



**INSTITUTO  
FEDERAL**

Santa Catarina

---

Câmpus  
São José

## **Conceitos Gerais Sobre Energia e Transferência de Calor: Exercícios 3**

Fenômenos de Transporte

Arthur Cadore Matuella Barcella

01 de Abril de 2025

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

# Sumário

<b>1. Introdução:</b>	<b>3</b>
<b>2. Questões:</b>	<b>3</b>
2.1. Questão 1:	3
2.1.1. Item A:	3
2.1.2. Item B:	4
2.2. Questão 2:	4
2.3. Questão 3:	5
2.4. Questão 4:	6
2.5. Questão 5:	6
2.5.1. Item A:	7
2.5.2. Item B:	7
<b>3. Referências:</b>	<b>8</b>

## 1. Introdução:

O objetivo deste documento é estudar na apostila a introdução e até o item 1.2.2 (pp. 13 a 18) e em seguida responder as questões apresentadas abaixo.

## 2. Questões:

### 2.1. Questão 1:

Um vidro duplo de janela é constituído por duas placas de vidro de 7 mm de espessura, com um espaço selado cheio de ar entre elas, também com espessura de 7 mm. Considere que o ar entre os vidros permanece parado. Considere que a janela tem 0,8 m de comprimento e 0,5 m de largura.

#### 2.1.1. Item A:

Monte o circuito elétrico equivalente e calcule a resistência térmica total da janela. A condutividade térmica do ar estagnado (parado) é de 0,02624 W/m.K e a do vidro é de 0,8 W/m.K.

A representação da janela pode ser feita com um circuito elétrico equivalente, onde temos:

1ª Camada: Vidro (Placa 1) 2ª Camada: Ar (entre as placas) 3ª Camada: Vidro (Placa 2)

Cada camada tem uma resistência térmica, que pode ser calculada pela equação:

$$R = \frac{L}{kA} \quad (1)$$

Dessa forma, a resistência térmica total é dada pela soma das resistências térmicas de cada camada:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{vidro1}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{vidro2}} \quad (2)$$

Substituindo os valores, temos:

$$R_{\text{vidro}} = \frac{0,007}{0,8 \cdot (0,8 \cdot 0,5)} \quad (3)$$

$$R_{\text{vidro}} = \frac{0,007}{0,32} = 0,021875 \quad (4)$$

$$R_{\text{ar}} = \frac{0,007}{0,02624 \cdot (0,8 \cdot 0,5)} \quad (5)$$

$$R_{\text{ar}} = \frac{0,007}{0,01056} = 0,6625 \quad (6)$$

Dessa forma, podemos obter a resistência térmica total:

$$R_{\text{total}} = 0,021875 + 0,6625 + 0,021875 = 0,70625 \frac{K}{W} \quad (7)$$

Tal que o circuito elétrico equivalente é dado por:

$$[R'_{\text{vidro1}}] - [R'_{\text{ar}}] - [R'_{\text{vidro2}}]$$

### 2.1.2. Item B:

Qual a perda de calor através da janela para um  $\Delta T$  de  $20^\circ\text{C}$ ?

Para calcular a perda de calor, podemos aplicar a seguinte equação:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \quad (8)$$

Substituindo os valores, temos:

$$Q = \frac{20}{0,7106707} = 28.1424281W \quad (9)$$

### 2.2. Questão 2:

Qual a espessura necessária para uma parede de argamassa, que tem uma condutividade térmica de  $0,75 \text{ W/m.K}$ , se a taxa de transferência de calor deve ser 75% da taxa de transferência através de uma parede de material estrutural composto que tem uma condutividade térmica de  $0,25 \text{ W/m.K}$  e uma espessura de  $100 \text{ mm}$ ? Considere que ambas as paredes estão sujeitas à mesma diferença de temperatura.

Para resolver a questão, utilizamos a equação da taxa de transferência de calor por condução, que é dada por:

$$Q = -kA \left( \frac{dT}{L} \right) \quad (10)$$

Como a questão deseja determinar o comprimento  $L$  do material, tendo com base duas taxas de transferência de calor, podemos igualar as duas equações:

$$Q_2 = 0,75Q_1 \quad (11)$$

$$K_2 A \frac{\Delta T}{L_2} = K_1 A \frac{\Delta T}{L_1} \quad (12)$$

$$\frac{K_2}{L_2} = 0,75 \frac{K_1}{L_1} \quad (13)$$

Desta forma, substituindo os valores, temos:

$$\frac{0,75}{L_2} = 0,75 \left( \frac{0,25}{0,1} \right) \quad (14)$$

$$\frac{0,75}{L_2} = 0,75 \cdot 2,5 \quad (15)$$

$$L_2 = \frac{0,75}{1,875} \quad (16)$$

$$L_2 = 0,4m \rightarrow 400 \text{ mm} \quad (17)$$

### 2.3. Questão 3:

Uma parede de 2 cm de espessura deve ser construída com um material que tem uma condutividade térmica média de 1,3 W/m.°C. A parede deve ser isolada com um material cuja condutividade térmica média é 0,35 W/m.°C, de tal forma que a perda de calor por metro quadrado de área não seja superior a 1830 W. Considerando que as temperaturas das superfícies interna e externa da parede composta são 1300 e 30 °C, calcule a espessura do isolamento.

Para calcular a espessura do isolamento, devemos inicialmente determinar a taxa de transferência de calor através da parede composta:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \quad (18)$$

Dessa forma;

$$R_{\text{total}} = R_{\text{parede}} + R_{\text{isolamento}} \quad (19)$$

Dessa forma, cada resistência térmica é dada por:

$$R = \frac{L}{kA} \quad (20)$$

Onde:

- $L$  é a espessura do material (m)
- $k$  é a condutividade térmica do material (W/m.°C)
- $A$  é a área de transferência de calor (m<sup>2</sup>)

Assim, substituindo na equação temos:

$$R_{\text{total}} = \frac{0,02}{1,3A} + \frac{L_2}{0,35A} \quad (21)$$

Calculando o  $\Delta T$ , temos:

$$\Delta T = 1300 - 30 = 1270^\circ\text{C} \quad (22)$$

Substituindo na equação original, temos:

$$\frac{0,02}{1,3} + \frac{L_2}{0,35} = \frac{1270}{1830} \quad (23)$$

$$(0,01538) + \frac{L_2}{0,35} = 0,69399 \quad (24)$$

$$\frac{L_2}{0,35} = 0,69399 - 0,01538 \quad (25)$$

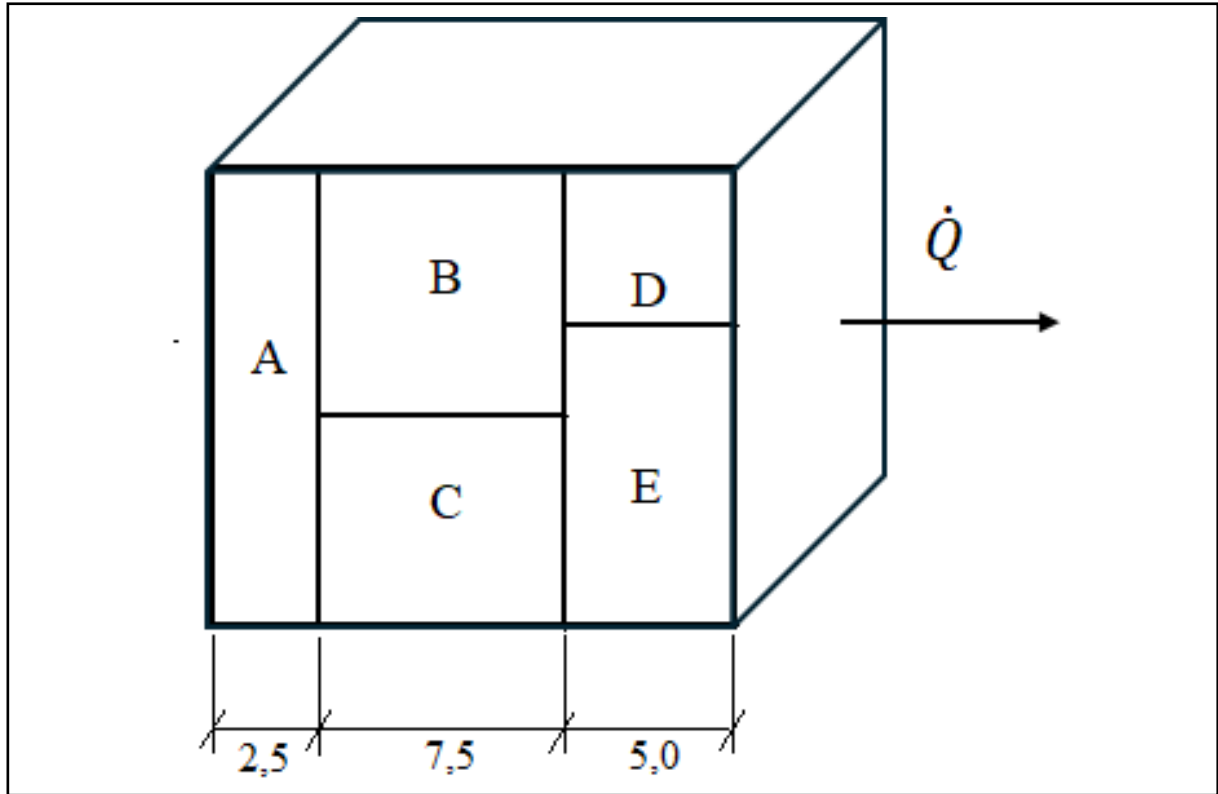
$$L_2 = 0,67861 \cdot 0,35 \quad (26)$$

$$L_2 \approx 0,2375 \rightarrow 23,75 \text{ cm} \quad (27)$$

#### 2.4. Questão 4:

Calcule a taxa de transferência de calor através da parede composta esquematizada abaixo. A temperatura na face esquerda é de 370 °C, e na face direita de 66 °C. Considere fluxo de calor unidimensional. As cotas de espessura estão em centímetros.

Figura 1: Elaborada pelo Autor



Onde:

- $K_a = 175 \frac{W}{m.C^\circ}$
- $K_b = 30 \frac{W}{m.C^\circ}$
- $K_c = 40 \frac{W}{m.C^\circ}$
- $K_d = 80 \frac{W}{m.C^\circ}$
- $K_e = 100 \frac{W}{m.C^\circ}$
- $A_a = 1m^2$
- $A_b = A_c$
- $A_e = 3A_d$

#### 2.5. Questão 5:

Uma tubulação de cobre, de 3 cm de diâmetro externo e 1,5 de diâmetro interno, conduz refrigerante R-22 a uma temperatura de -5°C. A temperatura do ambiente em que se encontra a tubulação é de 28°C e pode ser considerada igual a temperatura da parede externa.

### 2.5.1. Item A:

Quanto calor é absorvido pelo refrigerante em 5 metros de tubo?

Para calcular a quantidade de calor absorvido pelo refrigerante, utilizamos a equação de condução de calor para uma tubulação cilíndrica:

$$Q = \frac{2\pi kL(\Delta T)}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \quad (28)$$

Onde:

- $k$  é a condutividade térmica do material (W/m.°C). Considerando que o tubo é de cobre, temos  $k = 385 \frac{W}{m.^{\circ}C}$
- $L$  é o comprimento do tubo (m) = 5 m
- $\Delta T$  é a diferença de temperatura entre o refrigerante e o ambiente (°C) =  $28 - (-5) = 33^{\circ}C$
- $R_e$  é o raio externo do tubo (m) = 0,03m
- $R_i$  é o raio interno do tubo (m) = 0,015m

Substituindo os valores, temos:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 385 \cdot 5 \cdot 33}{\ln\left(\frac{0,03}{0,015}\right)} \quad (29)$$

$$Q = \frac{127050 \cdot \pi}{\ln(2)} \quad (30)$$

$$Q = 575836.356019145W \rightarrow 575,836 \text{ kW} \quad (31)$$

### 2.5.2. Item B:

Utilizando um isolamento de lã de vidro, de 1 cm de espessura, de quanto será o valor do calor absorvido?

Seguindo a mesma forma de resolução utilizada na questão 3, primeiro precisamos decompor as resistências térmicas:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{isolamento}} + R_{\text{tubo}} \quad (32)$$

Onde cada resistência térmica é dada pela modificação da equação anterior:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi kL} \quad (33)$$

Dessa forma, calculamos a resistência separadamente para o isolamento e para o tubo:

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{\ln\left(\frac{0,01}{R_e}\right)}{2\pi 0,035 * 5} \quad (34)$$

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{\ln\left(\frac{0,01}{R_e}\right)}{0,35\pi} \rightarrow 0,2409790729 \quad (35)$$

Agora aplicando a mesma equação para o tubo, temos:

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi 3855} \quad (36)$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln(2)}{3850\pi} \quad (37)$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{0,693147181}{3850\pi} \rightarrow 0,000057308 \quad (38)$$

Dessa forma, podemos calcular a resistência total, e substituindo na equação original, temos:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{tubo}} + R_{\text{isolamento}}} \rightarrow \frac{\Delta T}{0,000057308 + 0,2409790729} \quad (39)$$

$$Q = \frac{33}{0,241036381} \rightarrow 136,90879306W \quad (40)$$

### 3. Referências:

- Fundamentos de Fenômenos de Transporte de Celso P. Livi (disponível no Minha Biblioteca) o capítulo 8, pp 168-183