
ECO
Aquecedores


Refletância do
tubo de vidro 6.3%
Luz do Sol 100%
Absorção do
tubo de vidro 1.8%
90.7%
Emissão do
revestimento 4.4%
Refletância do
tubo de vidro
interno 6.3%
80%
Vácuo

Condução de Calor em Regime Transiente

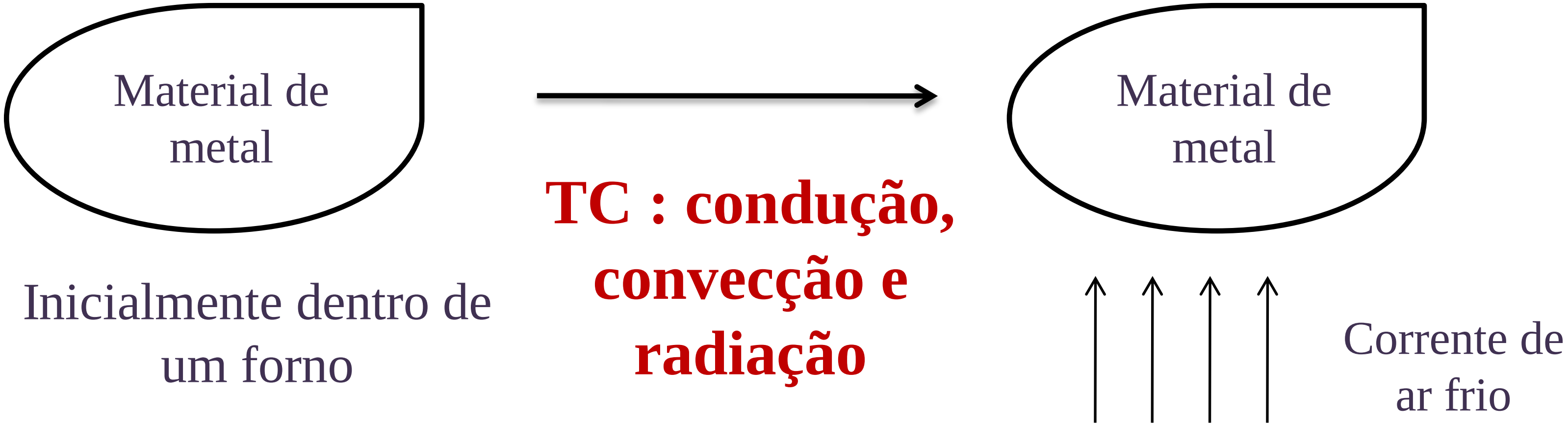
Condução em Regime Transiente

Variação da temperatura de um corpo

T (x, y, z, t) – coordenadas cartesianas
T (r, ϕ, z, t) – coordenadas cilíndricas
T (r, ϕ, Θ, t) – coordenadas esféricas

