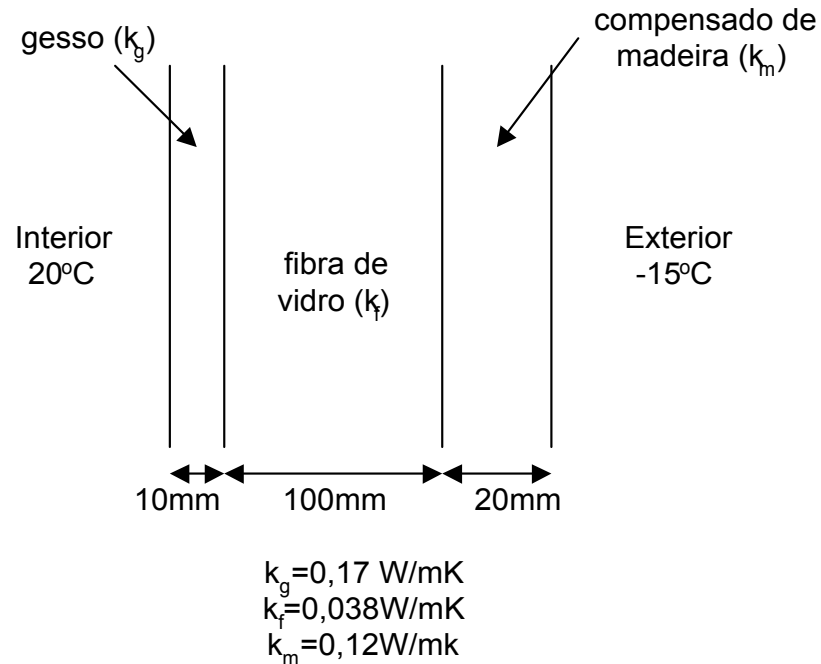


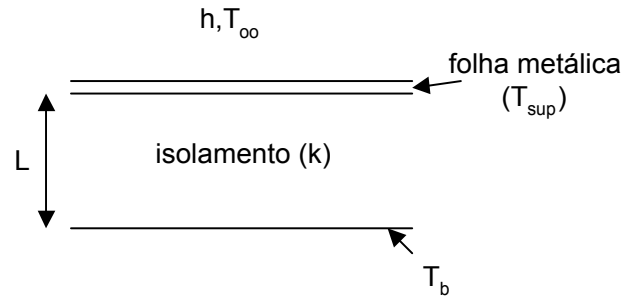
# CONDUÇÃO DE CALOR UNIDIMENSIONAL

## EXERCÍCIOS EM SALA

- 1) Uma casa possui uma parede composta com camadas de madeira, isolamento à base de fibra de vidro e gesso, conforme indicado na figura. Em um dia frio de inverno, os coeficientes de transferência de calor por convecção são  $h_e=60 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $h_i=30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A área total da superfície da parede é de  $350 \text{ m}^2$ .
- Para as condições dadas, determine uma expressão simbólica para a resistência térmica total da parede, incluindo os efeitos da convecção térmica nas superfícies interna e externa da parede.
  - Determine a perda total de calor através da parede (**4.21 KW**)
  - Se o vento soprasse violentamente, aumentando o valor de  $h_e$  para  $h_e=300 \text{ W/m}^2\text{K}$ , determine o aumento percentual da perda de calor (**0.5%**)
  - Qual é a resistência que controla o processo térmico, ao ser a mais importante na determinação da quantidade de calor que atravessa a parede? (**a maior resistência, fibra de vidro**)



- 2) (3.6) Uma técnica para medir o coeficiente de transferência de calor por convecção envolve a adesão de uma das superfícies de uma folha metálica delgada a um material isolante e a exposição da outra superfície ao fluido escoando nas condições de interesse.

