interior}} \right)^{-1}$$

$$R_{Parede\ oeste\ da\ zona\ D} = \left( \frac{1}{0,01818} + \frac{1}{1,71428} \right)^{-1} = 0,01799 \text{ K/W}$$

A **parte do telhado da zona D**, que é constituído por três camadas de materiais, tem a seguinte área:

$$A_{Telhado\ zona\ D} = 10 * 4,55 = 45,5 \text{ m}^2$$

Sabendo agora a área que o telhado representa, iremos calcular a resistência térmica que cada material que o constitui tem com esta área:

- Resistência térmica da lã de rocha:

$$R_{Lã\ de\ rocha} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{45,5 * 0,035} \approx 0,04710 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{Madeira} = \frac{10 * 10^{-2}}{45,5 * 0,14} \approx 0,01570 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da telha:

$$R_{Telha} = \frac{5 * 10^{-2}}{45,5 * 1,2} \approx 0,00092 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência térmica do telhado nesta zona, devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de lã de rocha com a camada de madeira e com a camada de telha.

$$R_{Telhado} = R_{Lã \text{ de rocha}} + R_{Madeira} + R_{Telha}$$

$$R_{Telhado} = 0,04710 + 0,01570 + 0,00092 \approx 0,06372 \text{ K/W}$$

Como o telhado escolhido é de duas águas e esta zona apanha exatamente a ligação de cada uma delas no meio, deve-se multiplicar a resistência do telhado calculada anteriormente por 2.

$$R_{Telhado \text{ duas águas}} = R_{Telhado} * 2$$

$$R_{Telhado \text{ duas águas}} = 0,06372 * 2 \approx 0,12744 \text{ K/W}$$

Dado isto, podemos concluir em relação à zona D, que a resistência térmica do:

- Conjunto parede norte da zona D é de 0,12125 K/W;
- Conjunto parede este da zona D é de 0,05517 K/W;
- Conjunto parede sul da zona D é de 0,12125 K/W;
- Conjunto parede oeste da zona D é de 0,01799 K/W;
- Conjunto telhado da zona D é de 0,12744 K/W.

## Zona E

A resistência térmica da **parede norte da zona E**, que é constituída por uma parede exterior e tem  $42,75 \text{ m}^2$  de área, tem o valor da soma das resistências de cada camada:

- Resistência térmica do tijolo:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{42,75 * 0,6} \approx 0,00546 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do poliestireno expandido:

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{42,75 * 0,03808} \approx 0,04607 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica do betão:

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{42,75 * 0,18} \approx 0,01299 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência total da parede exterior norte da zona E, devemos utilizar novamente a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total da parede, deve-se somar a resistência térmica de todos os materiais nela utilizados.

$$R_{\text{Parede norte da zona E}} = R_{\text{Tijolo}} + R_{\text{Poliestireno expandido}} + R_{\text{Betão}}$$

$$R_{\text{Parede norte da zona E}} = 0,00546 + 0,04607 + 0,01299 = 0,06452 \text{ K/W}$$

A resistência térmica da **parede este da zona E**, que é constituída por uma parede interior e que a sua resistência térmica já foi calculada anteriormente, tendo um valor de:

$$R_{\text{Parede este da zona E}} = 0,03489 \text{ K/W}$$

A resistência térmica da **parede sul da zona E**, que é constituída por uma parede interior e por porta interior, tem valor de:

$$R_{\text{Parede sul da zona C}} = \left( \frac{1}{R_{\text{Parede interior}}} + \frac{1}{R_{\text{porta}}} \right)^{-1}$$

$$R_{\text{Parede sul da zona C}} = \left( \frac{1}{0,0214} + \frac{1}{1,71428} \right)^{-1} = 0,02114 \text{ K/W}$$

A **parede oeste da zona E** conta exatamente com as mesmas características que a parede este desta mesma zona. Podemos então dizer que a parede oeste da zona E tem a resistência térmica indicada a seguir:

$$R_{\text{Parede oeste da zona E}} = R_{\text{Parede este da zona E}} = 0,03489 \text{ K/W}$$

A resistência térmica do **telhado da zona E**, que é constituído por três camadas e tem  $42,75 \text{ m}^2$  de área, tem o valor da soma das resistências de cada camada:

- Resistência térmica da lã de rocha:

$$R_{Lã \text{ de rocha}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{42,75 * 0,035} \approx 0,05013 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da madeira:

$$R_{Madeira} = \frac{10 * 10^{-2}}{42,75 * 0,14} \approx 0,01671 \text{ K/W}$$

- Resistência térmica da telha:

$$R_{Telha} = \frac{5 * 10^{-2}}{42,75 * 1,2} \approx 0,00098 \text{ K/W}$$

Para determinar a resistência do telhado devemos utilizar a analogia das resistências em série. Portanto, para obter a resistência total do telhado, deve-se somar a resistência da camada de lã de rocha com a camada de madeira e com a camada de telha.

$$R_{Telhado \text{ da zona E}} = R_{Lã \text{ de rocha}} + R_{Madeira} + R_{Telha}$$

$$R_{Telhado \text{ da zona E}} = 0,05013 + 0,01671 + 0,00098 \approx 0,06782 \text{ K/W}$$

Dado isto, podemos concluir em relação à zona E, que a resistência térmica do:

- Conjunto parede norte da zona E é de  $0,06452 \text{ K/W}$ ;
- Conjunto parede este da zona E é de  $0,03489 \text{ K/W}$ ;
- Conjunto parede sul da zona E é de  $0,02114 \text{ K/W}$ ;
- Conjunto parede oeste da zona E é de  $0,03489 \text{ K/W}$ ;
- Conjunto telhado da zona E é de  $0,06782 \text{ K/W}$ .

## Energia necessária á manutenção da temperatura de uma zona (US406)

Nesta US é pedido para calcular a energia necessária para manter uma determinada temperatura num espaço fechado. Para tal, devemos considerar a estrutura previamente designada, bem como as três situações distintas: na 1ª situação, manter uma temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  na zona C; na 2ª situação, manter uma temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  na zona D e na 3ª situação manter uma temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  na zona E.

### Zona C

Para uma temperatura interior de  $-10^{\circ}\text{C}$  e tendo em conta que uma hora correspondem a 3600 segundos.