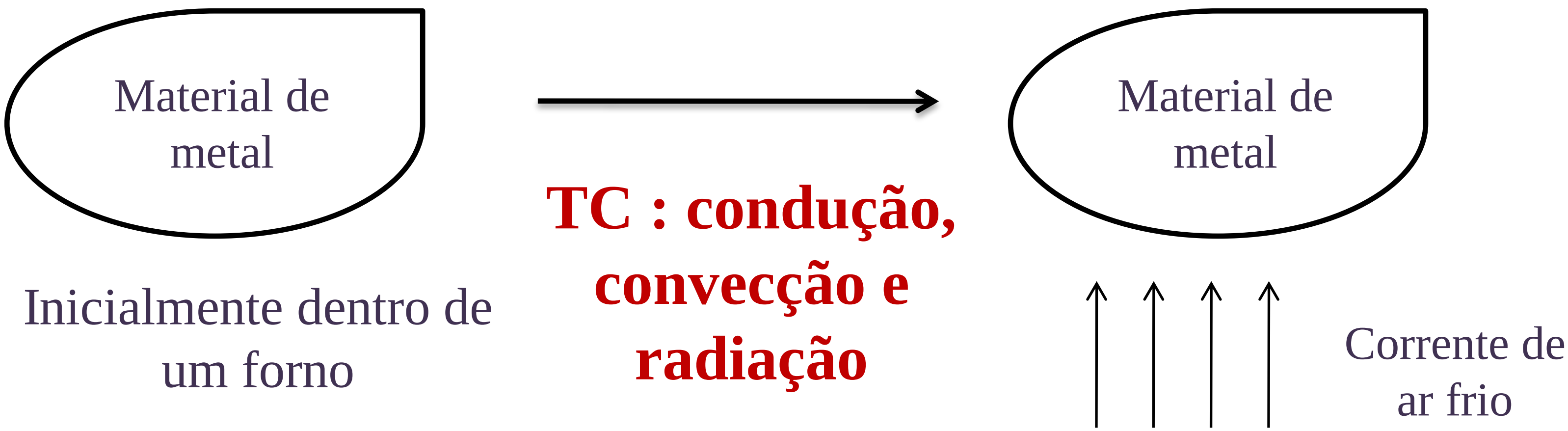
*Problemas não estacionários ou transiente surgem quando as **condições de contorno de um sistema são mudadas**!*

Seja um material de metal removido de um forno e submetido a uma corrente de ar frio



A temperatura do material irá decrescer até que a condição de regime estacionário seja alcançada.

Seja um material de metal removido de um forno e submetido a uma corrente de ar frio



A temperatura do material irá decrescer até que a condição de regime estacionário seja alcançada.

✓As propriedades finais do metal dependerão significativamente do histórico do tempo da temperatura, que resulta da TC.

✓O controle da TC é uma chave para produção de novos materiais com propriedades melhores.

Método da Capacibtância Global

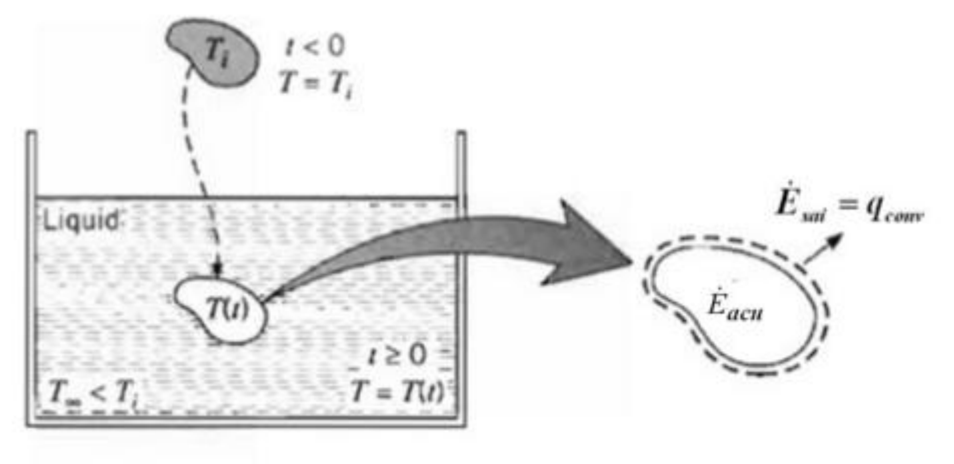
O gradiente de temperatura no interior do sólido pode ser desprezado

Estudo de caso: sólido com mudança súbita de temperatura

Hipótese - a resistência à condução no interior do sólido é pequena em comparação à resistência à TC entre o sólido e sua vizinhança.

Como não existe gradientes de temperatura no interior do sólido, a equação do calor não pode ser utilizada e, portanto, a análise deve ser realizada com base no B.E.

Balanço de Energia: $\dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} + \dot{E}_{g} = \dot{E}_{acumulada}$



Estudo de caso: sólido com mudança súbita de temperatura

Hipótese - a resistência à condução no interior do sólido é pequena em comparação à resistência à TC entre o sólido e sua vizinhança.