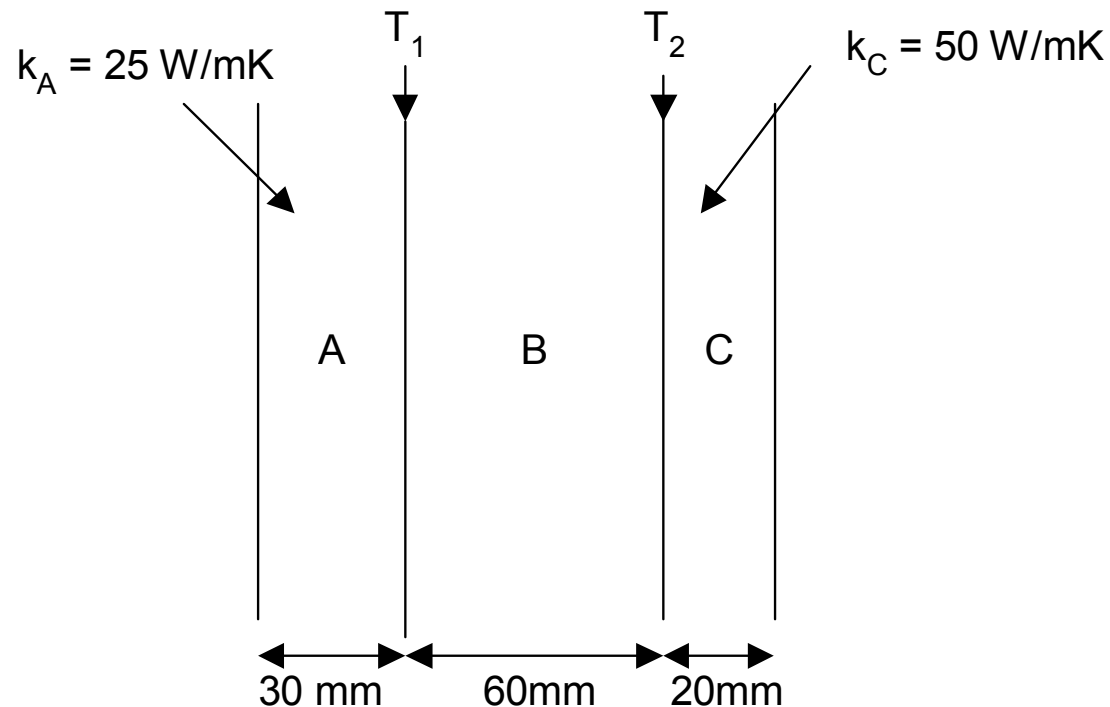


Ao passar uma corrente elétrica através da folha metálica, calor é dissipado uniformemente e o fluxo correspondente,  $P''$ , pode ser deduzido a partir da medida da voltagem e da corrente elétrica. Se a espessura da camada de isolamento térmico  $L$  e a sua condutividade térmica  $k$  forem conhecidas, e as temperaturas do fluido, da folha metálica e da base do isolamento ( $T_\infty$ ,  $T_{sup}$  e  $T_b$ ) forem medidas, o coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser determinado. Considere condições para as quais  $T_\infty = T_b = 25^\circ\text{C}$ ,  $P'' = 2000 \text{ W/m}^2$ ,  $L = 10 \text{ mm}$  e  $k = 0,040 \text{ W/mK}$ .

- Com o escoamento de água sobre a superfície, a medida da temperatura da folha fornece  $T_{sup} = 27^\circ\text{C}$ . Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção ( **$h=996 \text{ W/m}^2 \text{ K}$** )
- Qual seria o erro percentual cometido se fosse considerado que toda a potência dissipada é transferida por convecção para a água? ( **$h=1000 \text{ W/m}^2 \text{ K} - 0.4\%$  de erro)**)
- Com o escoamento de ar sobre a superfície, a medida da temperatura da folha fornece  $T_{sup} = 125^\circ\text{C}$ . Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção e comente sobre este resultado em relação ao obtido na letra (a). ( **$h=16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$** ). Avaliar o erro percentual cometido se fosse considerado que toda a potência dissipada é transferida por convecção para o ar ( **$h=20 \text{ W/m}^2 \text{ K} - 25\%$  de erro)**)

- 3) (3.39) Um tubo de aço inoxidável (AISI 304) utilizado para transportar produtos farmacêuticos resfriados tem diâmetro interno de 36 mm e espessura da parede de 2 mm. As temperaturas dos produtos farmacêuticos e do ar ambiente são de 6°C e 23°C, respectivamente, enquanto os coeficientes convectivos correspondentes às superfícies interna e externa são de 400 W/m<sup>2</sup>K e 6 W/m<sup>2</sup>K, respectivamente.
- a) Qual o ganho de calor por unidade de comprimento do tubo? **(12.6 W/m)**
  - b) Qual o ganho de calor por unidade de comprimento do tubo se uma camada de isolamento de silicato de cálcio com 10mm de espessura ( $k_{is}=0,050$  W/mK) for aplicada ao tubo? **(7.7 W/m)**
- 4) (3.57) Uma esfera oca de alumínio ( $k=237$  W/mK), com um aquecedor elétrico em seu centro, é utilizada em testes para determinar a condutividade térmica de materiais isolantes. Os raios interno e externo da esfera são 0,15 e 0,18m, respectivamente, e o teste é feito em condições de regime estacionário com a superfície interna do alumínio mantida a 250°C. Para um teste em particular, uma casca esférica de isolamento de 0,12 m de espessura é fundida na superfície externa de uma esfera. O sistema encontra-se em um ambiente no qual a temperatura do ar é de 20°C e o coeficiente de convecção na superfície externa do isolamento é de 30 W/m<sup>2</sup>K. Se são dissipados 80W pelo aquecedor em condições de regime estacionário, qual a condutividade térmica do isolamento? **( $k=0.06$  W/mK)**

