



**FENÔMENOS DE TRANSPORTE II**  
**TRANSFERÊNCIA DE CALOR DEQ303**

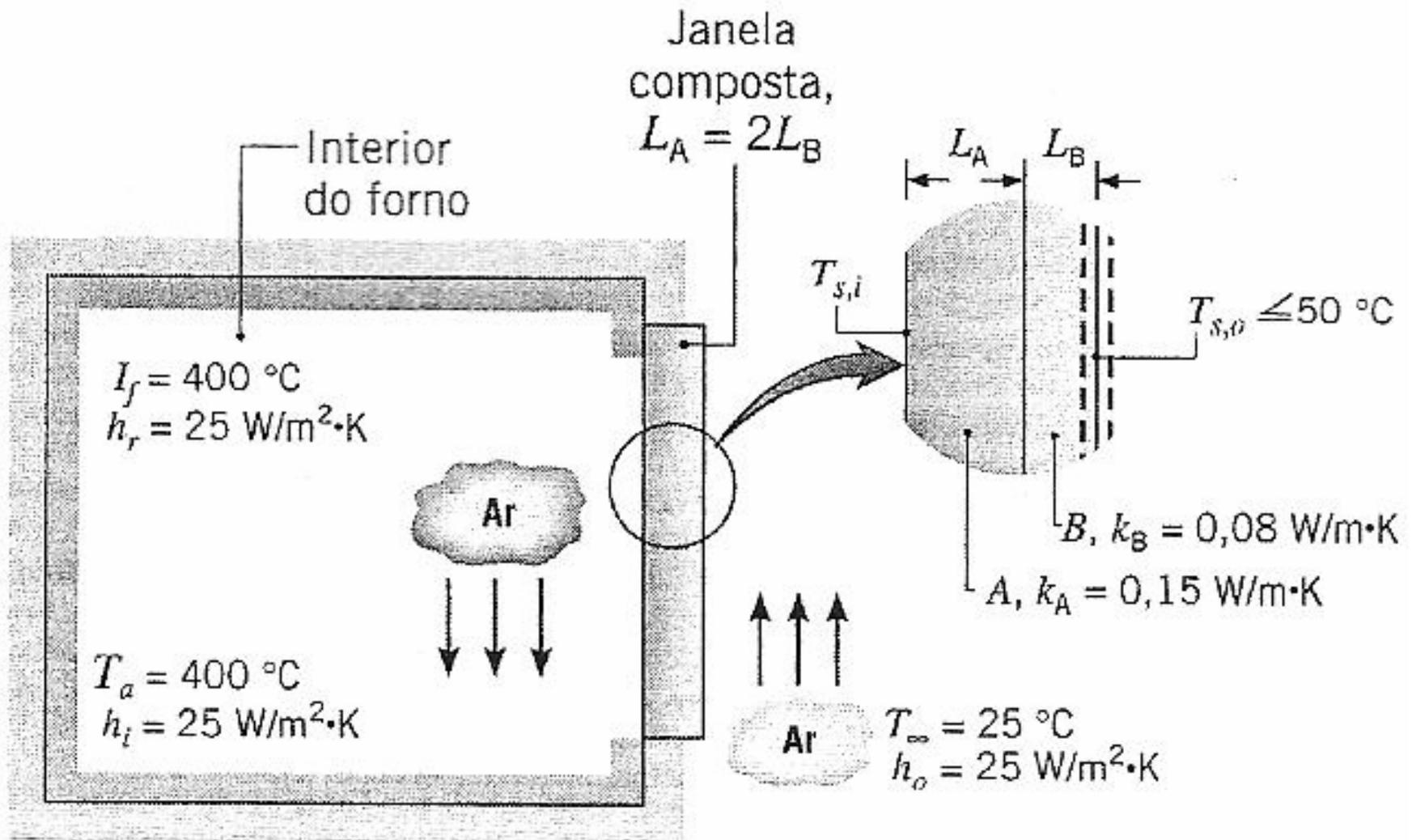
**Condução Unidimensional em Regime Estacionário**  
**3ª parte (ex.3.1 e ex.3.2)**