Como não existe gradientes de temperatura no interior do sólido, a equação do calor não pode ser utilizada e, portanto, a análise deve ser realizada com base no B.E.

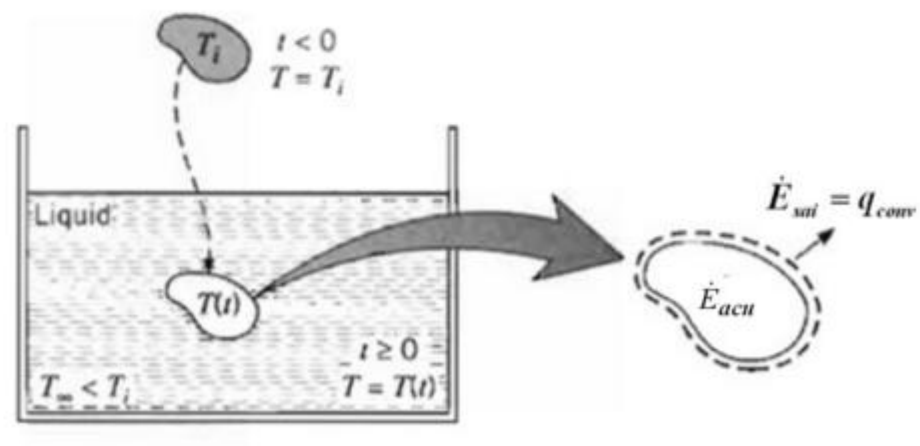
Balanço de Energia: $\dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} + \dot{E}_{g} = \dot{E}_{acumulada}$

$$\dot{E}_{entra} = 0$$

$$\dot{E}_{sai} = hA_s(T - T_\infty)$$

$$\dot{E}_{g} = 0$$

$$\dot{E}_{acumulada} = \rho.V.c.\frac{dT}{dt}$$



$$-hA_s(T-T_\infty)=\rho cV\frac{dT}{dt}$$

Definindo temperatura: $\theta = T - T_\infty \longrightarrow \dfrac{d\theta}{dt}=\dfrac{dT}{dt}$

Se T_∞ é constante temos que: $-hA_s\theta = \rho cV\dfrac{d\theta}{dt}$

Separando as variáveis: $\dfrac{\rho cV}{hA_s}\displaystyle\int_{\theta_i}^{\theta}\frac{d\theta}{\theta} = -\int_0^t dt$

$$\boxed{\frac{\theta}{\theta_i}=\frac{T-T_\infty}{T_i-T_\infty}=\exp\left[-\left(\frac{hA_s}{\rho cV}\right).t\right]}$$

Significado físico

A variação de temperatura do sólido e do fluido deve diminuir exponencialmente para zero a medida que o t (tempo) se aproxima do infinito!

$$\boxed{\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left[-\left(\frac{hA_s}{\rho c V}\right).t\right]}$$

Essa equação pode ser utilizada para calcular o tempo necessário para o sólido alcançar uma dada temperatura T, ou a temperatura alcançada em algum tempo.

Significado físico

A variação de temperatura do sólido e do fluido deve diminuir exponencialmente para zero a medida que o t (tempo) se aproxima do infinito!

Inverso da constante de tempo térmica

$$\boxed{\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left[-\left(\frac{hA_s}{\rho c V}\right).t\right]}$$

