



Termodinâmica e Estrutura da Matéria

Aula 18 – Transmissão de Calor: Convecção

Carlos A. Santos Silva

Professor Associado Convidado

Cátedra WS – Energia

Departamento de Física

carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt



Sumário

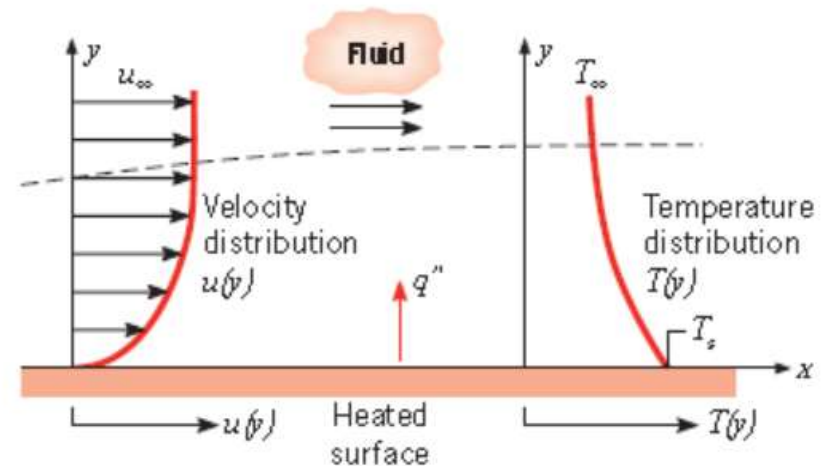
- Convecção
 - Lei de arrefecimento de Newton
 - Camada limite de velocidade e de temperatura
 - Permutadores de calor
 - Paredes de fachada ventilada

Transferência de calor entre uma superfície e um fluido em movimento

CONVECÇÃO

Convecção

- O calor é transferido não só através das moléculas, mas também através da deslocação do fluido (Advecção)
 - Convecção forçada
 - Forças externas
 - Convecção natural
 - Forças de impulsão



Em geral, o calor trocado corresponde a uma variação da energia interna

Em alguns casos, pode ocorrer trocas de calor latente (mudança de fase)

Lei de arrefecimento de Newton

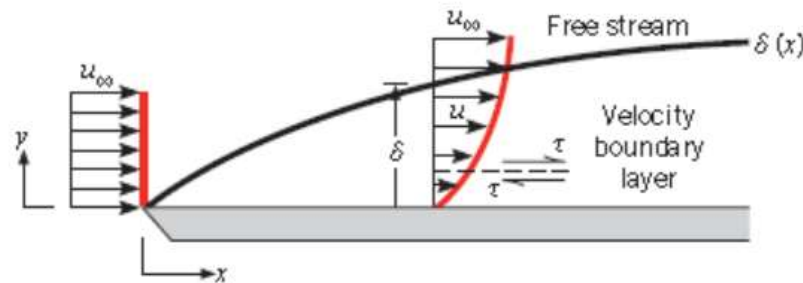
- A taxa de transferência de calor é proporcional à diferença de temperaturas entre a superfície e o fluido

$$\dot{q} = hA(T_s - T_f) \qquad \ddot{q} = h(T_s - T_f)$$

- h: coeficiente de convecção (W/m² K)
 - Depende das condições da *camada limite*
 - Geometria da superfície
 - Das propriedades do fluido
 - Da velocidade do fluido

