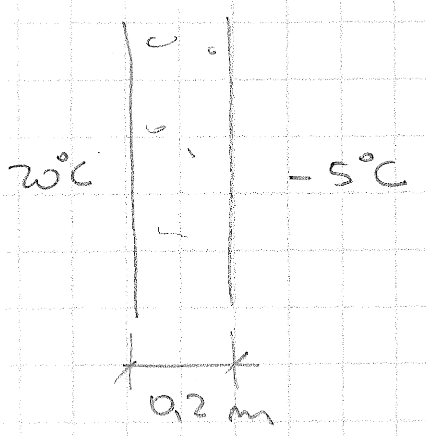
Engenharias, São Judas – Unimonte
Transferência de Calor, Prof. Simões
Condução, paredes planas

1. A superfície externa de uma parede de concreto com espessura de 0,2 m é mantida a uma temperatura de -5 °C, enquanto a superfície interna é mantida a 20 °C. A condutividade térmica do concreto é de 1,2 W/mK. Determine a perda de calor através de uma parede de 10 m de comprimento por 3,0 m de altura. Resposta: $4{,}5\times10^{2}$ W



$k = 1{,}2\ W/mK$

$A = 10 \times 3{,}0 \Rightarrow A = 30\ m^2$

$\dot{q} = k \cdot A \cdot \dfrac{T_1 - T_2}{L}$

$\dot{q} = 1{,}2 \cdot 30 \cdot \dfrac{20-(-5)}{0{,}2}$

$\dot{q} = 4{,}5\times10^{3}\ W$

$\boxed{\dot{q} = 4{,}5\ kW}$

2. Um armazém deve ser projetado para manter resfriados os alimentos perecíveis antes de seu transporte para a mercearia. Ele tem uma área de superfície efetiva de 1860 m^2 exposta à temperatura ambiente de 32 °C. O isolamento da parede do armazém (k=0,17 W/mK) apresenta espessura de 75 mm. Determine a taxa em que o calor deve ser removido para manter o alimento a 4 °C. Resposta: 118 kW

$A = 1860\ m^2$

$T_1 = 32\,°C$

$T_2 = 4\,°C$

$k = 0{,}17\ W/mK$

$L = 75\ mm = 0{,}075\ m$

$$\dot{q} = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{L}$$

$$\dot{q} = 0{,}17 \cdot 1860 \cdot \frac{32-4}{0{,}075}$$

$$\dot{q} = 1{,}18 \times 10^5\ W$$

$$\boxed{\dot{q} = 118\ kW}$$

3. O calor é transferido a uma taxa de 0,1 kW por um isolamento de lã de vidro (k=0,036 W/mK), com espessura de 5,0 cm e área de 2,0 m². Se a superfície quente estiver a 70 °C, determine a temperatura da superfície fria. Resposta: 0,6 °C

$\dot{q} = 0,1 \text{ kW} = 100 \text{ W}$

$k = 0,036 \text{ W/mK}$

$L = 5,0 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

$A = 2,0 \text{ m}^2$

$T_1 = 70°C$

$$\dot{q} = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{L}$$

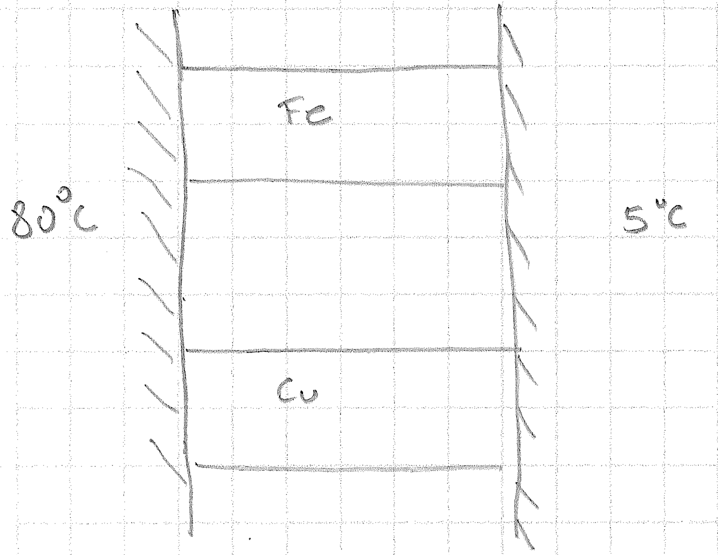
$$100 = 0,036 \cdot 2,0 \cdot \frac{70 - T_2}{0,05}$$

$$\frac{0,05 \cdot 100}{0,036 \cdot 2,0} = 70 - T_2$$

$$69,4 = 70 - T_2 \Rightarrow T_2 = 70 - 69,4$$

$$\boxed{T_2 = 0,6°C}$$

4. Duas barras metálicas paralelas de mesmas dimensões, 50 mm de diâmetro de 150 mm de comprimento, sendo uma de ferro (k=50 W/mK) e outra de cobre (k=385 W/mK) são usadas para separar duas superfícies, cujas temperaturas constantes são 80°C e 5°C. Determine a quantidade total de calor que atravessa as barras.



