

# Física Aplicada

## TRABALHO 5

### PROCEDIMENTO 2- GRUPO 3

José Pinto (1181654)

Pedro Matias (1181544)

João Assunção (1191491)

Rui Rafael (1181357)

## Conteúdo

2.0 Introdução.....	2
2.0 sdsdExercício (US412) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Exercício (US412) .....	3
2.2 Exercício (US413) .....	6
2.3 Exercício (US414) .....	9
2.4 Exercício (US415) .....	14

## 2.0 Introdução

Neste documento será apresentado o sumário do raciocínio e passos tomados, bem como os resultados obtidos na resolução das user stories 412, 413, 414 e 415 do sprint 4 do 1º semestre de LEI. E representa a execução do que é pedido na user story 416.

## 2.1 Exercício (US412)

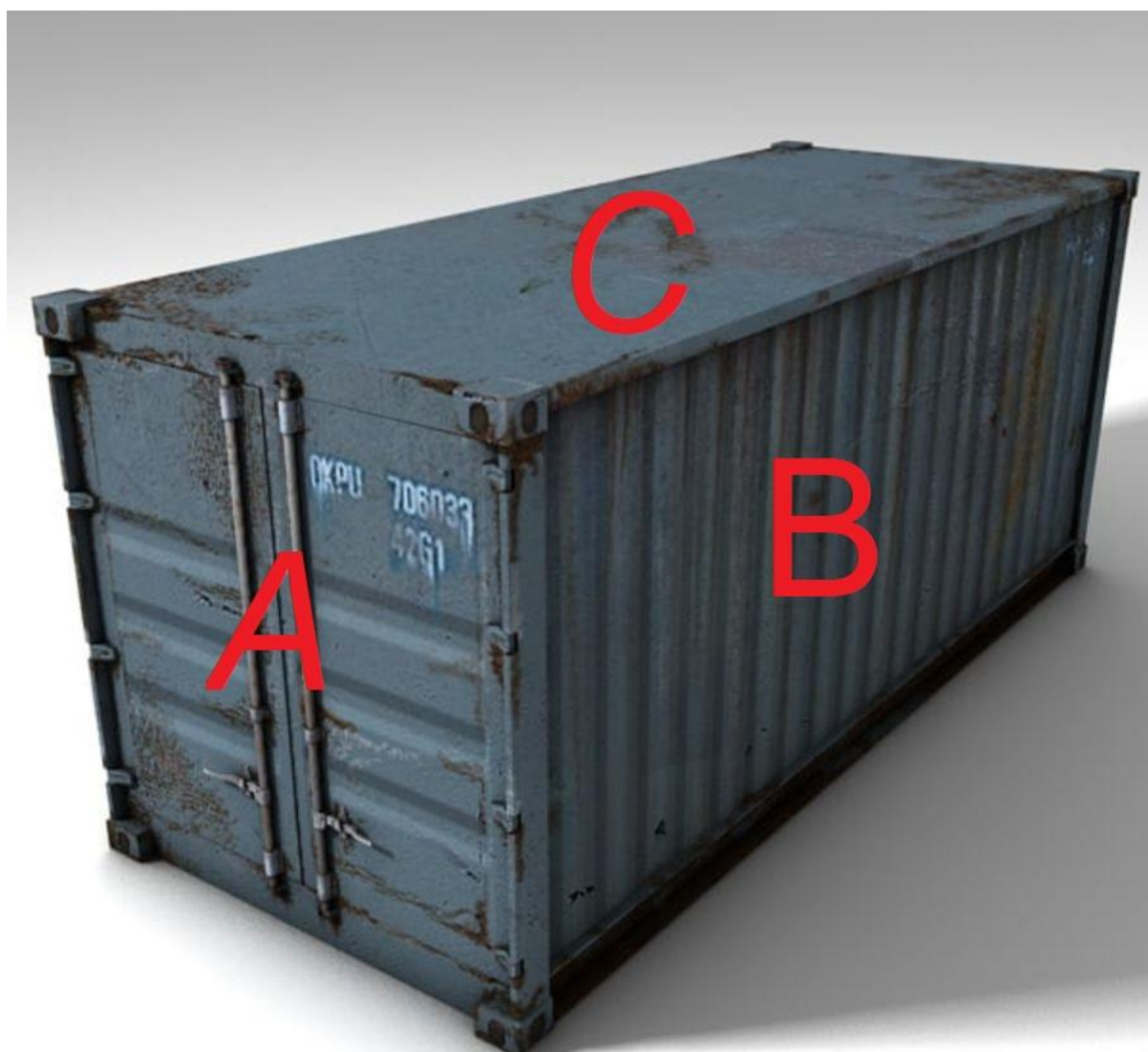
Dado que no procedimento 1 os cálculos de resistência dos materiais foram feitos assumindo uma área de  $1\text{m}^2$ , estes terão de ser refeitos considerando a área total do contentor. Para isto foram considerados contentores com o standard de 20 pés, com as seguintes medidas em metros:

**Comprimento:** 6.058m

**Largura:** 2.438m

**Altura:** 2.591m

Para facilitar a percepção das áreas, cada face do contentor será identificada como A, B, e C, sendo as faces opostas a estas A', B' e C'.



*Figura 1: Indicação das faces do contentor.*

Tendo em conta esta identificação, as áreas de cada face serão:

$$A = largura * altura = 2.438m * 2.591m \approx 6.317m^2$$
$$B = comprimento * altura = 6.058m * 2.591m \approx 15.696m^2$$

$$C = comprimento * largura = 6.058m * 2.438m \approx 14.769m^2$$

Depois de obter estes valores, a área total do contentor é obtida por.

$$A_{total} = A + B + C + A' + B' + C' = 2 * 6.317m^2 + 2 * 15.696m^2 + 2 * 14.769m^2 = 73.564m^2$$

Depois disto, a resistência térmica dos materiais selecionados é recalculada com a nova área. A fórmula usada é a mesma:

$$R = \frac{\Delta x}{k * A}$$

Sendo  $\Delta x$  a espessura do material em metros,  $k$  a constante de condutividade do material em  $W/(K * m)$ , e  $A$  a área em  $m^2$ . No procedimento 1 os materiais escolhidos foram:

**Material externo:**

-Liga de aço de 60% Níquel, que tem um  $k$  de 19, com espessura de 2mm (0.002m).

**Material isolante:**

-Contentor de 7°C: Lã mineral de vidro, que tem um  $k$  de 0.035, com espessura de 2cm (0.02m).

-Contentor de -5°C: Espuma Fenólica, que tem um  $k$  de 0.02, com espessura de 2cm (0.02m).

**Material interior:**

-Contentor de 7°C: Folha Acrílica, que tem um  $k$  de 0.187, com espessura de 2cm (0.02m).

-Contentor de -5°C: Madeira Compensada, que tem um  $k$  de 0.13, com espessura de 2cm (0.02m).

Para simplificação da compreensão dos cálculos, foi decidido entre a equipa usar os mesmos materiais para ambos os tipos de contentores. Neste caso foram escolhidos os materiais que tinham sido definidos para os contentores de -5°C.

Assim, os novos valores de resistência térmica para cada material serão:

Material externo

$$R_{externo} = \frac{X_{externo}}{k_{externo} * A} = \frac{2 * 10^{-3}m}{19(W/(K * m)) * 73.564m^2} \approx 1.43 * 10^{-6}(K/W)$$

Material isolante

$$R_{isolante} = \frac{X_{isolante}}{k_{isolante} * A} = \frac{2 * 10^{-2}m}{2 * 10^{-2}(W/(K * m)) * 73.564m^2} \approx 1.35 * 10^{-2}(K/W)$$

Material interior

$$R_{interior} = \frac{X_{interior}}{k_{interior} * A} = \frac{2 * 10^{-2}m}{0.13(W/(K * m)) * 73.564m^2} \approx 2.09 * 10^{-3}(K/W)$$

Depois destes cálculos, dado que estas são consideradas resistências em série, a resistência total da área do contentor é dada pela soma das resistências em sequência.