Tem-se também as temperaturas exteriores a cada parede da zona C:

- $T_{\text{exterior à parede norte da zona C}} = 10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede este da zona C}} = 10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede sul da zona C}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede oeste da zona C}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior ao telhado da zona C}} = 15^{\circ}\text{C}$

E para cada temperatura calcula-se a variação de temperatura na interface:

- $\Delta T_{\text{parede norte}} = 10 - (-10) = 20^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede este}} = 10 - (-10) = 20^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede sul}} = 15 - (-10) = 25^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede oeste}} = 15 - (-10) = 25^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{telhado}} = 15 - (-10) = 25^{\circ}\text{C}$

Tem-se também as resistências térmicas de cada estrutura que limita a zona C:

- $R_{\text{parede norte}} = 0,02493 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede este}} = 0,03711 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede sul}} = 0,1389 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede oeste}} = 0,11033 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado}} = 0,0827 \text{ K/W}$

Para cada interface têm-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede norte}} = \frac{20}{0,02493} \approx 802,246 \text{ W}$
- $I_{\text{parede este}} = \frac{20}{0,03711} \approx 538,938 \text{ W}$
- $I_{\text{parede sul}} = \frac{25}{0,1389} \approx 179,987 \text{ W}$
- $I_{\text{parede oeste}} = \frac{25}{0,11033} \approx 226,593 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado}} = \frac{25}{0,0827} \approx 302,298 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ norte} = 802,246 * 3600 = 2,888 * 10^6 J$
- $E_{parede\ este} = 538,938 * 3600 = 1,940 * 10^6 J$
- $E_{parede\ sul} = 179,987 * 3600 = 6,48 * 10^5 J$
- $E_{parede\ oeste} = 226,593 * 3600 = 8,157 * 10^5 J$
- $E_{telhado} = 302,298 * 3600 = 1,088 * 10^6 J$

Por fim, tem-se a quantidade de energia total que é necessária fornecer para manter a zona C a 10°C:

$$E_{total} = E_{parede\ norte} + E_{parede\ este} + E_{parede\ sul} + E_{parede\ oeste} + E_{telhado} = 7,38 * 10^6 J$$

## Zona D

Para uma temperatura interior de  $0^{\circ}\text{C}$  e tendo em conta que uma hora correspondem a 3600 segundos.

Tem-se também as temperaturas exteriores a cada parede da zona D:

- $T_{\text{exterior à parede norte da zona D}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede este da zona D}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede sul da zona D}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede oeste da zona D}} = 10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior ao telhado da zona D}} = 15^{\circ}\text{C}$

E para cada temperatura calcula-se a variação de temperatura na interface:

- $\Delta T_{\text{parede norte}} = 15 - 0 = 15^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede este}} = 15 - 0 = 15^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede sul}} = 15 - 0 = 15^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede oeste}} = 10 - 0 = 10^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{telhado}} = 15 - 0 = 15^{\circ}\text{C}$

Tem-se também as resistências térmicas de cada estrutura que limita a zona D:

- $R_{\text{parede norte}} = 0,12125 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede este}} = 0,05517 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede sul}} = 0,12125 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede oeste}} = 0,01799 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado}} = 0,12744 \text{ K/W}$

Para cada interface têm-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede norte}} = \frac{15}{0,12125} \approx 123,711 \text{ W}$
- $I_{\text{parede este}} = \frac{15}{0,05517} \approx 271,887 \text{ W}$
- $I_{\text{parede sul}} = \frac{15}{0,12125} \approx 123,711 \text{ W}$
- $I_{\text{parede oeste}} = \frac{10}{0,01799} \approx 555,864 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado}} = \frac{15}{0,12744} \approx 117,702 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte}} = 123,711 * 3600 \approx 4,454 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede este}} = 271,887 * 3600 \approx 9,788 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede sul}} = 123,711 * 3600 \approx 4,454 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede oeste}} = 555,864 * 3600 \approx 2,001 * 10^6 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado}} = 117,702 * 3600 \approx 4,237 * 10^5 \text{ J}$

Por fim, tem-se a quantidade de energia total que é necessária fornecer para manter a zona D a  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte}} + E_{\text{parede este}} + E_{\text{parede sul}} + E_{\text{parede oeste}} + E_{\text{telhado}} = 4,294 * 10^6 \text{ J}$$

## Zona E

Para uma temperatura interior de 10°C e tendo em conta que uma hora correspondem a 3600 segundos.

Tem-se também as temperaturas exteriores a cada parede da zona E:

- $T_{\text{exterior à parede norte da zona E}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede este da zona E}} = 0^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede sul da zona E}} = 10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior à parede oeste da zona E}} = 10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{exterior ao telhado da zona E}} = 15^{\circ}\text{C}$

E para cada temperatura calcula-se a variação de temperatura na interface:

- $\Delta T_{\text{parede norte}} = 15 - 10 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede este}} = 0 - 10 = -10^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede sul}} = 10 - 10 = 0^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{parede oeste}} = 10 - 10 = 0^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{telhado}} = 15 - 10 = 5^{\circ}\text{C}$

Tem-se também as resistências térmicas de cada estrutura que limita a zona E:

- $R_{\text{parede norte}} = 0,06452 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede este}} = 0,03489 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede sul}} = 0,02114 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede oeste}} = 0,03489 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado}} = 0,06782 \text{ K/W}$

Para cada interface têm-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede norte}} = \frac{5}{0,06452} \approx 77,495 \text{ W}$
- $I_{\text{parede este}} = \frac{-10}{0,03489} \approx -286,615 \text{ W}$
- $I_{\text{parede sul}} = \frac{0}{0,02114} \approx 0 \text{ W}$
- $I_{\text{parede oeste}} = \frac{0}{0,03489} \approx 0 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado}} = \frac{5}{0,06782} \approx 73,725 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte}} = 77,495 * 3600 = 2,789 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede este}} = -286,615 * 3600 = -1,032 * 10^6 \text{ J}$
- $E_{\text{parede sul}} = 0 * 3600 = 0 \text{ J}$
- $E_{\text{parede oeste}} = 0 * 3600 = 0 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado}} = 73,725 * 3600 = 2,654 * 10^5 \text{ J}$

Por fim, tem-se a quantidade de energia total que é necessária fornecer para manter a zona E a 10°C:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte}} + E_{\text{parede este}} + E_{\text{parede sul}} + E_{\text{parede oeste}} + E_{\text{telhado}} = -4,877 * 10^5 \text{ J}$$



## Energia necessária á manutenção da temperatura da estrutura completa (US407)

Para a resolução desta US, que consiste em calcular a energia total a fornecer a uma estrutura, sendo esta a previamente definida, para manter uma temperatura interior no caso da temperatura exterior seja 20°C, e numa segunda situação, para uma temperatura exterior de 28°C, é necessário saber a resistência de todas as fronteiras com o exterior, sendo estas:

- ❖ A parede norte da estrutura completa, composta pela parede norte da zona B, D e E;
- ❖ A parede este da estrutura completa, composta pela parede este da zona D;
- ❖ A parede sul da estrutura completa, composta pela parede sul da zona A, C e D;
- ❖ A parede oeste da estrutura completa, composta pela parede oeste da zona B e C;
- ❖ O telhado da estrutura completa, composto pelo telhado da zona A, B, C, D e E.