5) (3.73) Seja a condução térmica unidimensional em uma parede plana composta. Suas superfícies externas estão expostas a um fluido a  $25^{\circ}\text{C}$  com um coeficiente de transferência de calor por convecção de  $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na parede intermediária B há geração uniforme de calor ( $q_B$ ) enquanto não existe geração nas paredes A e C ( $q_A = q_C = 0$ ). As temperaturas nas interfaces são de  $T_1=261^{\circ}\text{C}$  e  $T_2=211^{\circ}\text{C}$ . Supondo resistência de contato desprezível nas interfaces, determine a taxa volumétrica de geração de calor ( $\dot{q}_B$ ) e a condutividade térmica  $k_B$ . ( $\dot{q}_B = 4002 \text{ W/m}^3$ ;  $k_B = 15,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ )



6) A superfície exposta ( $x=0$ ) de uma parede plana com condutividade térmica  $k$  encontra-se sujeita a radiação de microondas que causa um aquecimento volumétrico que varia conforme

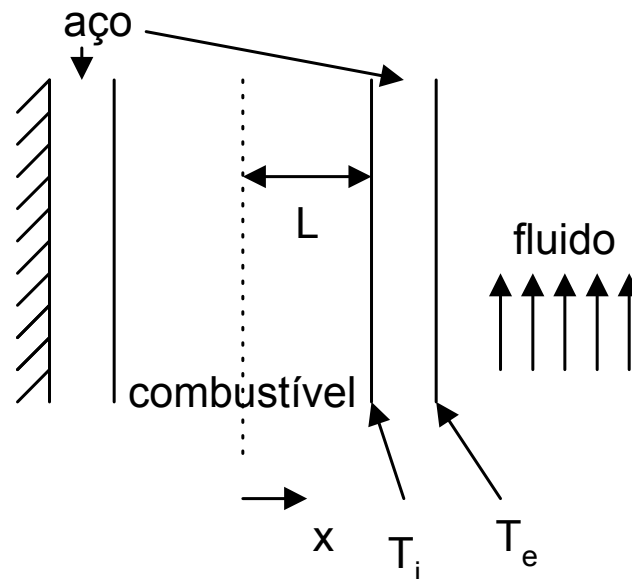
$$\dot{q}_x = \dot{q}_e \left( 1 - \frac{x}{L} \right)$$

onde  $\dot{q}_e$  ( $\text{W/m}^3$ ) é uma constante. A fronteira em  $x=L$  está perfeitamente isolada, enquanto a superfície exposta é mantida a uma temperatura constante  $T_e$ . Determine a distribuição de temperatura  $T(x)$  em termos de  $x, L, \dot{q}_e$  e  $T_e$ . **Resposta:**  $T(x) = \frac{\dot{q}_e}{2k} \left( \frac{x^3}{3L} - x^2 + Lx \right) + T_e$

7) (3.95) Resíduos radioativos ( $k_{rr} = 20 \text{W/mK}$ ) são armazenados em um tanque esférico de aço inoxidável ( $k_{ai} = 15 \text{W/mK}$ ) de raios interno e externo iguais a 0,5 e 0,6m, respectivamente. Calor é gerado volumetricamente no interior dos resíduos a uma taxa uniforme  $\dot{q} = 10^5 \text{W/m}^3$  e a superfície externa do tanque encontra-se exposta a uma corrente de água a  $25^\circ\text{C}$  ( $h = 1000 \text{W/m}^2\text{K}$ ).