$$\begin{aligned} R_{total} &= R_{externo} + R_{isolante} + R_{interior} \\ &= 1.43 * 10^{-6} (K/W) + 1.35 * 10^{-2} (K/W) + 2.09 * 10^{-3} (K/W) \\ &= 1.569 * 10^{-2} (K/W) = 0.01569 (K/W) \end{aligned}$$

Depois da resistência, podemos chegar à taxa de transferência térmica pela fórmula:

$$Q = \frac{\Delta t}{R}$$

Em que se deve considerar uma temperatura exterior de 20°C. Neste caso, cada tipo de contentor resulta em:

**Contentor de 7°C:**

$$Q = \frac{20^{\circ}C - 7^{\circ}C}{0.01569 (K/W)} = \frac{13^{\circ}C}{0.01569 (K/W)} \approx 828.745 W$$

**Contentor de -5°C:**

$$Q = \frac{20^{\circ}C - (-5)^{\circ}C}{0.01569 (K/W)} = \frac{25^{\circ}C}{0.01569 (K/W)} \approx 1593.741 W$$

Finalmente, é necessário obter a energia fornecida a cada contentor durante uma viagem de 2h30m. Isto é feito através da fórmula:

$$E = Q * t$$

Primeiro é necessário converter este tempo para segundos, já que W = J/s. Dado que 1 hora contém 3600 segundos:

$$2.5h * 3600 = 9000s$$

E por fim calculamos a energia fornecida aos contentores.

**Contentor de 7°C:**

$$E = 882.745 \text{ J/s} * 9000s = 7458709.156 \text{ J} = 7.458709156 \text{ MJ}$$

**Contentor de -5°C:**

$$E = 1593.741 \text{ J/s} * 9000s = 14343671.45 \text{ J} = 14.34367145 \text{ MJ}$$

## 2.2 Exercício (US413)

Para esta simulação, iremos considerar um navio cargueiro, carregado com 25 contentores a serem mantidos a 7°C, e 15 contentores a -5°C, numa viagem entre Leixões e Sines. Tendo em conta a velocidade média de um navio cargueiro se situa entre 30 e 50km/h, e que Leixões e Sines estão separados por 443Km, iremos considerar esta com uma viagem de 12 horas. Igualmente para efeitos de simulação, iremos considerar uma temperatura de 20°C à saída, que se fará sentir as primeiras 4 horas de viagem, e que a temperatura em Sines será de 28°C, que terá efeitos nas últimas 8 horas de viagem. Finalmente, para esta simulação, deve ser considerado que todas as faces dos contentores (tanto as expostas ao exterior como as não expostas) estão sujeitas às mesmas condições de temperatura externa.

Este cálculo será dividido em duas partes. Em primeiro lugar será calculada a energia a fornecer sob o efeito dos 20°C de Leixões, a todos os contentores, e em segundo lugar o mesmo cálculo será efetuado para os 28°C de Sines. A energia total fornecida na viagem será a soma dos dois valores.

### Leixões

Neste caso, iremos calcular a energia total fornecida a todos os contentores, durante as primeiras 4 horas de viagem, em que a temperatura exterior é de 20°C. O primeiro cálculo necessário é o da taxa de transferência térmica. Mas neste caso já podemos usar os resultados obtidos no ponto 2.1, uma vez que o  $\Delta t$  será o mesmo. Então os valores serão 828.745W para um contentor de 7°C, e 1593.741W para um contentor de -5°C.

Para calcular a energia total por contentor, primeiro encontramos o número de segundos em 4 horas por:

$$4h * 3600s = 14400s$$

E com este valor calculamos a energia total por contentor:

**Contentor de 7°C:**

$$E = 828.745 \text{ J/s} * 14400s = 11933934.7 \text{ J} = 11.9339347 \text{ MJ}$$

**Contentor de -5°C:**

$$E = 1593.741 \text{ J/s} * 14400s = 22949874.3 \text{ J} = 22.9498743 \text{ MJ}$$

Finalmente, como temos 25 contentores de 7°C e 15 contentor de -5°C, as multiplicações irão dar a energia fornecida total por tipo de contentor:

**Contentor de 7°C:**

$$11.9339347 \text{ MJ} * 25 = 298.3483663 \text{ MJ}$$

**Contentor de -5°C:**

$$22.9498743 \text{ MJ} * 15 = 344.2481149 \text{ MJ}$$

Sendo que a energia total será:

$$E_{Leixões} = 298.3483663 \text{ MJ} + 344.2481149 \text{ MJ} = 642.5964812 \text{ MJ}$$

## Sines

O caso de Sines obriga a cálculos adicionais, pois além de a secção da viagem passar a ser 8 horas, a temperatura exterior agora é de 28°C. Assim, teremos de calcular novas taxas de transferência térmica.