### Cálculos auxiliares

Para a resolução desta US é necessário o valor da resistência da parede sul da zona A, da parede norte da zona B, da parede oeste da zona B e do telhado da zona A e B, que ainda não foram calculados.

#### Resistência térmica da parede sul da zona A:

Área:

$$\text{Área total} = 8,55 * 5 = 42,75 \text{ m}^2$$

$$\text{Área janela} = 1,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da porta da zona A} = 6 \text{ m}^2$$

$$\text{Área parede} = 42,75 - 6 - 1,44 = 35,31 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{35,31 * 0,6} \approx 0,0066 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{35,31 * 0,03808} \approx 0,0558 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{35,31 * 0,18} \approx 0,0157 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Total}} = 0,0066 + 0,0558 + 0,0157 \approx 0,0781 \text{ K/W}$$

Resistência da janela:

$$R_{\text{janela}} = 1,331 \text{ K/W}$$

Resistência da porta da zona A:

$$R_{\text{Porta da zona A}} = 0,476 \text{ K/W}$$

Resistência da parede sul da zona A:

$$R_{\text{Parede sul da zona A}} = \left( \frac{1}{0,0781} + \frac{1}{1,331} + \frac{1}{0,476} \right)^{-1} \approx 0,0639 \text{ K/W}$$

#### **Resistência da parede norte da zona B:**

Área:

$$\text{Área total} = 7 * 5 = 35 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da porta da zona B} = 14 \text{ m}^2$$

$$\text{Área parede} = 35 - 14 = 21 \text{ m}^2$$

Resistência da parede:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{21 * 0,6} \approx 0,011 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{21 * 0,03808} \approx 0,094 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{21 * 0,18} \approx 0,026 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Total}} = 0,011 + 0,094 + 0,026 \approx 0,131 \text{ K/W}$$

Resistência da porta da zona B:

$$R_{\text{Porta da zona B}} = 0,204 \text{ K/W}$$

Resistência da parede norte da zona B:

$$R_{\text{Parede norte da zona B}} = \left( \frac{1}{0,131} + \frac{1}{0,204} \right)^{-1} \approx 0,0798 \text{ K/W}$$

#### **Resistência da parede oeste da zona B:**

Área:

$$\text{Área total} = 5 * 5 = 25 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da janela} = 1,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Área parede} = 25 - 1,44 = 23,56 \text{ m}^2$$

Resistência da parede:

$$R_{\text{Tijolo}} = \frac{14 * 10^{-2}}{23,56 * 0,6} \approx 0,0099 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Poliestireno expandido}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{23,56 * 0,03808} \approx 0,0836 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Betão}} = \frac{10 * 10^{-2}}{23,56 * 0,18} \approx 0,0236 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Total}} = 0,0099 + 0,0836 + 0,0236 \approx 0,1171 \text{ K/W}$$

Resistência da janela:

$$R_{\text{Janela}} = 1,331 \text{ K/W}$$

Resistência da parede oeste da zona B:

$$R_{\text{Parede oeste da zona B}} = \left( \frac{1}{0,1171} + \frac{1}{1,331} \right)^{-1} \approx 0,1076 \text{ K/W}$$

**Resistência do telhado da zona A:**

Área:

$$\text{Área telhado} = 8,55 * 5 = 42,75 \text{ m}^2$$

Resistência do telhado:

$$R_{\text{Lã de rocha}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{42,75 * 0,035} \approx 0,0501 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Madeira}} = \frac{10 * 10^{-2}}{42,75 * 0,14} \approx 0,0167 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Telha}} = \frac{5 * 10^{-2}}{42,75 * 1,2} \approx 0,00097 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Telhado da zona A}} = 0,0501 + 0,016 + 0,00097 \approx 0,06777 \text{ K/W}$$

**Resistência do telhado da zona B:**

Área:

$$\text{Área telhado} = 7 * 5 = 35 \text{ m}^2$$

Resistência do telhado:

$$R_{\text{Lã de rocha}} = \frac{7,5 * 10^{-2}}{35 * 0,035} \approx 0,0612 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Madeira}} = \frac{10 * 10^{-2}}{35 * 0,14} \approx 0,0204 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Telha}} = \frac{5 * 10^{-2}}{35 * 1,2} \approx 0,0012 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Telhado da zona B}} = 0,0612 + 0,0204 + 0,0012 \approx 0,0828 \text{ K/W}$$

Com os cálculos auxiliares e com cálculos anteriores, tem-se todos os valores necessários para a realização desta US:

- Resistência da parede sul da zona A = 0,0639 K/W
- Resistência da parede norte da zona B = 0,0798 K/W
- Resistência da parede oeste da zona B = 0,1076 K/W
- Resistência da parede sul da zona C = 0,1389 K/W
- Resistência da parede oeste da zona C = 0,11033 K/W
- Resistência da parede norte da zona D = 0,12125 K/W
- Resistência da parede este da zona D = 0,05517 K/W
- Resistência da parede sul da zona D = 0,12125 K/W
- Resistência da parede norte da zona E = 0,06452 K/W
- Resistência do telhado da zona A = 0,0612 K/W
- Resistência do telhado da zona B = 0,0828 K/W
- Resistência do telhado da zona C = 0,0827 K/W
- Resistência do telhado da zona D = 0,1274 K/W
- Resistência do telhado da zona E = 0,0678 K/W

## Temperatura exterior de 20°C

Para uma temperatura exterior de 20°C e tendo em conta que uma hora correspondem a 3600 segundos.