- Encontre o valor da temperatura da parede externa do tanque em regime estacionário ( **$36.6^\circ\text{C}$** )
- Encontre o valor da superfície interna do tanque em regime estacionário ( **$129.4^\circ\text{C}$** )
- Partindo da equação geral de condução de calor, obtenha uma expressão para a distribuição de temperatura nos resíduos radioativos em função do raio. Qual o valor da temperatura em  $r=0$ ? ( **$337,7^\circ\text{C}$** )

8) Uma barra retangular de combustível sólido nuclear de 30 mm de espessura ( $2L$ ) é recoberta por um revestimento de aço de 3mm de espessura, conforme mostrado na figura a seguir. O combustível apresenta geração uniforme de calor, a uma taxa de  $2,5 \times 10^7 \text{ W/m}^3$ . O revestimento interno de aço é isolado, e o revestimento externo está exposto a um fluido de resfriamento a  $150^\circ\text{C}$  ( $h=20000 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). As condutividades térmicas do combustível e do aço são iguais a 60 e 15  $\text{W/mK}$ , respectivamente. Avalie as temperaturas interna ( $T_i$ ) e externa ( $T_e$ ) do revestimento de aço em contato com o fluido. Obtenha uma expressão para a variação da temperatura ao longo de  $x$  no interior do combustível. Qual o ponto de temperatura mais elevada no combustível e qual o valor desta temperatura?



- 9) Bastões circulares de cobre ( $k=398 \text{ W/mK}$ ), com diâmetro  $D=1\text{mm}$  e comprimento  $L=25\text{mm}$ , são usados para aumentar a transferência de calor em uma superfície que é mantida a  $100^\circ\text{C}$ . Uma extremidade do bastão é presa a essa superfície e a outra extremidade é mantida a  $0^\circ\text{C}$ . Ar, que escoia entre as superfícies (e sobre os bastões), também se encontra a  $0^\circ\text{C}$  ( $h=100 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
- Qual é a taxa de transferência de calor por convecção entre um único bastão de cobre e o ar?
  - Qual a taxa total de transferência de calor dissipada de uma seção da superfície a  $100^\circ\text{C}$  de  $1\text{m}$  por  $1\text{m}$ . Os bastões encontram-se posicionados com uma distância entre centros de  $4\text{mm}$ .

10) Devido ao grande número de componentes nos chips dos pc's atuais, sorvedouros de calor aletados são usados com frequência para manter os chips a uma temperatura de operação aceitável. Dois projetos de sorvedouros aletados devem ser analisados, ambos com a área da base (sem aletas) de dimensões de 53mm X 57 mm. As aletas possuem seção reta quadrada e são fabricadas em uma liga de alumínio que possui condutividade de 175 W/mK. Ar para o resfriamento pode ser suprido a 25°C, e a temperatura máxima permissível para o chip é de 75°C. Outras características do projeto e das condições operacionais são apresentadas na tabela.

Projeto	Dimensões das Aletas		Número de aletas na matriz	h (W/m <sup>2</sup> K)
	Seção reta w X w (mm)	Comprimento (mm)		
A	3 X 3	30	6 X 9	125
B	1 X 1	7	14 X 17	375

Determine o melhor arranjo de aletas. Na sua análise, calcule a taxa de transferência de calor e a eficiência de uma única aleta, bem como a taxa total de transferência de calor e a eficiência global do conjunto de aletas.



**Projeto A: o calor total dissipado é 114W**

**Projeto B: o calor total dissipado é 160W – corresponde ao melhor arranjo**

11) Uma parede de um aquecedor elétrico blindado é feita de uma placa de cobre ( $k=400 \text{ W/mK}$ ),  $160 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$  de largura e  $5 \text{ mm}$  de espessura. Para aumentar o calor transferido através da placa, 400 aletas de cobre em forma de pinos, cada uma com  $4 \text{ mm}$  de diâmetro e  $20 \text{ mm}$  de comprimento, são integralmente fixadas nas duas superfícies da placa (200 em cada lado). Ar quente na blindagem está a uma temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , e a circulação natural fornece um coeficiente de convecção médio de  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , na superfície interior da placa. Um escoamento forçado de ar ambiente a  $20^\circ\text{C}$  desenvolve um coeficiente de convecção médio de  $100 \text{ W/m}^2\text{K}$  na face externa da placa.

- a) Estime a taxa de transferência de calor através da placa (Dicas: monte o circuito térmico do problema; avalie as resistências térmicas de cada conjunto de aletas). ( **$q = 16,2 \text{ W}$** )
- b) Considerando o mesmo coeficiente de convecção sem aletas, determine a elevação do calor removido fornecido pelos pinos (**194% - a taxa de transferência de calor sem os pinos é  $5,5 \text{ W}$** )