**Contentor de 7°C:**

$$Q = \frac{28^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}}{0.01569(\text{K}/\text{W})} = \frac{21^{\circ}\text{C}}{0.01569(\text{K}/\text{W})} \approx 1338.743\text{W}$$

**Contentor de -5°C:**

$$Q = \frac{28^{\circ}\text{C} - (-5)^{\circ}\text{C}}{0.01569(\text{K}/\text{W})} = \frac{33^{\circ}\text{C}}{0.01569(\text{K}/\text{W})} \approx 2103.738\text{W}$$

Seguidamente obtemos o tempo de 8 horas em segundos.

$$8h * 3600s = 28800s$$

E obtemos os valores de energia para esta secção de viagem. Como os passos foram já explicados no exemplo de Leixões, vamos já incluir o número total de contentores desse tipo.

**Contentor de 7°C:**

$$E = 1338.743 \text{ J/s} * 28800s * 25 = 963894721.7 \text{ J} = 963.8947217 \text{ MJ}$$

**Contentor de -5°C:**

$$E = 2103.738 \text{ J/s} * 28800s * 15 = 908815023.4 \text{ J} = 908.8150234 \text{ MJ}$$

$$E_{Sines} = 963.8947217 \text{ MJ} + 908.8150234 \text{ MJ} = 1872.709745 \text{ MJ}$$



Finalmente, a energia total das duas secções da viagem é somada:

$$E_{Total} = 642.5964812 \text{ MJ} + 1872.709745 \text{ MJ} = 2515.306226 \text{ MJ}$$

E chegamos então à conclusão de que a energia total fornecida aos contentores, durante as 12 horas de viagem entre Leixões e Sines, foi de 2515.306226 MJ, ou de aproximadamente 2.515 GJ.

## 2.3 Exercício (US414)

Para esta situação, pretende-se saber qual a energia a fornecer à carga de contentores, numa viagem (ou rota), em função da posição dos contentores no navio. Admitindo que os contentores interiores, ou os lados não expostos diretamente ao “sol”, mantêm a temperatura inicial, ou de partida. Mas, as faces expostas, podem apresentar variações de temperatura ao longo da viagem.

Para tal é usada a simulação de viagem encontrada no ponto 2.2, mas agora tendo em conta as faces expostas dos contentores.

Este cálculo será dividido pelas seguintes partes:

1. Distribuição dos contentores de temperaturas de 7°C e -5°C.
2. Definição das posições que um contentor pode ocupar, de modo a expor diferentes conjuntos de faces ao exterior.
3. Definição das faces expostas por cada posição.
4. Associação dos contentores de diferentes temperaturas com as faces expostas.
5. Calcular a energia a fornecer sob o efeito de 20°C de Leixões.
6. Calcular a energia a fornecer sob o efeito de 28°C de Sines.
7. A energia total fornecida na viagem será a soma dos dois valores.

### 1. Distribuição dos contentores de temperaturas de -5°C a azul e 7°C a amarelo.

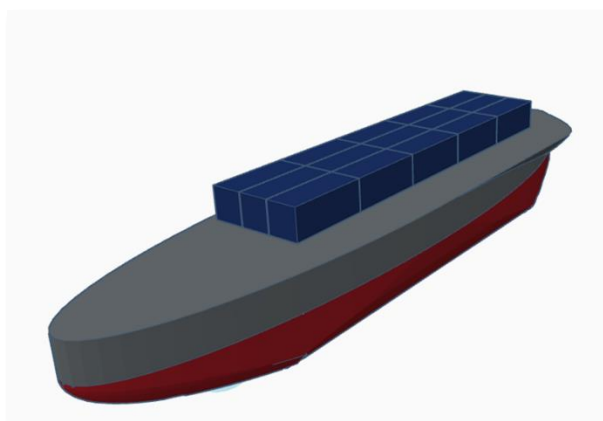


Figura 2: Distribuição de 15 contentores de temperatura de -5°C.