$$\dot{q} = \dot{q}_{Fe} + \dot{q}_{Cu}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow A = \frac{\pi \times (50 \times 10^{-3})^2}{4}$$

$$A = 1,96 \times 10^{-3} \ m^2$$

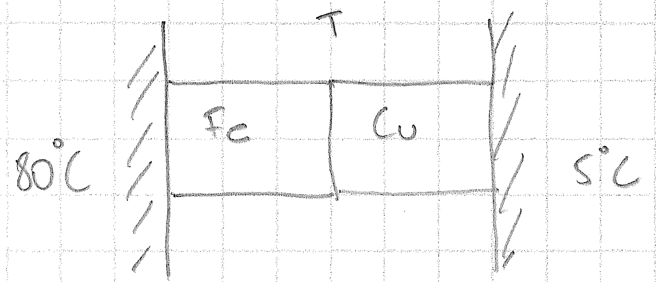
$$q = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{L}$$

$$\dot{q}_{Fe} = 50 \cdot 1,96 \times 10^{-3} \cdot \frac{80-5}{0,150} \Rightarrow \dot{q}_{Fe} = 49 W$$

$$\dot{q}_{Cu} = 385 \cdot 1,96 \times 10^{-3} \cdot \frac{80-5}{0,150} \Rightarrow q_{Cu} = 377 W$$

$$\dot{q} = 49 + 377 \Rightarrow \dot{q} = 426 W$$

5. No exercício anterior, suponha que as barras sejam montadas em série, e calcule o fluxo de calor e a temperatura no ponto de junção de uma barra com a outra. Suponha inicialmente que a barra de ferro esteja no lado mais quente. Se as barras forem invertidas, o fluxo e a temperatura mudam? Verifique.



$A = 1{,}96 \times 10^{-3}\ m^2$ (exerc. anterior)

$\dot{q}_{Fe} = \dot{q}_{Cu}$

$$50 \cdot \cancel{1{,}96\times10^{-3}} \cdot \frac{80-T}{0{,}150} = 385 \cdot \cancel{1{,}96\times10^{-3}} \cdot \frac{T-5}{0{,}150}$$

$$333\,(80-T) = 2{,}57\times10^{3}\,(T-5)$$

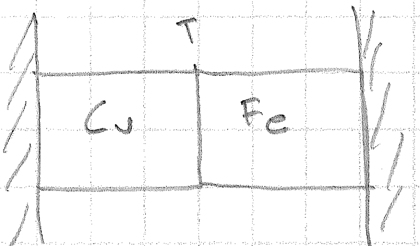
$$80-T = 7{,}7\,(T-5)$$

$$80-T = 7{,}7T - 38{,}5$$

$$80+38{,}5 = 7{,}7T + T$$

$$118{,}5 = 8{,}7T \Rightarrow T = 13{,}6\,°C$$

$$\dot{q} = 50 \cdot 1{,}96\times10^{-3} \cdot \frac{80-13{,}6}{0{,}150} \Rightarrow \dot{q} = 43{,}4\ W$$



$$385 \cdot \frac{80-T}{\cancel{0{,}150}} = 50 \cdot \frac{T-5}{\cancel{0{,}150}}$$

$$7{,}7\,(80-T) = T-5$$

$$616 - 7{,}7T = T-5$$

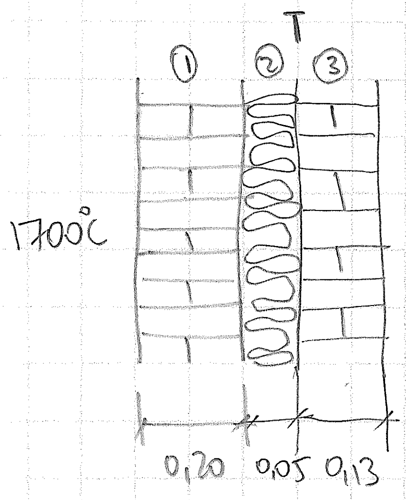
$$616+5 = T + 7{,}7T$$

$$621 = 8{,}7T \Rightarrow T = 71{,}4°$$

$$\dot{q} = 385 \cdot 1{,}96\times10^{-3} \cdot \frac{80-71{,}4}{0{,}15} \Rightarrow \dot{q} = 43{,}4\ W$$