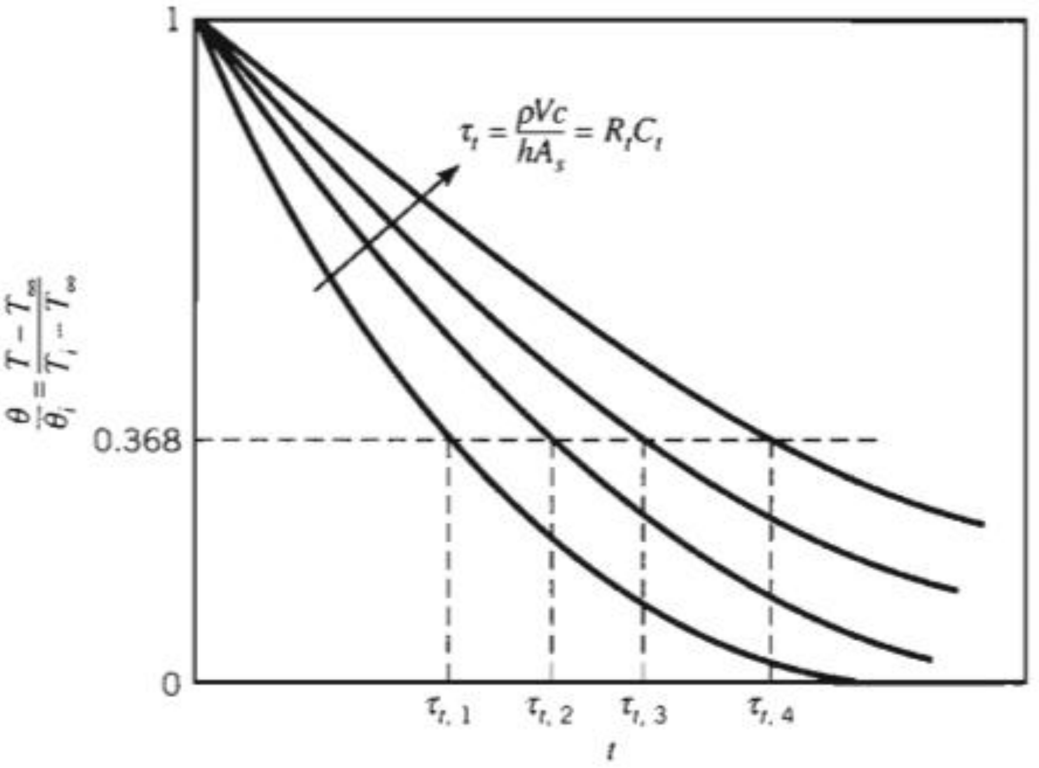
$$\tau_t = \left(\frac{1}{hA_s}\right)\cdot(\rho c V) = R_t.C_t$$

R_t - Resistência a TC por convecção

C_t – Capacitância Térmcia global do sólido

Graficamente

Qualquer aumento em R_t ou C_t fará com que o sólido responda mais lentamente a variações do seu ambiente térmico e irá aumentar o tempo necessário para alcançar o equilíbrio térmico ($\Theta = 0$).



Validade do Método – Capacitância Global

✓ Considere a condução em regime estacionário através de uma parede plana de área A.