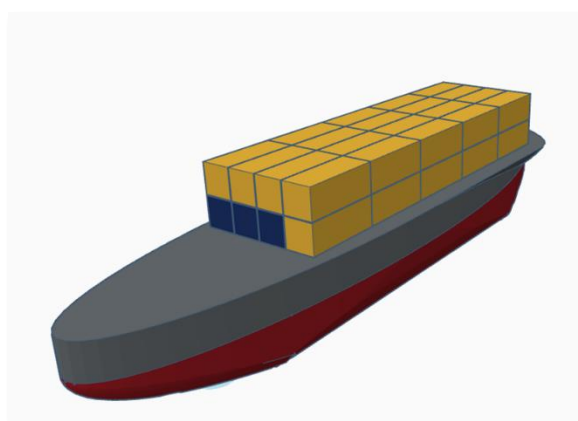


Figura 3: Distribuição de 25 contentores de temperatura de 7°C.

2. Definição das posições que um contentor pode ocupar, de modo a expor diferentes conjuntos de faces ao exterior.

⑧ Contentor sem exposição ao exterior

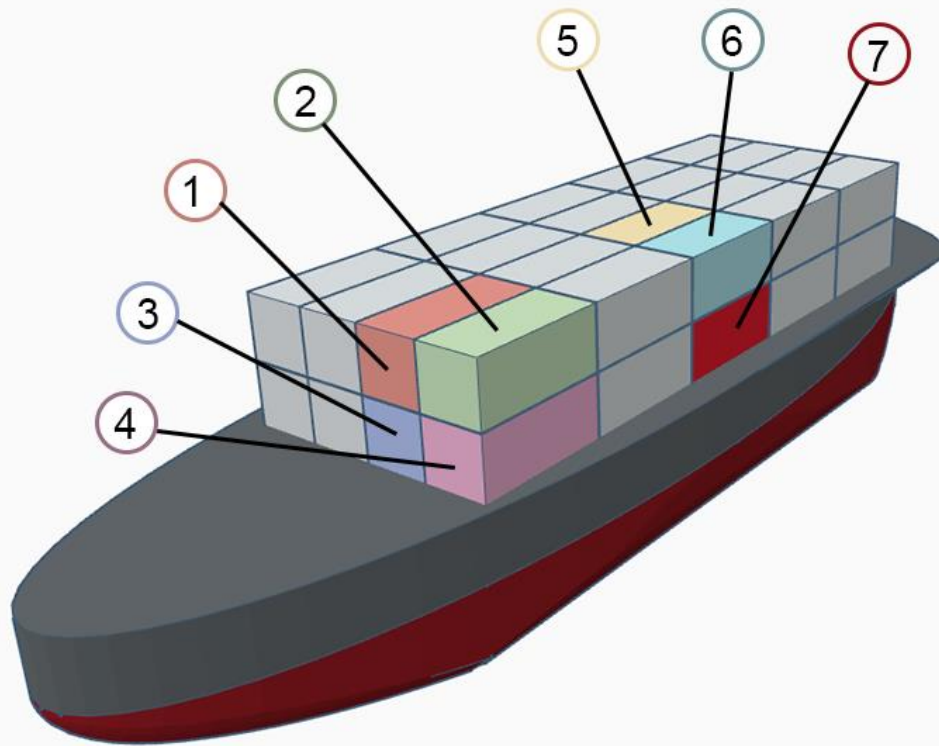


Figura 2: Várias posições de contentor, tendo em conta as suas faces expostas ao exterior.

3. Definição das faces expostas por cada posição. Os números indicados de 1 a 7 serão usados para indicar a respetiva variação de faces expostas.