Professor Osvaldo Chiavone Filho

### Exemplo 3.1:

Um importante produtor de eletrodomésticos está propondo um projeto de um forno auto limpante que envolve o uso de uma janela composta. Esta consiste em dois plásticos de alta temperatura (A e B) de espessuras  $L_A = 2 L_B$  e condutividades térmicas  $k_A = 0.15 \text{ W/m.K}$  e  $k_B = 0.08 \text{ W/m.K}$ . Durante o processo de auto limpeza, as temperaturas das paredes do forno e do ar,  $T_P$  e  $T_A$ , são  $400^\circ\text{C}$ , enquanto a temperatura do ar ambiente  $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ . Os coeficientes internos de transferência de calor por convecção e radiação,  $h_I$  e  $h_R$ , são de aproximadamente  $25 \text{ W/m}^2.\text{K}$  cada. Qual o valor mínimo para a espessura da janela  $L = L_A + L_B$ , necessário para garantir uma temperatura de  $50^\circ\text{C}$  ou **menos** na superfície externa da janela? Essa temperatura não deve ser excedida por questões de segurança.

# Figura do forno:



## Dados:

- $L_A = 2L_B$
- $k_A = 0,15 \text{ W/m.K}; k_B = 0,08 \text{ W/m.K}$
- $T_P = T_A = 400^\circ\text{C}; T_\infty = 25^\circ\text{C}$
- $h_I = h_R = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$

O que se deseja encontrar:

- $L$ , para temperaturas até  $50^\circ\text{C}$ , sabendo que

$$L = L_A + L_B$$

## Hipóteses:

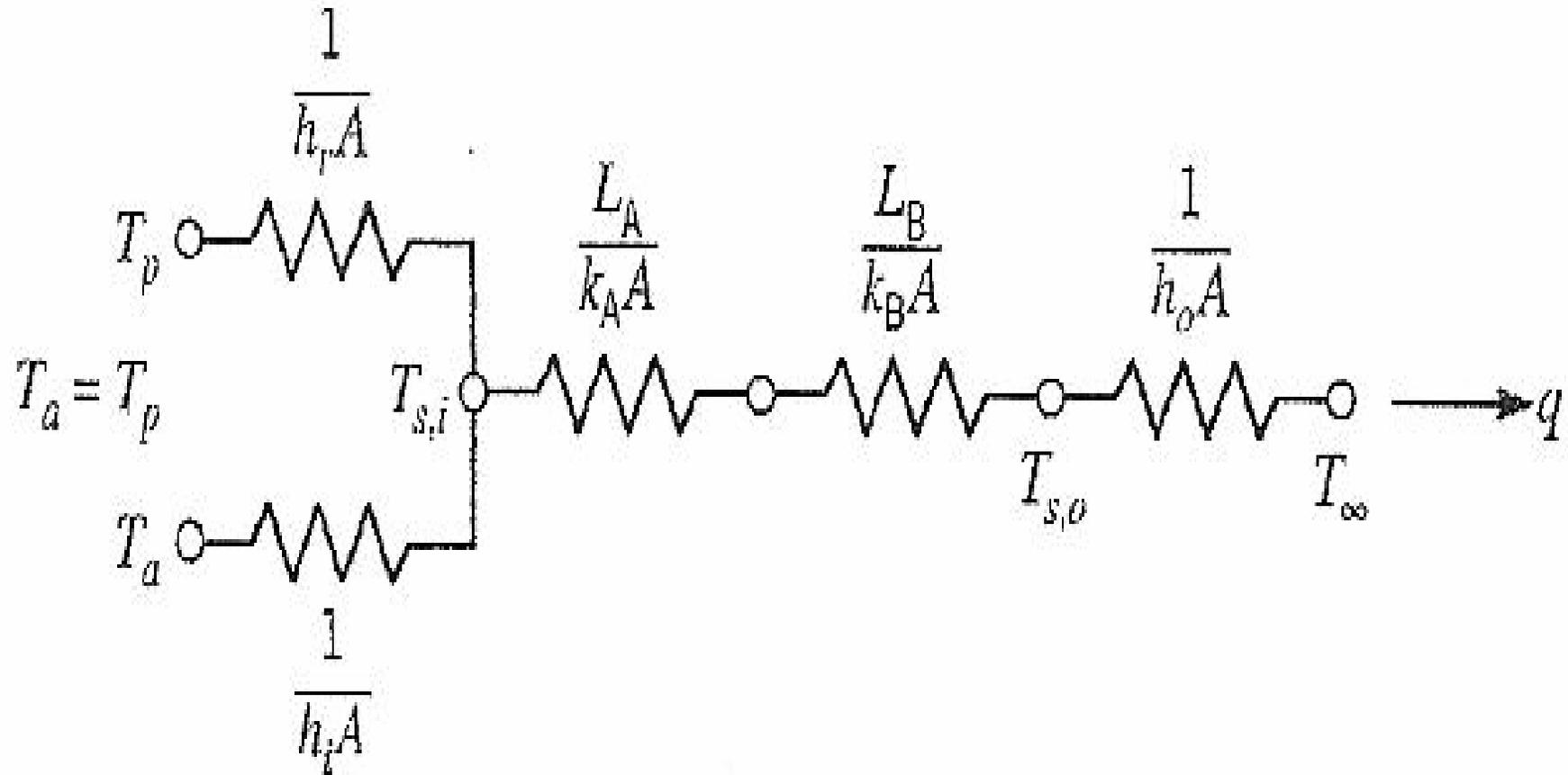
● O regime é estacionário e unidimensional;