R.: T entre as barras muda e $\dot{q}$ não muda

6. A parede de um forno é constituída de três camadas: uma camada interna de 0,20 m de tijolo refratário (k=1,28 W/mK), uma camada de lã de rocha (k=0,035 W/mK) de 5,0 cm, e uma camada externa de 0,13 m de tijolo comum (k = 0,69 W/mK). A temperatura da superfície interna do forno é 1700°C e a temperatura da superfície externa é 35°C. Considerando apenas os materiais dados, calcule o fluxo de calor por m^2 de parede em watts e a temperatura da interface entre a lã de rocha e a parede externa.



$A = 1{,}0\ m^2$

$R = \frac{L}{k.A}$; $\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t}$ $\left(i = \frac{V}{R} \right)$

Tij. Ref. $\Rightarrow R_1 = \frac{0{,}20}{1{,}28 . 1} \Rightarrow R_1 = 0{,}156\ \frac{K}{W}$

Lã $\Rightarrow R_2 = \frac{0{,}05}{0{,}035 . 1} \Rightarrow R_2 = 1{,}43\ \frac{K}{W}$

Tij. com $\Rightarrow R_3 = \frac{0{,}13}{0{,}69 . 1} \Rightarrow R_3 = 0{,}188\ \frac{K}{W}$

$R_t = 0{,}156 + 1{,}43 + 0{,}188 \Rightarrow R_t = 1{,}77\ \frac{K}{W}$

$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{1700-35}{1{,}77} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 939\ W\ (p/m^2)}$

$\dot{q} = k . A . \frac{T_1 - T_2}{L}$

$939 = 0{,}69 . 1 . \frac{T - 35}{0{,}13}$

$177 = T - 35$

$\boxed{T = 212°C}$

7. Calcule a potência em BTU/h e em HP necessária para manter uma caixa cúbica de 2,0 m de aresta, construída com duas camadas de madeira, de 1,0 cm ($k=9{,}25 \times 10^{-2}$ BTU/hft°F), com uma camada de lã de vidro ($k=2{,}54 \times 10^{-2}$ BTU/hft°F) de 2,0 cm entre elas. A temperatura interna deve ser mantida constante a 15°C, ao passo que a temperatura externa é de 25°C.

Utilizando todas as unidades no sistema inglês

ft	m
1	0,3048
x	2,0

$\Rightarrow x = \dfrac{2{,}0}{0{,}3048} \Rightarrow x = 6{,}56$ ft (aresta)

1	0,3048
x	0,01

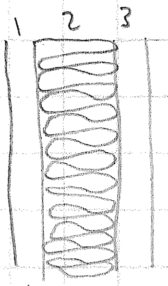
$\Rightarrow x = \dfrac{0{,}01}{0{,}3048} \Rightarrow x = 3{,}28 \times 10^{-2}$ ft (1 cm)

$x = 6{,}56 \times 10^{-2}$ ft (2 cm)

$$\frac{°C}{5} = \frac{°F - 32}{9}$$

$$\frac{15°}{5} = \frac{°F - 32}{9} \Rightarrow °F = \frac{9 \times 15°}{5} + 32 \Rightarrow 15°C = 59\,°F$$

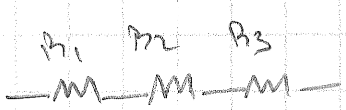
$$\frac{25°}{5} = \frac{°F - 32}{9} \Rightarrow °F = \frac{9 \times 25°}{5} + 32 \Rightarrow 25°C = 77\,°F$$



$$A = 6 \times 6{,}56^2 \Rightarrow A = 258 \text{ ft}^2$$

$$R = \frac{L}{K\,A} \Rightarrow R_1 = \frac{3{,}28 \times 10^{-2}}{9{,}25 \times 10^{-2} \times 258} \Rightarrow R_1 = 1{,}39 \times 10^{-3} \frac{°F\,hr}{BTU}$$