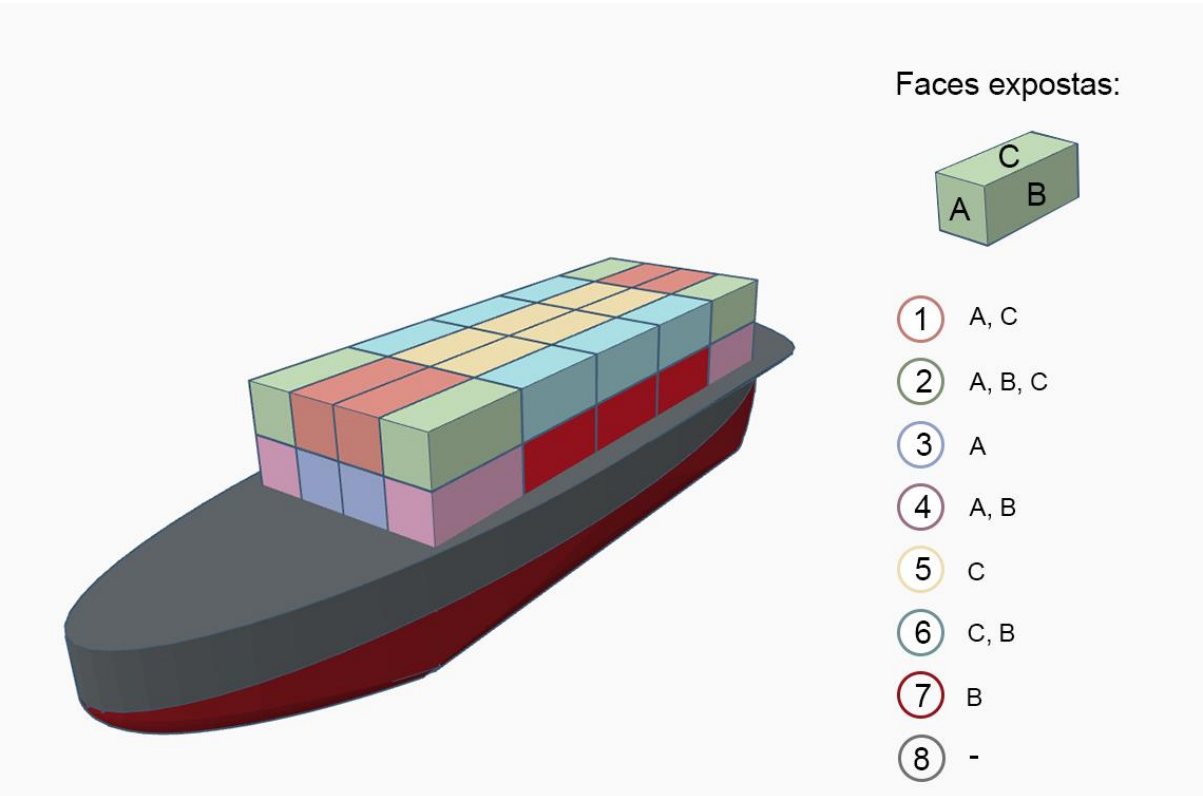


Figura 3: Indicação de faces expostas por contentor posicionado no navio.

4. Associação dos contentores de diferentes temperaturas com as faces expostas.

Posição no navio	Número de contentores de -5ºC	Número de contentores de 7ºC
1	-	4
2	-	4
3	4	-
4	2	2
5	-	6
6	-	6
7	3	3
8 s/exposição ao exterior	6	0

Figura 6: Tabela de associação dos contentores de diferentes temperaturas com as faces expostas.

## 5. Calcular a resistência térmica para os contentores das posições definidas.

Cálculo da resistência térmica para a um contentor da posição 1:

$$\text{ÁreaTotalExposta}_1 = A + C = 6.317 + 14.769 = 21.086m^2$$

$$R = \frac{\Delta x}{k * A}$$

Material externo

$$R_{\text{externo}} = \frac{X_{\text{externo}}}{k_{\text{externo}} * A} = \frac{2 * 10^{-3}m}{19(W/(K * m)) * 21.086m^2} \approx 4.99 * 10^{-6}(K/W)$$