● A energia gerada é igual a zero ( $\dot{E}_G = 0$ );

● Desconsiderar o efeito da radiação entre a vizinhança e a superfície externa;

● Os plásticos são homogêneos e apresentam propriedades constantes.

## Figura do circuito térmico existente no projeto:



Aplicando o balanço de energia na superfície externa da janela:

$$\dot{E}_e = \dot{E}_s$$

Como,  $T_P = T_A$ , logo:

para  $\dot{E}_e$ :

$$\dot{E}_e = q = \frac{T_a - T_{s,0}}{\Sigma R_T}$$

para  $\dot{E}_s$ :

$$\dot{E}_s = q = h_0 A (T_{s,0} - T_\infty)$$

A resistência térmica total entre a cavidade do forno e a superfície externa da janela é:

$$\Sigma R_T = \frac{1}{A} \left( \frac{1}{h_i + h_r} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_A}{2k_B} \right)$$

Substituindo no balanço de energia, segue que:

$$\frac{T_A - T_{S,0}}{(h_i + h_r)^{-1} + (L_A/k_A) + (L_A/2k_B)} = h_0(T_{S,0} - T_\infty)$$

-1

Isolando  $L_A$ :

$$L_A = \frac{(1/h_0)(T_A - T_{S,0}) / (T_{S,0} - T_\infty) - (h_i + h_r)}{(1/k_A + 1/2k_B)}$$

Substituindo os valores:

$$L_A = \frac{0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \left( \frac{400 - 50}{50 - 25} \right) - 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}{(1/0,15 + 1/0,16) \text{ m} \cdot \text{K/W}} = 0,0418 \text{ m}$$

Sendo  $L_B = L_A/2$ :