Temos a temperatura interior de cada zona:

- $T_{\text{interior da zona A}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona B}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona C}} = -10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona D}} = 0^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona E}} = 10^{\circ}\text{C}$

E também temos a variação de temperatura em cada zona:

- $\Delta T_{\text{zona A}} = 20 - 15 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona B}} = 20 - 15 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona C}} = 20 - (-10) = 30^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona D}} = 20 - 0 = 20^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona E}} = 20 - 10 = 10^{\circ}\text{C}$

Após a realização destes cálculos, calcula-se agora a energia para cada parede da estrutura e para o telhado:

### Parede norte:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{\text{parede norte da zona B}} = 0,0798 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede norte da zona D}} = 0,12125 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede norte da zona E}} = 0,06452 \text{ K/W}$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede norte da zona B}} = \frac{5}{0,0798} \approx 62,6566 \text{ W}$
- $I_{\text{parede norte da zona D}} = \frac{20}{0,12125} \approx 164,9485 \text{ W}$
- $I_{\text{parede norte da zona E}} = \frac{10}{0,06452} \approx 154,9907 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte da zona B}} = 62,6566 * 3600 = 2,25 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede norte da zona D}} = 164,9485 * 3600 = 5,94 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede norte da zona E}} = 154,9907 * 3600 = 5,58 * 10^5 \text{ J}$

Para a parede norte da estrutura completa são precisos:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte da zona B}} + E_{\text{parede norte da zona D}} + E_{\text{parede norte da zona E}} \approx 1,38 * 10^6 \text{ J}$$

**Parede este:**

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 0,05517\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ este\ da\ zona\ D} = \frac{20}{0,05517} \approx 362,5159\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 362,5159 * 3600 = 1,31 * 10^6\ J$

Para a parede este da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 1,31 * 10^6\ J$$

**Parede sul:**

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = 0,0639\ K/W$
- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = 0,1389\ K/W$
- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 0,12125\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = \frac{5}{0,0639} \approx 78,2473\ W$
- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = \frac{30}{0,1389} \approx 215,9827\ W$
- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = \frac{20}{0,12125} \approx 164,9485\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = 78,2473 * 3600 = 2,82 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = 215,9827 * 3600 = 7,78 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 164,9485 * 3600 = 5,94 * 10^5\ J$

Para a parede sul da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ sul\ da\ zona\ A} + E_{parede\ sul\ da\ zona\ C} + E_{parede\ sul\ da\ zona\ D} \approx 1,65 * 10^6\ J$$

### Parede oeste:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{\text{parede oeste da zona B}} = 0,1076 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede oeste da zona C}} = 0,11033 \text{ K/W}$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede oeste da zona B}} = \frac{5}{0,1076} \approx 46,4684 \text{ W}$
- $I_{\text{parede oeste da zona C}} = \frac{30}{0,11033} \approx 271,9115 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte}} = 46,4684 * 3600 = 1,67 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede este}} = 271,9115 * 3600 = 9,79 * 10^5 \text{ J}$

Para a parede oeste da estrutura completa são precisos:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte}} + E_{\text{parede este}} \approx 1,15 * 10^6 \text{ J}$$

### Telhado

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{\text{telhado da zona A}} = 0,0612 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona B}} = 0,0828 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona C}} = 0,0827 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona D}} = 0,1274 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona E}} = 0,0678 \text{ K/W}$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{telhado da zona A}} = \frac{5}{0,0612} \approx 81,6993 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona B}} = \frac{5}{0,0828} \approx 60,3865 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona C}} = \frac{30}{0,0827} \approx 362,7570 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona D}} = \frac{20}{0,1274} \approx 156,9859 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona E}} = \frac{10}{0,0678} \approx 147,4926 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{telhado da zona A}} = 81,6993 * 3600 = 2,94 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona B}} = 60,3865 * 3600 = 2,17 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona C}} = 362,7570 * 3600 = 1,31 * 10^6 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona D}} = 156,9859 * 3600 = 5,65 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona E}} = 147,4926 * 3600 = 5,31 * 10^5 \text{ J}$

Para o telhado da estrutura completa são precisos:

$$E_{Total} = E_{telhado\ da\ zona\ A} + E_{telhado\ da\ zona\ B} + E_{telhado\ da\ zona\ C} + E_{telhado\ da\ zona\ D} \\ + E_{telhado\ da\ zona\ E} \approx 2,92 * 10^6 J$$

**Total**

- $E_{parede\ norte} = 1,38 * 10^6 J$
- $E_{parede\ este} = 1,31 * 10^6 J$
- $E_{parede\ sul} = 1,65 * 10^6 J$
- $E_{parede\ oeste} = 1,15 * 10^6 J$
- $E_{telhado} = 2,92 * 10^6 J$

$$E_{Total} = E_{parede\ norte} + E_{parede\ este} + E_{parede\ sul} + E_{parede\ oeste} + E_{telhado} = 8,41 * 10^6 J$$

A energia total a fornecer á estrutura grande com todas as suas divisões interiores mantidas às temperaturas indicadas é:  $8,41 * 10^6 J$ .



## Temperatura exterior de 28°C

Para uma temperatura exterior de 28°C e tendo em conta que uma hora correspondem a 3600 segundos.

Temos a temperatura interior de cada zona:

- $T_{\text{interior da zona A}} = 23^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona B}} = 23^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona C}} = -10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona D}} = 0^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona E}} = 10^{\circ}\text{C}$

E também temos a variação de temperatura em cada zona:

- $\Delta T_{\text{zona A}} = 28 - 23 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona B}} = 28 - 23 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona C}} = 28 - (-10) = 38^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona D}} = 28 - 0 = 28^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona E}} = 28 - 10 = 18^{\circ}\text{C}$

Após a realização destes cálculos, calcula-se agora a energia para cada parede da estrutura e para o telhado:

### Parede norte:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{\text{parede norte da zona B}} = 0,0798 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede norte da zona D}} = 0,12125 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede norte da zona E}} = 0,06452 \text{ K/W}$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede norte da zona B}} = \frac{5}{0,0798} \approx 62,6566 \text{ W}$
- $I_{\text{parede norte da zona D}} = \frac{28}{0,12125} \approx 230,9278 \text{ W}$
- $I_{\text{parede norte da zona E}} = \frac{18}{0,06452} \approx 278,9833 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte da zona B}} = 62,6566 * 3600 \approx 2,26 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede norte da zona D}} = 230,9278 * 3600 \approx 8,31 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede norte da zona E}} = 278,9833 * 3600 \approx 1,004 * 10^6 \text{ J}$