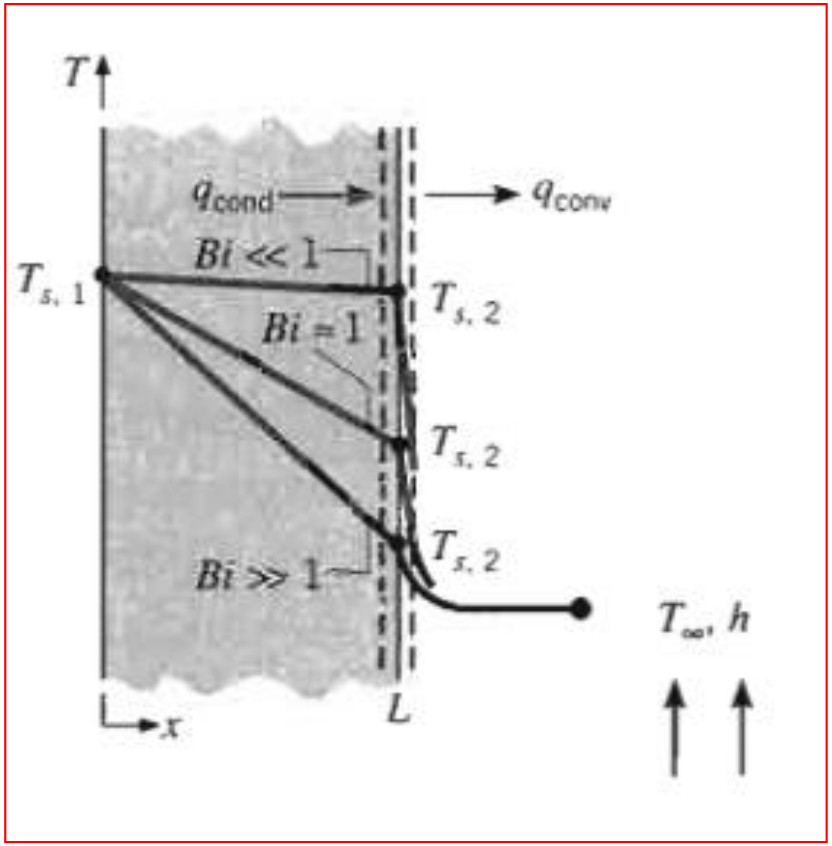
✓ $T_\infty < T_{s1}$

✓ $T_\infty < T_{s2} < T_{s1}$

Balanço de energia na S.C.

$$\frac{kA}{L}(T_{s1} - T_{s2}) = hA(T_{s2} - T_\infty)$$

$$\frac{(T_{s1} - T_{s2})}{(T_{s2} - T_\infty)} = \frac{hL}{k} \equiv Bi$$



Número de Biot – Parâmetro adimensional

<u>Significado Físico</u>: fornece a medida da queda de temperatura no sólido em relação à diferença de temperaturas entre a sua superfície e o fluido.

$$\frac{(T_{s1} - T_{s2})}{(T_{s2} - T_{\infty})} = \frac{hL}{k} \equiv Bi \equiv \frac{R_{t,condução}}{R_{t,convecção}}$$

Método de Capacitância Global – Bi < 0,1

Bi <<1

$R_{t,condução} << R_{t,convecção}$

A existência de temperaturas uniformes no interior do sólido é razoável!

T(x,t) = T(t)

Bi >>1

A diferença de temperatura ao longo do sólido é muito maior que a diferença de temperatura entre a superfície e o fluido!

T(x,t) ≠ T(t)

Método de Capacitância Global – Bi < 0,1

Bi <<1

$R_{t,\text{condução}} << R_{t,\text{convecção}}$

A existência de temperaturas uniformes no interior do sólido é razoável!

$T(x,t) = T(t)$

Bi >>1

A diferença de temperatura ao longo do sólido é muito maior que a diferença de temperatura entre a superfície e o fluido!

$T(x,t) \neq T(t)$

Distribuição de temperaturas transientes para diferentes nº de Biot em uma parede plana simetricamente resfriada por convecção