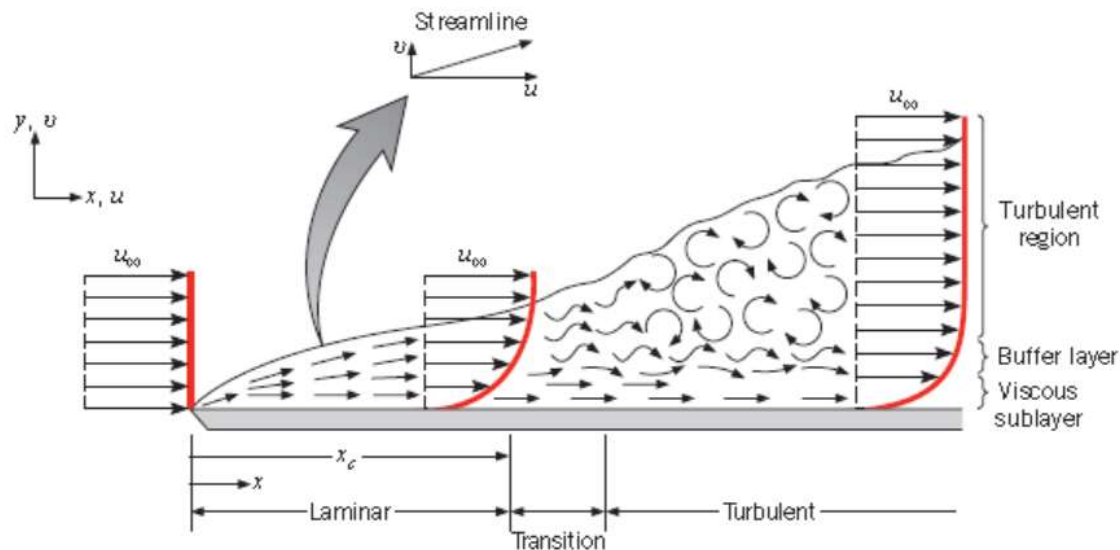
Camada limite de velocidade

- Quando as moléculas de um fluido colidem com a superfície de um objeto, a sua velocidade é alterada (dissipação de energia mecânica)
 - Junto à superfície “é zero”
 - Nas zonas adjacentes é menor
 - A partir de determinada distância (espessura da camada limite δ), o efeito é negligenciável $u(\delta) = 0,99u_{\infty}$



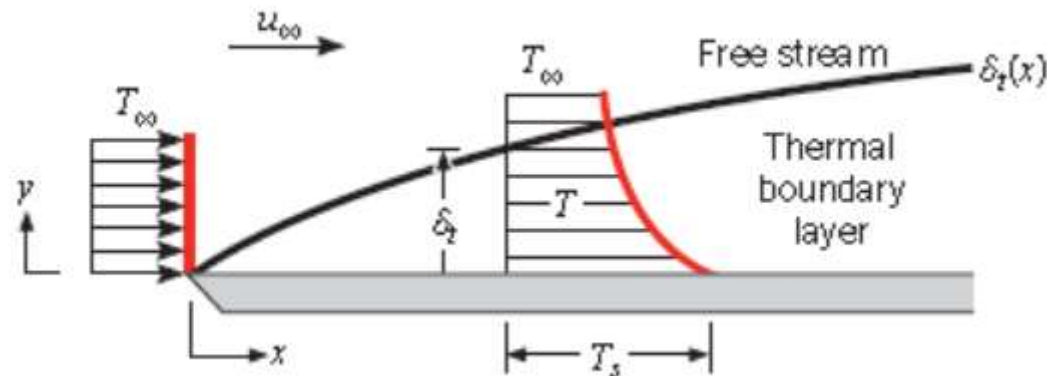
Escoamento laminar e turbulento

- Dependendo da superfície e da velocidade do fluido, o escoamento do fluido à volta da superfície pode ser laminar ou turbulento