Para a parede norte da estrutura completa são precisos:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte da zona B}} + E_{\text{parede norte da zona D}} + E_{\text{parede norte da zona E}} \approx 2,06 * 10^6 \text{ J}$$

**Parede este:**

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 0,05517\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ este\ da\ zona\ D} = \frac{28}{0,05517} \approx 507,5222\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 507,5222 * 3600 \approx 1,83 * 10^6\ J$

Para a parede este da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 1,83 * 10^6\ J$$

**Parede sul:**

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = 0,0639\ K/W$
- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = 0,1389\ K/W$
- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 0,12125\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = \frac{5}{0,0639} \approx 78,2473\ W$
- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = \frac{38}{0,1389} \approx 273,5781\ W$
- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = \frac{28}{0,12125} \approx 230,9278\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = 78,2473 * 3600 \approx 2,82 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = 273,5781 * 3600 \approx 9,85 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 230,9278 * 3600 \approx 8,31 * 10^5\ J$

Para a parede sul da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ sul\ da\ zona\ A} + E_{parede\ sul\ da\ zona\ C} + E_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 2,098 * 10^6\ J$$

**Parede oeste:**

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ oeste\ da\ zona\ B} = 0,1076\ K/W$
- $R_{parede\ oeste\ da\ zona\ C} = 0,11033\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ oeste\ da\ zona\ B} = \frac{5}{0,1076} \approx 46,4684\ W$
- $I_{parede\ oeste\ da\ zona\ C} = \frac{38}{0,11033} \approx 344,4213\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ norte} = 46,4684 * 3600 \approx 1,67 * 10^5 J$
- $E_{parede\ este} = 344,4213 * 3600 \approx 1,24 * 10^6 J$

Para a parede oeste da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ norte} + E_{parede\ este} \approx 1,41 * 10^6 J$$

### Telhado

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{telhado\ da\ zona\ A} = 0,06777\ K/W$
- $R_{telhado\ da\ zona\ B} = 0,0828\ K/W$
- $R_{telhado\ da\ zona\ C} = 0,0827\ K/W$
- $R_{telhado\ da\ zona\ D} = 0,12744\ K/W$
- $R_{telhado\ da\ zona\ E} = 0,06782\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{telhado\ da\ zona\ A} = \frac{5}{0,06777} \approx 73,7790\ W$
- $I_{telhado\ da\ zona\ B} = \frac{5}{0,0828} \approx 60,3865\ W$
- $I_{telhado\ da\ zona\ C} = \frac{38}{0,0827} \approx 459,4921\ W$
- $I_{telhado\ da\ zona\ D} = \frac{28}{0,12744} \approx 219,7112\ W$
- $I_{telhado\ da\ zona\ E} = \frac{18}{0,06782} \approx 265,4084\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{telhado\ da\ zona\ A} = 73,7790 * 3600 \approx 2,66 * 10^5 J$
- $E_{telhado\ da\ zona\ B} = 60,3865 * 3600 \approx 2,17 * 10^5 J$
- $E_{telhado\ da\ zona\ C} = 459,4921 * 3600 \approx 1,65 * 10^6 J$
- $E_{telhado\ da\ zona\ D} = 219,7112 * 3600 \approx 7,91 * 10^5 J$
- $E_{telhado\ da\ zona\ E} = 265,4084 * 3600 \approx 9,55 * 10^5 J$

Para o telhado da estrutura completa são precisos:

$$E_{Total} = E_{telhado\ da\ zona\ A} + E_{telhado\ da\ zona\ B} + E_{telhado\ da\ zona\ C} + E_{telhado\ da\ zona\ D} + E_{telhado\ da\ zona\ E} \approx 3,88 * 10^6 J$$

**Total**

- $E_{parede\ norte} = 2,06 * 10^6\ J$
- $E_{parede\ este} = 1,83 * 10^6\ J$
- $E_{parede\ sul} = 2,098 * 10^6\ J$
- $E_{parede\ oeste} = 1,41 * 10^6\ J$
- $E_{telhado} = 3,88 * 10^6\ J$

$$E_{Total} = E_{parede\ norte} + E_{parede\ este} + E_{parede\ sul} + E_{parede\ oeste} + E_{telhado} \approx 1,13 * 10^7\ J$$

A energia total a fornecer á estrutura grande com todas as suas divisões interiores mantidas às temperaturas indicadas é:  $1,13 * 10^7\ J$ .

## Determinar quais as alterações nas paredes da estrutura (US408)

Nesta US alterar-se á a composição de algumas paredes e calcular-se á a energia total a fornecer á nova estrutura.

### Indicar quais as alterações de materiais e suas características a usar nas paredes partilhadas.

Para atender ao que é pedido no enunciado será necessário alterar-se as paredes exteriores e as paredes interiores que rodeiam a zona C, as paredes interiores que rodeiam a zona D e as paredes interiores que rodeiam a zona E.

As paredes interiores que fazem fronteira com as zonas C, D e E constituem todas as paredes interiores da estrutura.

No que toca á nova estrutura das paredes exteriores, o modelo escolhido possui cinco camadas resultando em 40 cm de grossura:

- Concreto de isolamento com 2,5cm de espessura na primeira e sétima posição;
- Cortiça expandida com 5cm de espessura na segunda, quarta e sexta posição;
- Cimento de asbestos com 10cm de espessura na terceira e quinta posição;

#### Condutividade térmica destes materiais:

$$k_{\text{Concreto de isolamento}} = 0,12 \text{ W/(k.m)}$$

$$k_{\text{Cortiça expandida}} = 0,02 \text{ W/(k.m)}$$

$$k_{\text{Cimento de asbestos}} = 0,35 \text{ W/(k.m)}$$

No que toca á nova estrutura das paredes interiores, o modelo escolhido possui cinco camadas, resultando em 25 cm de grossura:

- Lã de rocha com 2,5 cm de grossura na primeira e quinta posição;
- Cortiça expandida com 5 cm de grossura na segunda e quarta posição;
- Tijolo com 10 cm de grossura na terceira posição.

