

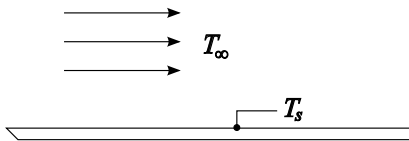
# Introdução à Convecção

## 1 Transferência de calor por convecção

Mecanismo: movimentação global (macroscópica) do fluido

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

(Lei de resfriamento de Newton)



$h$  = coeficiente local de transferência de calor por convecção (coeficiente de película)

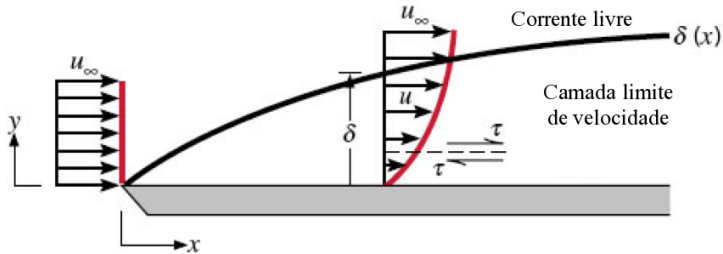
$$\bar{h} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h dA \quad \Rightarrow \quad q_x = \bar{h} A_s (T_s - T_\infty)$$

Problema central da convecção: determinação de  $h$

$h$  depende das propriedades do fluido e do escoamento.

## 2 Camadas limite

### 2.1 Fluidodinâmica



- Velocidade nula na parede
- Tensões de cisalhamento
- $\delta =$  valor de  $y$  para o qual  $u = 0,99U_\infty$

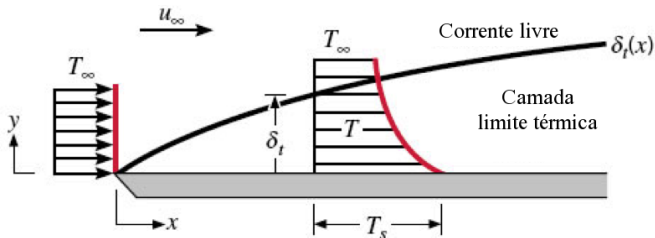
- Arrasto por atrito:

$$C_f \equiv \frac{\tau_{sup}}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2}$$

- Fluido newtoniano:

$$\tau_{sup} = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0}$$

## 2.2 Térmica



- Na parede  $T = T_s$
- Transferência de calor
- $\delta_t =$  valor de  $y$  para o qual  $(T_s - T) = 0,99(T_s - T_\infty)$

$$\bullet q_s'' = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}$$

$$\bullet h = \frac{-k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}}{T_s - T_\infty}$$

### 3 Escoamento laminar *vs* turbulento

- Caráter do escoamento influencia fortemente o transporte convectivo.
- Laminar: fluido se move ordenadamente, velocidade normal baixa.
- Turbulento: flutuações aleatórias, mistura, aumento da transferência de quantidade de movimento e calor.
- Parâmetro importante:  $Re = \frac{\rho V L}{\mu}$ .

## 4 O número de Nusselt

$$\bar{h} = f(k_f, c_p, \rho, \mu, V, L)^*$$

Análise dimensional: 
$$\overline{Nu}_L \equiv \frac{\bar{h}L}{k_f} = \phi(Re_L, Pr)$$

A determinação de  $\phi$  é o problema da convecção.

O número de Nusselt é igual ao gradiente de temperatura adimensional na superfície.

$$Nu \equiv \frac{hL}{k_f} = \left. \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \right|_{y^*=0}$$

Número de Prandtl: 
$$Pr \equiv \frac{\nu}{\alpha}$$

---

\* $h = h(\text{propriedades do fluido, condições do escoamento, geometria})$

## 4.1 Significado físico dos adimensionais importantes na convecção

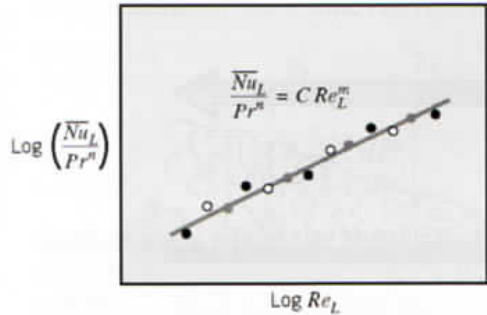
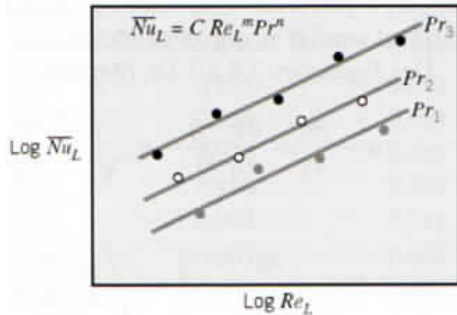
$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{forças de inércia}}{\text{forças viscosas}}$$

$$Nu = \frac{hL}{k_f} \quad \Rightarrow \quad \text{gradiente de temperatura adimensional}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{difusividade de quantidade de movimento}}{\text{difusividade térmica}}$$

## 5 Correlações – método empírico

A função  $\phi(Re_L, Pr)$  pode ser calculada analiticamente somente em poucos casos. Para a maioria dos casos, se utiliza o método empírico.



Temperatura de filme:  $T_f \equiv \frac{T_{\text{sup}} + T_{\infty}}{2}$

(leva em consideração a variação das propriedades físicas com a temperatura)

## 6 Metodologia para cálculos de convecção

1. Identificar a geometria;
2. Especificar a temperatura de referência apropriada e avaliar as propriedades pertinentes do fluido nesta temperatura;
3. Calcular o número de Reynolds;
4. Optar por um coeficiente local ou médio superficial;
5. Selecionar a correlação.