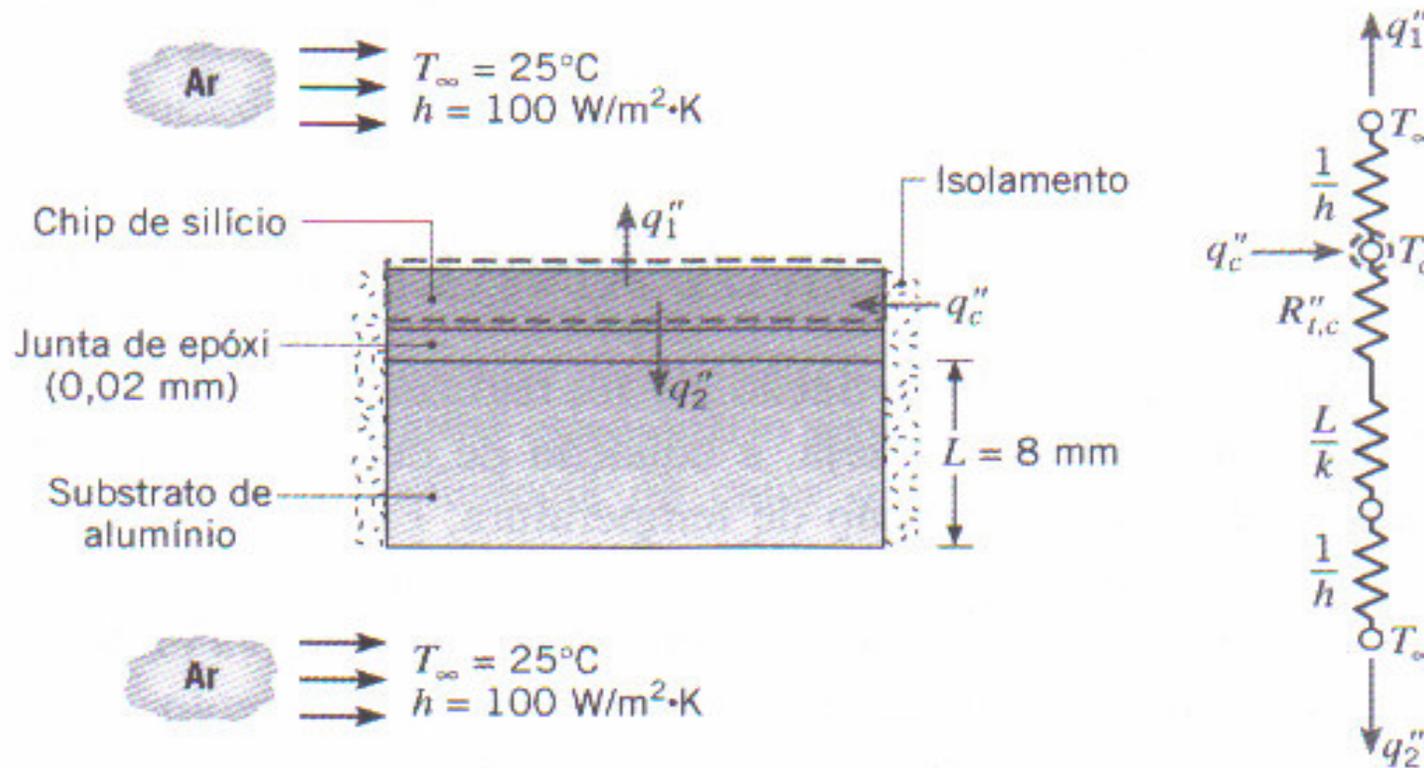
$$L_B = 0,0418/2 = 0,0209 \text{ m}$$

Logo:

$$L = L_A + L_B = 0,0418 + 0,0209 = 62,7 \text{ mm}$$

# Ex.3.2: A partir dos dados da figura encontraremos se a temperatura máxima de 80°C é exercida

*Esquema:*



## Hipóteses a considerar

- condição de regime estacionário
- Condução unidimensional
- resistência térmica do chip desprezível
- propriedades constantes
- troca por radiação com a vizinhança desprezível
- a  $T=350$  K o  $k$  do alumínio vale  $238$  W/m·k

Fazendo um balanço de energia com a superfície de controle ao redor do chip, segue que, com base em uma área de superfície unitária:

$$q_c'' = q_1'' + q_2'' \quad \text{ou}$$

$$q_c'' = \frac{T_c - T_\infty}{\left(\frac{1}{h}\right)} + \frac{T_c - T_\infty}{R''_{t,c} + (L/K) + (1/h)}$$

Pra estimar a  $T_c$  de forma conservadora, o máximo valor possível de  $R''_{T,c} = 0,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/w}$  é obtido da tabela 3.2 logo,

$$T_c = T_\infty + q_c \left[ h + \left( \frac{1}{R''_{t,c} + (L/K) + (1/h)} \right) \right]^{-1}$$

**substituindo os valores**

$$T_c = 25^\circ\text{C} + 10^4 \left[ 100 + \left( \frac{1}{(0,9 + 0,34 + 100) \times 10^{-4}} \right) \right]^{-1}$$

$$T_c = 25^\circ\text{C} + 50,3^\circ\text{C} = 75,3^\circ\text{C}$$

**Conclusão: O chip irá operar a uma  $T$  abaixo da  $T$  máxima permitida.**