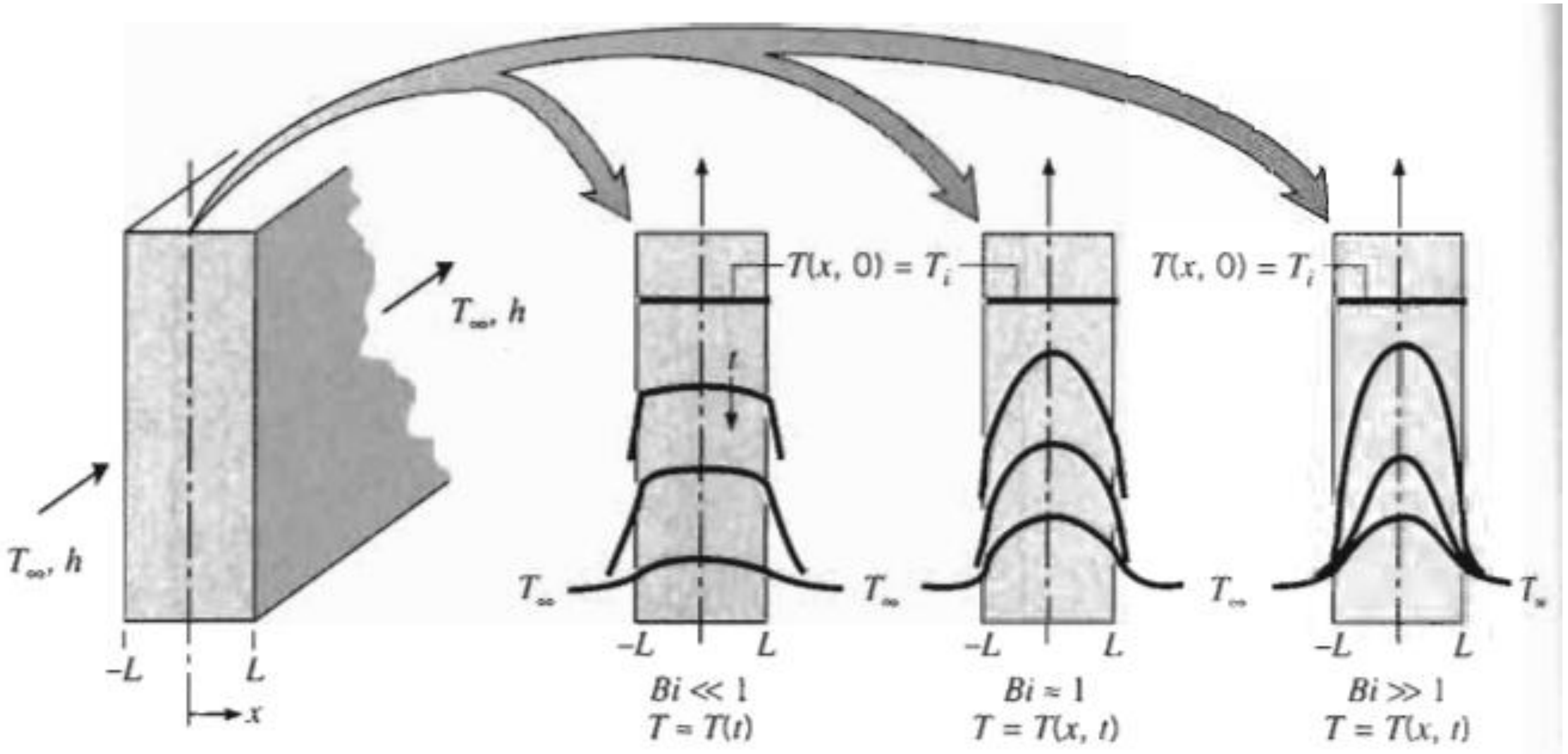


FIGURE 5.4 Transient temperature distributions for different Biot numbers in a plane wall symmetrically cooled by convection.

Número de Biot – Parâmetro adimensional – base de cálculo

$$\frac{(T_{s1}-T_{s2})}{(T_{s2}-T_{\infty})}=\frac{hL_c}{k}\equiv Bi\equiv\frac{R_{t,condução}}{R_{t,convecção}}$$

Comprimento característico

- ✓**Parede plana espessura 2L: L_c= L**
- ✓**Cilindro longo: L_c= r_o/2**
- ✓**Esfera: L_c = r_0/3**

Bolas de aço com 12 mm de diâmetro são temperadas pelo aquecimento a 1150 K seguido pelo resfriamento lento até 400 K em um ambiente com ar a T_∞ = 325 K e h = 20 W/(m^2 · K). Supondo que as propriedades do aço sejam k = 40 W/(m · K), ρ = 7800 kg/m^3 e c = 600 J/(kg · K), estime o tempo necessário para o processo de resfriamento.

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left[-\left(\frac{hA_s}{\rho c V}\right).t\right]$$

$$\frac{(T_{s1} - T_{s2})}{(T_{s2} - T_\infty)} = \frac{hL_c}{k} \equiv Bi \equiv \frac{R_{t,condução}}{R_{t,convecção}}$$

- ✓**Parede plana espessura 2L: L_c= L**
- ✓**Cilindro longo: L_c= r_o/2**
- ✓**Esfera: L_c = r_0/3**

Exercícios

5.5
5.7
5.8
5.10
5.11
5.12
5.15
5.16