

## Transferência de Calor - Lista de Exercícios 1.

1) Uma janela de vidro duplo (cada um com espessura de 4 mm) possui uma camada de ar de 1 cm entre os vidros. O ar externo está a  $-10^{\circ}\text{C}$  com um coeficiente convectivo de transferência de calor de  $175 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A superfície da camada de vidro em contato com o ambiente interno está a  $298 \text{ K}$ . Determine a taxa de transferência de calor e a temperatura mais baixa na camada de ar.

**Solução:  $88 \text{ W/m}^2$ ,  $-9,4^{\circ}\text{C}$ ;**

2) Um painel de circuitos elétricos possui uma camada de 1mm de substrato,  $k = 0,95 \text{ W/mK}$ , uma camada de 1,5 mm de plástico,  $k = 0,4 \text{ W/mK}$ , exposta a um coeficiente convectivo externo  $h = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$  do óleo de refrigeração. Se o circuito elétrico gera  $1000 \text{ W/m}^2$ , quão quente ele vai estar?

**Solução:  $58^{\circ}\text{C}$ ;**

3) Uma manta fina de aquecimento elétrico dissipa  $100 \text{ W/m}^2$ . Sobre sua face esquerda tem 2 cm de madeira macia, seguida de uma placa de vidro de 2 mm de espessura exposta ao ar a  $60^{\circ}\text{C}$  com um coeficiente convectivo  $h = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sobre a face direita da manta aquecedora tem uma camada de ar de 1 mm, seguida de uma chapa fina de aço de 1 mm que está exposta a um escoamento de água a 200 kPa e  $100^{\circ}\text{C}$  com um  $h = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A geometria é toda plana e o regime é permanente. Determine a temperatura da manta e as taxas de fluxo de calor ( $\text{W/m}^2$ ) para a direita e para a esquerda da manta.

**Solução:  $94^{\circ}\text{C}$ ,  $-63 \text{ W/m}^2$ ,  $163 \text{ W/m}^2$**

4) Vapor d'água saturado a 15 kPa escoar em um tubo de aço com raio interno de 0,2 m e uma espessura de parede de 3 mm. O isolamento térmico aplicado em torno do tubo tem 0,1 m de espessura com uma condutividade térmica de  $0,07 \text{ W/mK}$ , e o coeficiente convectivo entre a superfície externa do isolante e o ar ambiente a  $25^{\circ}\text{C}$  é  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Determine a queda de temperatura através do isolamento e a taxa de fluxo de calor.

**Solução:  $28^{\circ}\text{C}$ ,  $31 \text{ W/m}$ ;**

5) Água líquida saturada a 500 kPa escoar, com uma vazão de 2 kg/s, em um tubo de metal com 5 cm de diâmetro interno,  $k = 40 \text{ W/mK}$ , e espessura de parede de 3 mm. O tubo é exposto a um ambiente contendo um gás a  $500^{\circ}\text{C}$  com  $h = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A água está sendo aquecida para sair do tubo como vapor saturado a 500 kPa. Considere que a temperatura da água é uniforme e que a resistência térmica da camada convectiva interna é desprezível. Determine a taxa total de transferência de calor e o comprimento de tubo necessário para esse processo em regime permanente.

**Solução:  $4217 \text{ kW}$ ,  $0,0573 \text{ mK/W}$ ,  $694 \text{ m}$ ;**

6) Uma placa retangular de alumínio de 16 mm por 16 mm, com 1 mm de espessura, é acoplada sobre a superfície do invólucro de uma CPU de 16 mm por 8 mm. Despreze as laterais e o fundo da CPU. As superfícies livres do invólucro mais aleta devem remover um total de 1 W, com um coeficiente de transferência de calor convectivo de  $40 \text{ W/m}^2\text{K}$  para o ar a  $25^{\circ}\text{C}$ . Qual é a temperatura da superfície do invólucro da CPU?