#### Condutividade térmica destes materiais:

$$k_{\text{Lã de rocha}} = 0,04 \text{ W/(k.m)}$$

$$k_{\text{Cortiça expandida}} = 0,02 \text{ W/(k.m)}$$

$$k_{\text{Tijolo}} = 0,6 \text{ W/(k.m)}$$

## Energia necessária à manutenção da temperatura da nova estrutura completa para uma temperatura exterior de 20°C

Agora que já foram indicadas as alterações dos materiais e as suas características nas paredes da estrutura, iremos realizar os cálculos para verificar se a energia necessária a fornecer à nova estrutura completa, com uma temperatura exterior de 20°C, é menor do que anteriormente de forma a manter as suas temperaturas interiores.

Desta forma, torna-se necessário recalcular a resistência de todas as fronteiras com o exterior, sendo estas:

- ❖ A parede norte da estrutura completa, composta pela parede norte da zona B, D e E;
- ❖ A parede este da estrutura completa, composta pela parede este da zona D;
- ❖ A parede sul da estrutura completa, composta pela parede sul da zona A, C e D;
- ❖ A parede oeste da estrutura completa, composta pela parede oeste da zona B e C;

O telhado também será tido em conta, mas não sofreu alterações nos seus materiais nem características.

- ❖ Telhado da estrutura completa, composto pelo telhado da zona A, B, C, D e E.

### Cálculos auxiliares

#### Cálculo da resistência térmica parede norte da zona B:

Área:

$$A_{Total} = 35 \text{ m}^2$$

$$A_{Porta \text{ da zona B}} = 14 \text{ m}^2$$

$$A_{Parede \text{ norte da zona B}} = 21 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{21 * 0,12} \approx 0,0099 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{21 * 0,02} \approx 0,1191 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{21 * 0,35} \approx 0,0136 \text{ K/W}$$

$$R_{Total} = 2 * 0,0099 + 3 * 0,1191 + 2 * 0,0136 \approx 0,4043 \text{ K/W}$$

Resistência da porta da zona B:

$$R_{Porta \text{ da zona B}} = 0,204 \text{ K/W}$$

Resistência da parede norte da zona B:

$$R_{Parede \text{ norte da zona B}} = \left( \frac{1}{0,4043} + \frac{1}{0,204} \right)^{-1} \approx 0,1356 \text{ K/W}$$

### **Cálculo da resistência térmica da parede norte da zona E:**

Área:

$$A_{\text{parede norte da zona E}} = 42,75 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{42,75 * 0,12} \approx 0,0049 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{42,75 * 0,02} \approx 0,0585 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{42,75 * 0,35} \approx 0,0067 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Parede norte da zona E}} = 2 * 0,0049 + 3 * 0,0585 + 2 * 0,0067 \approx 0,1987 \text{ K/W}$$

### **Cálculo da resistência térmica da parede norte da zona D:**

Área:

$$A_{\text{parede norte da zona D}} = 22,75 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{22,75 * 0,12} \approx 0,0092 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{22,75 * 0,02} \approx 0,1099 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{22,75 * 0,35} \approx 0,0126 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Parede norte da zona D}} = 2 * 0,0092 + 3 * 0,1099 + 2 * 0,0126 \approx 0,3733 \text{ K/W}$$

### **Cálculo da resistência térmica da parede este da zona D**

Área:

$$A_{\text{parede este da zona D}} = 50 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{50 * 0,12} \approx 0,0042 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{50 * 0,02} \approx 0,05 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{50 * 0,35} \approx 0,0057 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Parede este da zona D}} = 2 * 0,0042 + 3 * 0,05 + 2 * 0,0057 \approx 0,1698 \text{ K/W}$$

#### **Cálculo da resistência térmica da parede sul da zona D**

A parede sul da zona D tem as mesmas dimensões e as mesmas características da zona norte desta mesma área. Desta forma, já temos a sua resistência calculada:

$$R_{\text{Parede sul da zona D}} \approx 0,3733 \text{ K/W}$$

#### **Cálculo da resistência térmica da parede sul da zona A**

Área:

$$A_{\text{Total}} = 42,75 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{janela}} = 1,44 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{porta da zona A}} = 6 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{parede sul da zona A}} = 35,31 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{35,31 * 0,12} \approx 0,0059 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{35,31 * 0,02} \approx 0,0708 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{35,31 * 0,35} \approx 0,0081 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Total}} = 2 * 0,0059 + 3 * 0,0708 + 2 * 0,0081 \approx 0,2404 \text{ K/W}$$

Resistência da janela:

$$R_{\text{janela}} = 1,331 \text{ K/W}$$

Resistência da porta da zona A:

$$R_{\text{Porta da zona A}} = 0,476 \text{ K/W}$$

Resistência da parede sul da zona A:

$$R_{\text{Parede sul da zona A}} = \left( \frac{1}{0,2404} + \frac{1}{1,331} + \frac{1}{0,476} \right)^{-1} \approx 0,1426 \text{ K/W}$$



### **Cálculo da resistência térmica da parede sul da zona C**

Área:

$$A_{\text{Parede sul da zona C}} = 35 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{35 * 0,12} \approx 0,0060 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{35 * 0,02} \approx 0,0714 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{35 * 0,35} \approx 0,0082 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Parede sul da zona C}} = 2 * 0,0060 + 3 * 0,0714 + 2 * 0,0082 \approx 0,2426 \text{ K/W}$$

### **Cálculo da resistência térmica da parede oeste da zona C**

Área:

$$A_{\text{Parede oeste da zona C}} = 25 \text{ m}^2$$

Resistência térmica da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{25 * 0,12} \approx 0,0083 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{25 * 0,02} \approx 0,1 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{25 * 0,35} \approx 0,0114 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Parede oeste da zona C}} = 2 * 0,0083 + 3 * 0,1 + 2 * 0,0114 \approx 0,3394 \text{ K/W}$$

### **Cálculo da resistência térmica da parede oeste da zona B**

Área:

$$A_{\text{Total}} = 25 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Janela}} = 1,44 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Parede oeste da zona B}} = 23,56 \text{ m}^2$$

Resistência da parede:

$$R_{\text{Concreto de isolamento}} = \frac{2,5 * 10^{-2}}{23,56 * 0,12} \approx 0,0088 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cortiça expandida}} = \frac{5 * 10^{-2}}{23,56 * 0,02} \approx 0,1061 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Cimento de asbestos}} = \frac{10 * 10^{-2}}{23,56 * 0,35} \approx 0,0121 \text{ K/W}$$

$$R_{\text{Total}} = 2 * 0,0088 + 3 * 0,1061 + 2 * 0,0121 \approx 0,3601 \text{ K/W}$$