$R_1 = R_3$



$$R_2 = \frac{6{,}56 \times 10^{-2}}{2{,}54 \times 10^{-2} \times 258} \Rightarrow R_2 = 1{,}00 \times 10^{-2} \frac{°F.hr}{BTU}$$

$$R_t = 2 \times 1{,}39 \times 10^{-3} + 1{,}00 \times 10^{-2} \Rightarrow R_t = 1{,}28 \times 10^{-2} \frac{°F\,hr}{BTU}$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{77 - 59}{1{,}28 \times 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 1{,}41 \times 10^{3} \frac{BTU}{h}}$$

BTU/h	W
1	0,293
$1{,}41 \times 10^3$	x

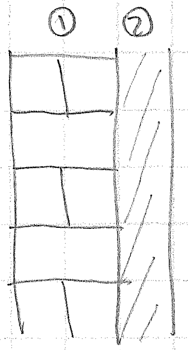
$x = 413$ W

W	HP
746	1
413	x

$\Rightarrow x = 0{,}55$ HP

$$\boxed{P = 0{,}55 \text{ HP}}$$

8. A parede externa de uma casa é composta por uma camada de 20 cm de espessura de tijolo comum (k = 0,69 W/mK)e uma camada de 5 cm de gesso (k=0,31 W/mK). A temperatura externa é de 35 °C e a face interna deve ser mantida a 20 °C. Deseja-se diminuir o fluxo de calor por unidade de área em 80% adicionando uma camada de lã de rocha (k=0,035 W/mK). Calcule a espessura dessa camada. Resposta: ~~0,103 m~~ 6,3 cm



20°C

35°C

Fluxo atual:

$$R_1 = \frac{L}{k.A} \Rightarrow R_1 = \frac{0,20}{0,69 . 1} \Rightarrow R_1 = 0,290 \ \frac{K}{W}$$

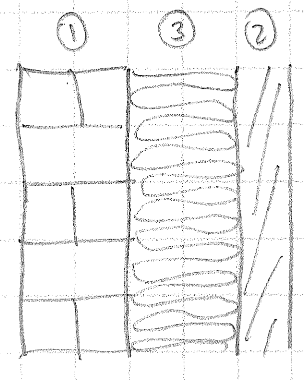
$$R_2 = \frac{0,05}{0,31 . 1} \Rightarrow R_2 = 0,161 \ \frac{K}{W}$$

$$R_t = 0,290 + 0,161 \Rightarrow R_t = 0,451 \ K/W$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{35-20}{0,451} \Rightarrow \dot{q} = 33,3 \ W \ (p/m^2)$$

Fluxo pretendido ⇒ 20% do atual

$$\dot{q} = 0,2 \times 33,3 \Rightarrow \dot{q} = 6,65 \ W$$



20°C

35°C

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow 6,65 = \frac{35-20}{R_t}$$

$$R_t = 2,26 \ k/W$$

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

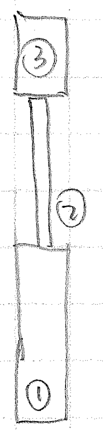
$$2,26 = 0,290 + 0,161 + R_3$$

$$R_3 = 1,80 \ k/W$$

$$R_3 = \frac{L_3}{k.A} \Rightarrow L_3 = 1,80 \times 0,035 \times 1 \Rightarrow L_3 = 6,30 \times 10^{-2} \ m$$

$$\boxed{L_3 = 6,3 \ cm}$$

9. Uma divisória de 3,0 m de largura é feita de madeira (k=0,16 W/mK) com 2,0 cm de espessura até uma altura de 1,1 metro. A seguir, há uma janela fixa feita de vidro temperado (k=0,72 W/mK) de 1,0 cm de espessura e 0,9 metros de altura. A partir daí até o teto, há um fechamento de gesso (k=0,31 W/mK) de 3,0 cm de 0,5 m de altura. A sala é mantida a uma temperatura de 23°C e o ambiente externo tem uma temperatura de 35°C. Calcule o fluxo de calor por essa parede usando a analogia com a Lei de Ohm.