**Solução:  $63^{\circ}\text{C}$ ;**

7) Um vaso metálico, esférico, de paredes delgadas, é usado para guardar nitrogênio líquido a 77 K. O vaso tem o diâmetro de 0,5 m e está dentro de um isolamento evacuado, refletivo, constituído por pó de sílica. O isolamento tem 25 mm de espessura e a sua superfície externa está exposta ao ar ambiente, a 300 K. O coeficiente de convecção é  $20 \text{ W/m}^2$ . O calor latente de vaporização e a densidade do nitrogênio líquido são, respectivamente,  $2 \times 10^5 \text{ J/kg}$  e  $804 \text{ kg/m}^3$ .

1. Qual é a taxa de transferência de calor para o nitrogênio líquido?

2. Qual é a taxa de perda do líquido por vaporização?

Dados: Pó de sílica evacuado (300K):  $k = 0,0017 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

**Solução: 1.  $q = 13,06 \text{ W}$     2.  $V = 7 \text{ litros/dia}$ ;**

8) Uma parede plana é composta de dois materiais, **A** e **B**. A parede de material **A** tem uma geração uniforme de calor  $q = 1,5 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ ,  $k_A = 75 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  e espessura  $L_A = 50\text{mm}$ . A parede de material **B** não tem geração de calor,  $k_B = 150 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  e a espessura é  $L_B = 20\text{mm}$ . A superfície interna do material **A** está bem isolada, enquanto a superfície externa do material **B** está resfriada por uma corrente de água com  $T_\infty = 30^\circ\text{C}$  e  $h = 1.000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

1. Fazer o gráfico da distribuição de temperatura na parede composta, em regime permanente.
2. Determinar a temperatura  $T_0$  de superfície isolada e a temperatura  $T_2$  da superfície resfriada.

**Solução:**  $T_0 = 140^\circ\text{C}$ ;  $T_2 = 105^\circ\text{C}$ ;

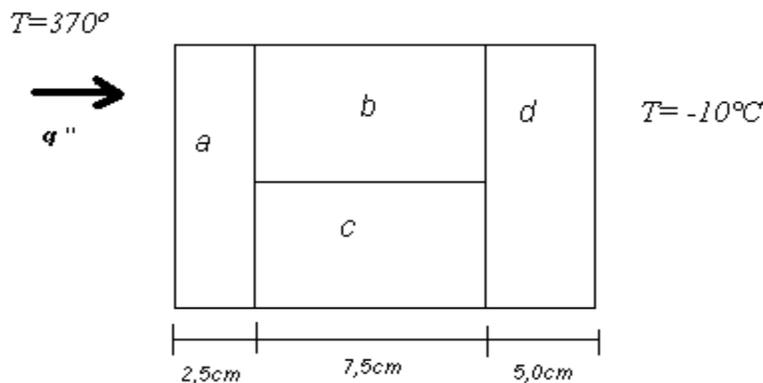
9) Consideremos um tubo comprido, sólido, com um isolamento no raio externo  $r_0$ , e resfriado no raio interno  $r_i$ , com uma geração uniforme de calor  $q \text{ (W/m}^3\text{)}$  na parede.

1. Determine a solução geral da distribuição de temperatura no tubo.
2. Numa certa aplicação, há um limite na temperatura máxima admissível na superfície isolada ( $r=r_0$ ). Identificar esta temperatura como  $T_0$  e determinar as condições de contorno apropriadas para determinar as constantes arbitrárias que aparecem na solução geral.
3. Determinar a taxa de remoção de calor por unidade de comprimento do tubo.
4. Sendo Disponível um refrigerante na temperatura  $T_\infty$ , deduzir uma expressão para o coeficiente de convecção que teria que existir na superfície interna a fim de ser possível a operação na temperatura  $T_0$  com a taxa de geração  $q$ .

10) Na figura a seguir é mostrado um conjunto de paredes planas compostas.

- a. Calcule o fluxo de calor unidimensional, permanente;
- b. Determine a temperatura em todas as interfaces.