Resistência da janela:

$$R_{\text{Janela}} = 1,331 \text{ K/W}$$

Resistência da parede oeste da zona B:

$$R_{\text{Parede oeste da zona B}} = \left( \frac{1}{0,3601} + \frac{1}{1,331} \right)^{-1} \approx 0,2834 \text{ K/W}$$

Com os cálculos auxiliares e com cálculos anteriores, tem-se todos os valores necessários para a realização desta US:

- Resistência da parede sul da zona A = 0,1426 K/W
- Resistência da parede norte da zona B = 0,1356 K/W
- Resistência da parede oeste da zona B = 0,2834 K/W
- Resistência da parede sul da zona C = 0,2426 K/W
- Resistência da parede oeste da zona C = 0,3394 K/W
- Resistência da parede norte da zona D = 0,3733 K/W
- Resistência da parede este da zona D = 0,1698 K/W
- Resistência da parede sul da zona D = 0,3733 K/W
- Resistência da parede norte da zona E = 0,1987 K/W
- Resistência do telhado da zona A = 0,0612 K/W
- Resistência do telhado da zona B = 0,0828 K/W
- Resistência do telhado da zona C = 0,0827 K/W
- Resistência do telhado da zona D = 0,1274 K/W
- Resistência do telhado da zona E = 0,0678 K/W

### Cálculo da energia necessária à manutenção da temperatura da nova estrutura completa para uma temperatura exterior de 20°C

Para uma temperatura exterior de 20°C e tendo em conta as alterações dos materiais efetuadas, e que uma hora correspondem a 3600 segundos.

Temos a temperatura interior de cada zona:

- $T_{\text{interior da zona A}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona B}} = 15^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona C}} = -10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona D}} = 0^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{interior da zona E}} = 10^{\circ}\text{C}$

E também temos a variação de temperatura em cada zona:

- $\Delta T_{\text{zona A}} = 20 - 15 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona B}} = 20 - 15 = 5^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona C}} = 20 - (-10) = 30^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona D}} = 20 - 0 = 20^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\text{zona E}} = 20 - 10 = 10^{\circ}\text{C}$

Após a realização destes cálculos, calcula-se agora a energia para cada parede da estrutura e para o telhado:

#### Parede norte:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{\text{parede norte da zona B}} = 0,1356 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede norte da zona D}} = 0,3733 \text{ K/W}$
- $R_{\text{parede norte da zona E}} = 0,1987 \text{ K/W}$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede norte da zona B}} = \frac{5}{0,1356} \approx 36,8732 \text{ W}$
- $I_{\text{parede norte da zona D}} = \frac{20}{0,3733} \approx 53,5762 \text{ W}$
- $I_{\text{parede norte da zona E}} = \frac{10}{0,1987} \approx 50,3271 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte da zona B}} = 36,8732 * 3600 = 1,33 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede norte da zona D}} = 53,5762 * 3600 = 1,93 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{parede norte da zona E}} = 50,3271 * 3600 = 1,81 * 10^5 \text{ J}$

Para a parede norte da estrutura completa são precisos:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte da zona B}} + E_{\text{parede norte da zona D}} + E_{\text{parede norte da zona E}} \approx 5,07 * 10^5 \text{ J}$$

### Parede este:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 0,1698\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ este\ da\ zona\ D} = \frac{20}{0,1698} \approx 117,7856\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 117,7856 * 3600 = 4,24 * 10^5\ J$

Para a parede este da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ este\ da\ zona\ D} = 4,24 * 10^5\ J$$

### Parede sul:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = 0,1426\ K/W$

- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = 0,2426\ K/W$

- $R_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 0,3733\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = \frac{5}{0,1426} \approx 35,0631\ W$

- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = \frac{30}{0,2426} \approx 123,6604\ W$

- $I_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = \frac{20}{0,3733} \approx 53,5762\ W$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ A} = 35,0631 * 3600 = 1,26 * 10^5\ J$

- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ C} = 123,6604 * 3600 = 4,45 * 10^5\ J$

- $E_{parede\ sul\ da\ zona\ D} = 53,5762 * 3600 = 1,93 * 10^5\ J$

Para a parede sul da estrutura completa são precisos:

$$E_{total} = E_{parede\ sul\ da\ zona\ A} + E_{parede\ sul\ da\ zona\ C} + E_{parede\ sul\ da\ zona\ D} \approx 7,64 * 10^5\ J$$

### Parede oeste:

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{parede\ oeste\ da\ zona\ B} = 0,2834\ K/W$

- $R_{parede\ oeste\ da\ zona\ C} = 0,3394\ K/W$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{parede oeste da zona B}} = \frac{5}{0,2834} \approx 17,6429 \text{ W}$
- $I_{\text{parede oeste da zona C}} = \frac{30}{0,3394} \approx 88,3913 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{parede norte}} = 17,6429 * 3600 = 6,35 * 10^4 \text{ J}$
- $E_{\text{parede este}} = 88,3913 * 3600 = 3,18 * 10^5 \text{ J}$

Para a parede oeste da estrutura completa são precisos:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{parede norte}} + E_{\text{parede este}} \approx 3,82 * 10^5 \text{ J}$$

## Telhado

Tem-se as resistências térmicas de cada parede:

- $R_{\text{telhado da zona A}} = 0,0612 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona B}} = 0,0828 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona C}} = 0,0827 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona D}} = 0,1274 \text{ K/W}$
- $R_{\text{telhado da zona E}} = 0,0678 \text{ K/W}$

Para cada interface tem-se a quantidade de energia (em watts) que atravessa a estrutura por cada segundo:

- $I_{\text{telhado da zona A}} = \frac{5}{0,0612} \approx 81,6993 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona B}} = \frac{5}{0,0828} \approx 60,3865 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona C}} = \frac{30}{0,0827} \approx 362,7570 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona D}} = \frac{20}{0,1274} \approx 156,9859 \text{ W}$
- $I_{\text{telhado da zona E}} = \frac{10}{0,0678} \approx 147,4926 \text{ W}$

Ainda se tem a quantidade de energia (em joules), por cada hora, para cada interface:

- $E_{\text{telhado da zona A}} = 81,6993 * 3600 = 2,94 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona B}} = 60,3865 * 3600 = 2,17 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona C}} = 362,7570 * 3600 = 1,31 * 10^6 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona D}} = 156,9859 * 3600 = 5,65 * 10^5 \text{ J}$
- $E_{\text{telhado da zona E}} = 147,4926 * 3600 = 5,31 * 10^5 \text{ J}$

