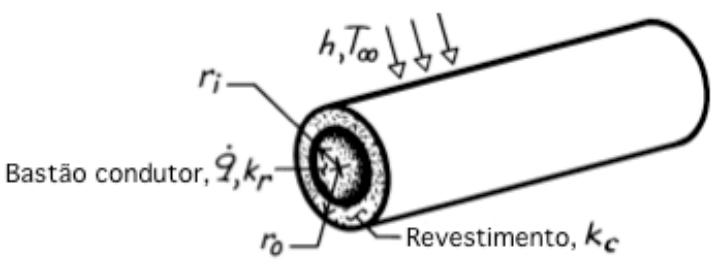


## Exercícios de Sala – Introdução à Transferência de Calor / Condução (aulas 19, 20 e 21 )

### Introdução à transferência de calor

- 1- Uma placa de alumínio, com 4 mm de espessura, encontra-se na posição horizontal e a sua superfície inferior está isolada termicamente. Um fino revestimento especial é aplicado sobre sua superfície superior de tal forma que a mesma pode ser considerada uma superfície cinza com emissividade 0,50. A massa específica  $\rho$  e o calor específico  $c$  do alumínio são iguais a  $2700 \text{ kg/m}^3$  e  $900 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , respectivamente.
  - a) Considere condições nas quais a placa está à temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e a sua superfície superior é subitamente exposta a uma corrente de ar com  $T_\infty = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  estando numa câmara cujas paredes estão a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . O coeficiente de transferência de calor por convecção entre a superfície e o ar é de  $h = 20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ . Qual é a taxa inicial da variação de temperatura da placa?
  - b) Qual será a temperatura de equilíbrio da placa quando as condições de regime estacionário forem atingidas?

### Condução

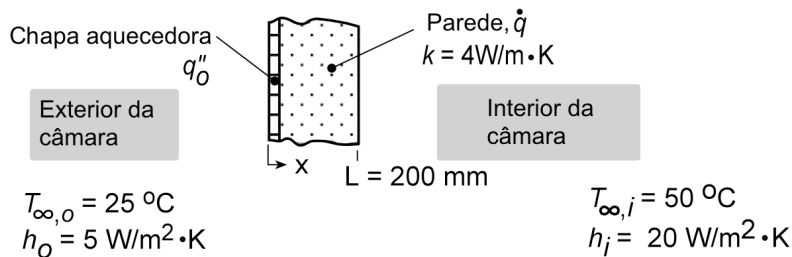
- 1- As temperaturas das superfícies interna e externa de uma janela de vidro, com espessura de 5 mm, são de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  respectivamente. Qual é a perda de calor através de uma janela com dimensões de 1 m de largura por 3 m de altura? Assuma que a distribuição de temperaturas ao longo da espessura da janela é linear e que a condutividade térmica do vidro é constante e igual a  $1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .
- 2- A passagem de uma corrente elétrica através de um longo bastão condutor de raio  $r_i$  e condutividade térmica  $k_r$  resulta em um aquecimento volumétrico uniforme a uma taxa  $\dot{q}$ . O bastão condutor é coberto por um revestimento de material não-condutor elétrico, com raio externo  $r_o$  e condutividade térmica  $k_c$ . A superfície externa é resfriada pelo contato com um fluido em escoamento. Para condições de estado estacionário, escreva as formas apropriadas da equação do calor para o bastão e para o revestimento. Enuncie as condições de contorno apropriadas para a solução dessas equações.

Bastão condutor,  $\dot{q}, k_r$

Revestimento,  $k_c$
- 3- As paredes externas de um edifício são compostas por três camadas: uma placa de gesso ( $k_g = 0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) com 10 mm de espessura, espuma de uretano ( $k_u = 0,026 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) com 50 mm de espessura, e uma madeira macia ( $k_m = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) com 10 mm de espessura. Em um dia típico de inverno, as temperaturas do ar nos lados externo e interno da parede são de  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente., com os correspondentes coeficientes de transferência de calor por convecção iguais a  $15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  e  $5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ .
  - a) Qual a carga de aquecimento necessária para um seção de  $1 \text{ m}^2$  da parede?
  - b) Qual a carga de aquecimento necessária se a parede composta for substituída por uma janela de vidro ( $k_v = 1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) com 3 mm de espessura?
  - c) Qual a carga de aquecimento necessária se a parede composta for substituída por uma janela dupla, com duas lâminas de vidro de 3 mm de espessura separadas por um espaço de 5 mm contendo ar estagnado ( $k_a = 0,0263 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ )?
- 4- Um aquecedor elétrico delgado é enrolado ao redor da superfície externa de um tubo cilíndrico longo cuja superfície interna é mantida a uma temperatura de  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . A parede do tubo possui raios interno e externo iguais a 25 mm e 75 mm, respectivamente, e condutividade térmica de  $10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . A resistência térmica de contato entre o aquecedor e a superfície externa do tubo (por unidade de comprimento do tubo) é de  $R'_{t,c} = 0,01 \text{ m}\cdot\text{K/W}$ . A superfície externa do aquecedor está exposta a um fluido com  $T_\infty = -10 \text{ }^\circ\text{C}$  e um coeficiente de convecção de  $h = 100 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ . Determine a potência do aquecedor, por unidade de comprimento do tubo, requerida para mantê-lo a  $T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 5- Vapor d'água superaquecido a  $575 \text{ }^\circ\text{C}$  é conduzido de uma caldeira para a turbina de uma usina de geração de potência elétrica através de tubos de aço ( $k = 35 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ), com diâmetro interno igual a