Material isolante

$$R_{\text{isolante}} = \frac{X_{\text{isolante}}}{k_{\text{isolante}} * A} = \frac{2 * 10^{-2}m}{2 * 10^{-2}(W/(K * m)) * 21.086m^2} \approx 2.88 * 10^{-2}(K/W)$$

Material interior

$$R_{\text{interior}} = \frac{X_{\text{interior}}}{k_{\text{interior}} * A} = \frac{2 * 10^{-2}m}{0.13(W/(K * m)) * 21.086m^2} \approx 4.29 * 10^{-3}(K/W)$$

Total

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_{\text{externo}} + R_{\text{isolante}} + R_{\text{interior}} \\ &= 4.99 * 10^{-6}(K/W) + 2.88 * 10^{-2}(K/W) + 4.29 * 10^{-3}(K/W) \\ &= 3.22 * 10^{-2}(K/W) \end{aligned}$$

## 6. Calcular a energia a fornecer sob o efeito de 20°C de temperatura externa de Leixões.

Cálculo da taxa de transferência térmica para a um contentor de -5°C na posição 3 numa temperatura externa de 20°C:

$$Q = \frac{\Delta t}{R}$$

$$Q = Q_{\text{faces Expostas}} + Q_{\text{faces Não Expostas}}$$

$$Q = \frac{20^{\circ}C - (-5)^{\circ}C}{0.182673962(K/W)} + \frac{20^{\circ}C - (-5)^{\circ}C}{0.017159894(K/W)} \approx 1593.7413W$$

Cálculo da energia a fornecer ao contentor de -5°C na posição 3, para uma viagem de 4 horas a 20°C exteriores:

$$E = Q * t$$

$$4h * 3600 = 14400s$$

$$E = 1593.7413 \frac{J}{s} * 14400s = 22949874.33J = 22.949874MJ$$

Multiplicando pelo número de contentores do mesmo tipo (4x), temos a energia total dos contentores de -5°C na posição 3 para esta parte da viagem:

$$E = 22949874J * 4 = 91799497J = 91.7995 MJ$$

Este processo é repetido para todas as variações de contentores.

Ao somar os totais da energia calculada obtemos a energia necessária para manter os contentores na sua respetiva temperatura neste troço de Leixões:

$$E = 344248114.9 + 298348366.3 = 642596481.2J$$

**7. Calcular a energia a fornecer sob o efeito de 28°C de Sines.**

$$E = 796412825.8 + 718741885.7 = 1515154711J$$

**8. A energia total fornecida na viagem será a soma dos valores obtidos em cada troço.**

$$E = 642596481.2 + 1515154711 = 2157751193 \approx 2157.7512 MJ$$

## 2.4 Exercício (US415)

Considerando a viagem simulada em 2.3, com uma carga de 15 contentores a -5°C e 25 contentores a 7°C, é possível reutilizar os resultados obtidos em 2.3.

Tendo em conta que já foram calculadas as necessidades energéticas das variações de contentores (ponto 6 e 7 do exercício 2.3).

É então somado as necessidades energéticas de cada troço e de seguida é avaliada a sua relação.

Energia necessária para o contentor de -5°C na posição 3 no troço de Leixões:

$$Q_{contentor} = Q * n_{Contentor}$$
$$Q_{contentor} = 1593.741273 * 4 = 6374.965091J/s$$

Repetindo o procedimento para as restantes variações (-5 e 7 graus) no troço de Leixões, obtemos:

$$E = 23906.11909 + 20718.63655 = 44624.7556J/s$$

Repetindo o procedimento para as restantes variações (-5 e 7 graus) no troço de Sines, obtemos:

$$E = 24593.23987 + 25046.31235 = 49639.5522J/s$$

Como a energia necessária no troço de Sines é superior, é escolhido esse valor para calcular o número de geradores necessário.

Um gerador produz 75kW.

Convertendo 75kW para J/s, obtemos 75000J/s.

O número total de geradores necessários é de:

$$n = 49639.5522 / 75000 = 0.6618 \approx 1$$

É concluído que 1 gerador de 75kW é suficiente para manter a temperatura dos contentores na duração da viagem simulada, pois o máximo de consumo dessa viagem é de 24730 J/s que é um terço da capacidade de um gerador de 75kW.