Para o telhado da estrutura completa são precisos:

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{telhado da zona A}} + E_{\text{telhado da zona B}} + E_{\text{telhado da zona C}} + E_{\text{telhado da zona D}} + E_{\text{telhado da zona E}} \approx 2,92 * 10^6 \text{ J}$$

**Total**

- $E_{parede\ norte} = 5,07 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ este} = 4,24 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ sul} = 7,64 * 10^5\ J$
- $E_{parede\ oeste} = 3,82 * 10^5\ J$
- $E_{telhado} = 2,92 * 10^6\ J$

$$E_{Total} = E_{parede\ norte} + E_{parede\ este} + E_{parede\ sul} + E_{parede\ oeste} + E_{telhado} \approx 4,997 * 10^6\ J$$

A energia total a fornecer á estrutura grande com todas as suas divisões interiores mantidas às temperaturas indicadas é:  $4,997 * 10^6\ J$ .

Comparando este resultado com o resultado obtido antes da alteração dos materiais, podemos concluir que agora é possível fornecer menos energia à estrutura para manter as temperaturas interiores indicadas em cada uma das divisões.

## Estudo sobre os sistemas de arrefecimento (US409)

Determinar a potência necessária para arrefecer a estrutura global (com a estrutura antiga).

- Para temperatura exterior de 20°C:

$$P_{Total} = P_{parede\ norte} + P_{parede\ este} + P_{parede\ sul} + P_{parede\ oeste} + P_{telhado}$$

$$P_{Total} = 1,38 * 10^6 + 1,31 * 10^6 + 1,65 * 10^6 + 1,15 * 10^6 + 2,92 * 10^6 = 8,41 * 10^6 \text{ J}$$

A potência necessária para arrefecer a estrutura completa, que foi calculada anteriormente, é  $8,41 * 10^6 \text{ J}$

- Para temperatura exterior de 28°C:

$$P_{Total} = P_{parede\ norte} + P_{parede\ este} + P_{parede\ sul} + P_{parede\ oeste} + P_{telhado}$$

$$P_{Total} = 2,06 * 10^6 + 1,83 * 10^6 + 2,098 * 10^6 + 1,41 * 10^6 + 3,88 * 10^6 \approx 1,13 * 10^7 \text{ J}$$

A potência necessária para arrefecer a estrutura completa, que foi calculada anteriormente, é  $1,13 * 10^7 \text{ J}$

Determinar a potência necessária para arrefecer a estrutura global (com a estrutura nova).

$$P_{Total} = P_{parede\ norte} + P_{parede\ este} + P_{parede\ sul} + P_{parede\ oeste} + P_{telhado}$$

$$P_{Total} = 5,07 * 10^5 + 4,24 * 10^5 + 7,64 * 10^5 + 3,82 * 10^5 + 2,92 * 10^6 \approx 4,997 * 10^6 \text{ J}$$

A potência necessária para arrefecer a estrutura completa, que foi calculada anteriormente, é  $4,997 * 10^6 \text{ J}$

## Otimizar o número de sistemas de arrefecimento para a estrutura total

Analisando todos os valores obtidos concluímos que o valor de energia necessária é de  $5,00 * 10^6$  J. Para assegurar que o sistema de arrefecimento consiga suportar facilmente esta carga devemos multiplicar 45 pelo volume da estrutura que se quer arrefecer, ou seja 45 000, uma técnica utilizada na indústria para se assegurar que não se sobrecarrega o sistema, e somar o resultado ao valor anterior obtendo  $5,045 * 10^6$  J. Posto isto, devemos encontrar um equipamento de climatização que consiga fornecer esta quantidade de energia.

Analisando os equipamentos disponíveis no mercado, verificamos que a potência de dispositivos de ar condicionado vem indicada em *BTU (British Thermal Units)*. O valor indicado nas especificações dos dispositivos de ar condicionado indica a quantidade de calor que aquele equipamento é capaz de remover do ar por uma hora.

Tendo isso em mente, devemos converter o nosso valor máximo de energia necessária de *Joules* para *BTU*:

$$1\text{J} \approx 9,48 * 10^{-4} \text{ BTU}$$

$$5,045 * 10^6 \text{J} \approx 4,782 * 10^3 \text{ BTU}$$

Para arrefecer a estrutura serão necessários  $4,782 * 10^3$  BTU/h.

Para produzir esta quantidade de BTU's será necessário um equipamento do tipo ar condicionado portátil EQUATION, nº de modelo: A007H-05C, capaz de gerar, aproximadamente, a quantidade necessária para arrefecer a estrutura total.

O equipamento também apresenta características relevantes como a portabilidade e o barulho produzido. E como os BTU's acima indicados já contém uma margem segura o sistema funcionará sem sobrecarga.



## Conclusão

Com este trabalho podemos consolidar ainda mais os nossos conhecimentos sobre a estruturação dos alicerces de um edifício industrial. Este trabalho serviu também como uma forma de trabalhar nas proezas matemáticas, aperfeiçoando a nossa aptidão com este tipo de situação e incrementando a nossa experiência neste tipo de cenário.

Podemos também denotar as novas capacidades apreendidas no campo do desenho de estruturas e as ponderações a ter na construção de um esquema semi-complexo.

Em suma, na realização do primeiro sprint foram trabalhadas capacidades, já adquiridas, mas essenciais para esta área, tanto como foram desenvolvidas novas habilidades técnicas.

Já no segundo sprint, concluiu-se que para se ter uma estrutura funcional dum ponto de vista realista são necessárias ponderações técnicas precisas, como o planeamento da estrutura das paredes para facilitar a otimização energética para determinado objetivo, ou para determinada zona não perturbar o objetivo de outra.

## Referências

*(Protolab - Tabela de Condutividade Térmica de Materiais de Construção, n.d.)*

*(Lã de Rocha: Um Material Com Múltiplas Qualidades | Eurocoustic, n.d.)*

*(COBERTURA INCLINADA ISOLAMENTO EM LÃ MINERAL COM SUBTELHA – Construção Sustentável, n.d.)*

*(Poliestireno Expandido — Condutividade Térmica - NETZSCH Analyzing & Testing, n.d.)*

*(Tudo o Que Precisa de Saber Sobre Isolamento Térmico - Leroy Merlin Portugal, n.d.)*

*(Ar Condicionado Portátil EQUATION 5000 BTU | Leroy Merlin, n.d.)*