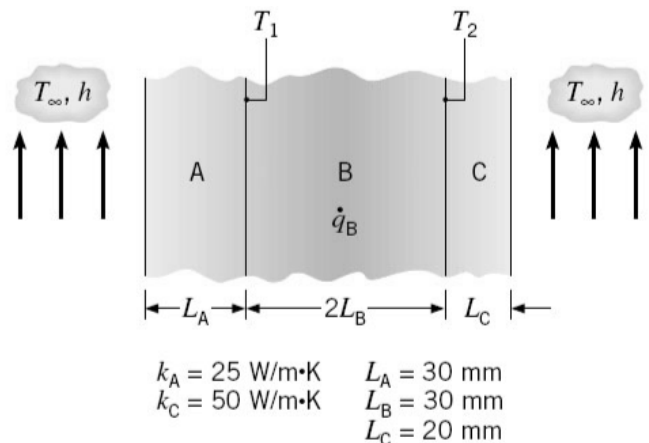
300 mm e 30 mm de espessura de parede. Para reduzir a perda térmica para a vizinhança e para manter a temperatura externa segura para o toque, uma camada de isolante de silicato de cálcio ( $k = 0,10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) é aplicada nos tubos. A degradação do isolante é reduzida ao cobri-lo com uma folha fina de alumínio que possui uma emissividade  $\varepsilon = 0,20$ . A temperatura do ar e das paredes da planta de potência é igual a  $27^\circ\text{C}$ . Considerando que a temperatura da superfície interna do tubo de aço seja igual à do vapor e que o coeficiente convectivo externo à folha de alumínio seja igual a  $6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , qual é a espessura mínima de isolante necessária para garantir que a temperatura do alumínio não seja superior a  $50^\circ\text{C}$ ? Qual é a perda de calor correspondente, por metro de comprimento de tubo?

- 6- Ar no interior de uma câmara a  $T_{\infty,i} = 50^\circ\text{C}$  é aquecido por convecção, com  $h_i = 20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , através de uma parede com 200 mm de espessura, condutividade térmica de  $4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  e com geração uniforme de calor a uma taxa de  $1000 \text{ W}/\text{m}^3$ . Para evitar que o calor gerado no interior da parede seja perdido para o lado de fora da câmara, a  $T_{\infty,o} = 25^\circ\text{C}$  e com  $h_o = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , um aquecedor elétrico delgado é colocado sobre a superfície externa da parede para fornecer um fluxo térmico uniforme,  $q''_o$ .
- Esboce a distribuição de temperatura na parede, em um sistema de coordenadas  $T-x$ , para a condição em que nenhum calor gerado no seu interior é perdido para o lado de fora da câmara.
  - Quais são as temperaturas nas superfícies da parede,  $T(0)$  e  $T(L)$ , para as condições da parte (a)?
  - Determine o valor de  $q''_o$  que deve ser fornecido pelo aquecedor elétrico de modo que todo o calor gerado no interior da parede seja transferido para o interior da câmara.
  - Se a geração de calor na parede for interrompida e o fluxo fornecido pelo aquecedor elétrico permanecer constante, qual será a temperatura em regime estacionário,  $T(0)$ , na superfície externa da parede.



- 7- Um cabo de cobre, com 30 mm de diâmetro e resistência elétrica de  $5 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ , conduz uma corrente elétrica de 250 A. O cabo está exposto ao ar ambiente a  $20^\circ\text{C}$ , onde o coeficiente de transferência de calor por convecção é  $25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Quais são as temperaturas na superfície e no centro do cabo de cobre?

- 8- Seja a condução unidimensional em uma parede plana composta. Sua superfície externa está exposta a um fluido a  $25^\circ\text{C}$ , com um coeficiente convectivo de  $1000 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Na parede intermediária B há geração uniforme de calor a uma taxa  $\dot{q}_B$ , enquanto não existe geração nas paredes A e C. As temperaturas nas interfaces são  $T_1 = 261^\circ\text{C}$  e  $T_2 = 211^\circ\text{C}$ . Supondo resistências de contato desprezíveis nas interfaces, determine a taxa volumétrica de geração de calor  $\dot{q}_B$  e a condutividade térmica  $k_B$ .



- 9- Uma barra longa de latão [ $k_r = 110 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ] conduz corrente elétrica gerando energia térmica a uma taxa volumétrica uniforme de  $\dot{q} = 2 \times 10^6 \text{ W}/\text{m}^3$ . A barra é concêntrica com um cilindro de cerâmica oco, criando um espaço cheio de ar entre os dois. A resistência térmica por unidade de comprimento devido à radiação entre as superfícies do espaço barra/cerâmica é igual a  $R'_{\text{rad}} = 0,30 \text{ m}\cdot\text{K}/\text{W}$  e o coeficiente associado à convecção natural neste mesmo espaço é de  $h = 20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Calcule a temperatura no centro da barra.