**Considere dado:**  $\text{Área}_{(b)} = \text{Área}_{(c)}$ ,  $k_a = 175 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$ ,  $k_b = 40 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$ ,  $k_c = 50 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$ ,  $k_d = 80 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$ .



**Solução:** (a)  $q'' = 15.6088,26 \text{ (W/m}^2\text{)}$

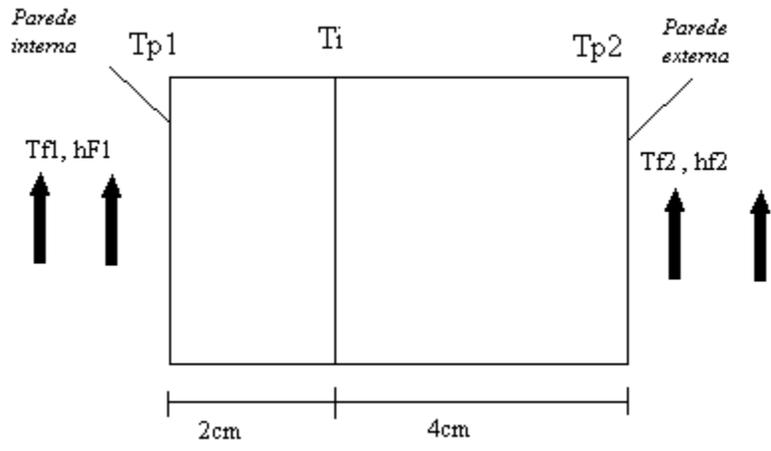
(b)  $T_2 = 347,7^\circ\text{C}$ ;  $T_3 = 87,6^\circ\text{C}$ ;

$T_1 =$  temperatura da parede interna 1;

$T_4 =$  temperatura da parede externa 2.

11) Considere uma parede plana de duas camadas de materiais diferentes  $M_1$  e  $M_2$ , conforme mostrado na figura a seguir. A camada  $M_1$  está em contato com um fluido a esta temperatura  $T_{f1} = 250^\circ\text{C}$ , com coeficiente  $h_{f1} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A camada  $M_2$  está em contato com um fluido a temperatura  $T_{f2} = 50^\circ\text{C}$ , com coeficiente de convecção  $h_{f2} = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Dados:** Material  $M_1$ :  $k_1 = 0,1 \text{ W/mK}$   
 Material  $M_2$ :  $k_2 = 0,05 \text{ W/mK}$



Para as condições expostas:

- Faça o circuito térmico correspondente ao circuito elétrico.
- Calcule o fluxo de calor ( $q'' = q/A$ )
- Determine as temperaturas  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  e  $T_i$  (temperatura na interface), correspondentes a superfície interna, superfície de contato entre  $M_1$  e  $M_2$ , e a superfície externa.
- Determine a temperatura na posição  $x=5 \text{ cm}$ , com a origem na parede interna.

12) A parede composta de um forno possui três materiais, dois dos quais com condutividade térmica,  $K_A = 20 \text{ W/m.K}$  e  $K_C = 50 \text{ W/m.K}$ , e espessura  $L_A = 0,30 \text{ m}$  e  $L_C = 0,15 \text{ m}$  conhecidas. O terceiro material, B, que se encontra entre os materiais A e C, possui espessura  $L_B = 0,15 \text{ m}$  conhecida, mas a sua condutividade térmica  $K_B$  é desconhecida. Sob condições de operação em regime estacionário, medidas revelam um temperatura na superfície externa do forno de  $T_{S,E} = 20^\circ\text{C}$ , uma temperatura na superfície interna de  $T_{S,I} = 600^\circ\text{C}$  e uma temperatura do ar no interior do forno de  $T_\infty = 800^\circ\text{C}$ . O coeficiente convectivo interno  $h$  é conhecido, sendo igual a  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Qual o valor de  $K_B$  ?

**R. 1,53 W/mK.**