1 ⇒ $L_1 = 2{,}0\ cm = 0{,}02\ m$

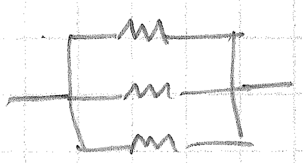
Madeira $A_1 = 3{,}0 \times 1{,}1 = 3{,}3\ m^2$

$k_1 = 0{,}16\ W/mK$

2 ⇒ $L_2 = 1{,}0\ cm = 0{,}01\ m$

Vidro $A_2 = 3{,}0 \times 0{,}9 = 2{,}7\ m^2$

$k_2 = 0{,}72\ W/mK$



3 ⇒ $L_3 = 3{,}0\ cm = 0{,}03\ m$

Gesso $A_3 = 3{,}0 \times 0{,}5 = 1{,}5\ m^2$

$k_3 = 0{,}31\ W/mK$

$$R = \frac{L}{k.A} \Rightarrow R_1 = \frac{0{,}02}{0{,}16 \cdot 3{,}3} \Rightarrow R_1 = 3{,}79 \times 10^{-2}\ k/W$$

$$R_2 = \frac{0{,}01}{0{,}72 \cdot 2{,}7} \Rightarrow R_2 = 5{,}14 \times 10^{-3}\ k/W$$

$$R_3 = \frac{0{,}03}{0{,}31 \cdot 1{,}5} \Rightarrow R_3 = 6{,}45 \times 10^{-2}\ k/W$$

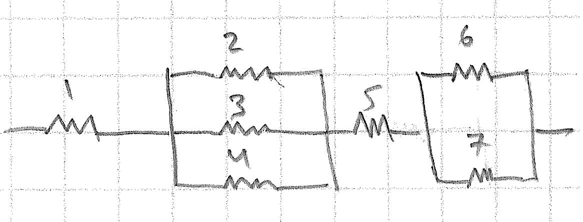
$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R_t} = \frac{1}{3{,}79 \times 10^{-2}} + \frac{1}{5{,}14 \times 10^{-3}} + \frac{1}{6{,}45 \times 10^{-2}}$$

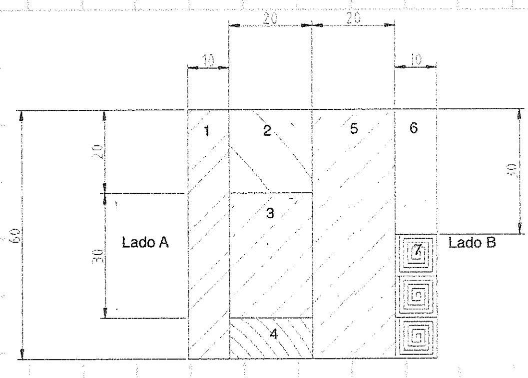
$$R_t = 4{,}23 \times 10^{-3}\ k/W$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{35 - 23}{4{,}23 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 2{,}84\ kW}$$

10. Calcule o fluxo de calor no sistema abaixo. A temperatura no lado A é de 80°C e no lado B é de 10°C. A largura da parede é de 1,0 m, e as dimensões do desenho são em cm. Os valores de k são:

Mat.	K [W/mK]
1	0,6
2	0,15
3	0,12
4	0,15
5	0,05
6	0,7
7	1,3





$$R = \frac{L}{k.A}$$

$$R_1 = \frac{0,10}{0,6 . 0,6 . 1,0} \Rightarrow R_1 = 0,278 \frac{K}{W} \; ; \; R_2 = \frac{0,20}{0,15 . 0,2 . 1,0} \Rightarrow R_2 = 6,67 \frac{K}{W}$$

$$R_3 = \frac{0,20}{0,12 . 0,3 . 1,0} \Rightarrow R_3 = 5,56 \frac{K}{W} \; ; \; R_4 = \frac{0,20}{0,15 . 0,1 . 1,0} \Rightarrow R_4 = 13,3 \frac{K}{W}$$

$$R_5 = \frac{0,20}{0,05 . 0,6 . 1,0} \Rightarrow R_5 = 6,67 \frac{K}{W} \; ; \; R_6 = \frac{0,10}{0,7 . 0,3 . 1,0} \Rightarrow R_6 = 0,476 \frac{K}{W}$$

$$R_7 = \frac{0,10}{1,3 . 0,3 . 1,0} \Rightarrow R_7 = 0,256 \frac{K}{W}$$

$$\frac{1}{R_{2,3,4}} = \frac{1}{6,67} + \frac{1}{5,56} + \frac{1}{13,3} \Rightarrow R_{2,3,4} = 2,47 \frac{K}{W}$$

$$\frac{1}{R_{6,7}} = \frac{1}{0,476} + \frac{1}{0,256} \Rightarrow R_{6,7} = 0,166 \frac{K}{W}$$

$$R_t = R_1 + R_{2,3,4} + R_5 + R_{6,7} \Rightarrow R_t = 0,278 + 2,47 + 6,67 + 0,166$$

$$R_t = 9,58 \; K/W$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{80-10}{9,58} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 7,31 \; W}$$