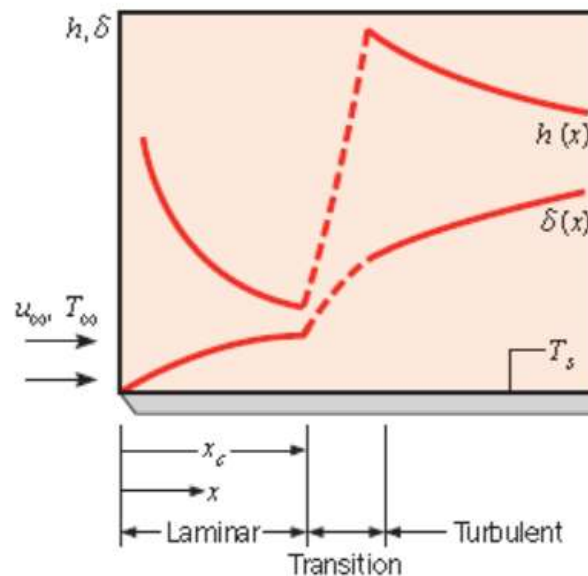
Camada limite de temperatura

- Quando a superfície e o fluido tem temperaturas diferentes, também há desenvolvimento de uma camada limite de temperatura
 - Junto à superfície a temperatura do fluido é igual à da superfície
 - Nas zonas adjacentes é menor
 - A partir de determinada distância (espessura da camada limite δ_t), a temperatura é a inicial do fluido $\frac{T_s - T}{T_s - T_\infty} = 0,99$



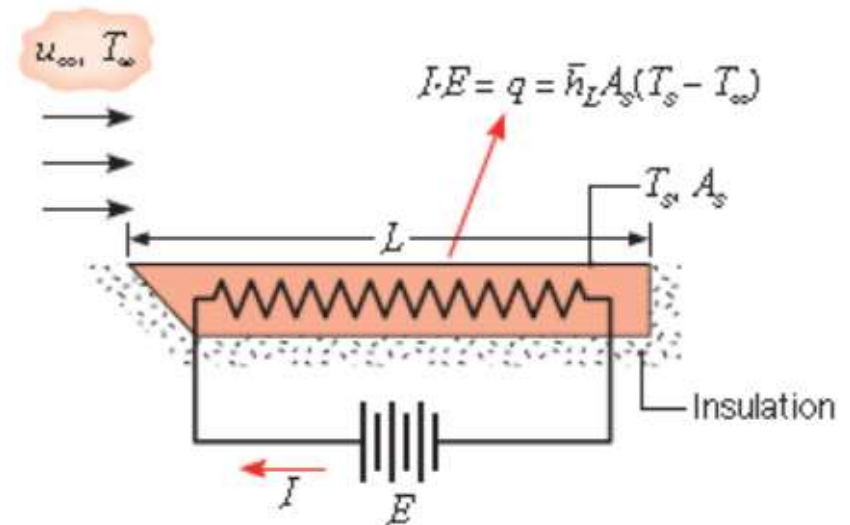
Escoamento laminar e turbulento

- O facto do escoamento ser laminar ou turbulento tem impacto direto na convecção
 - Em regime turbulento, como há maior diferença de temperatura há em geral mais transferência de calor
 - A existência de transferência de calor afeta também o escoamento



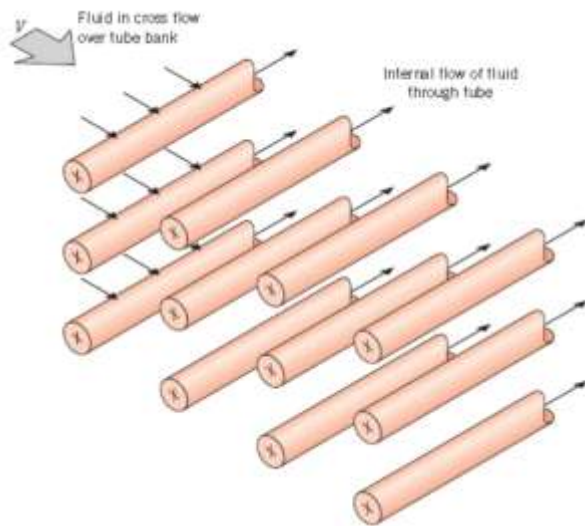
Coeficiente de convecção

Conditions of heat transfer	W/(m ² K)
Gases in free convection	5–37
Water in free convection	100–1200
Oil under free convection	50–350
Gas flow in tubes and between tubes	10–350
Water flowing in tubes	500–1200
Oil flowing in tubes	300–1700
Molten metals flowing in tubes	2000–45000
Water nucleate boiling	2000–45000
Water film boiling	100–300
Film-type condensation of water vapor	4000–17000
Drops-size condensation of water vapor	30000–140000
Condensation of organic liquids	500–2300

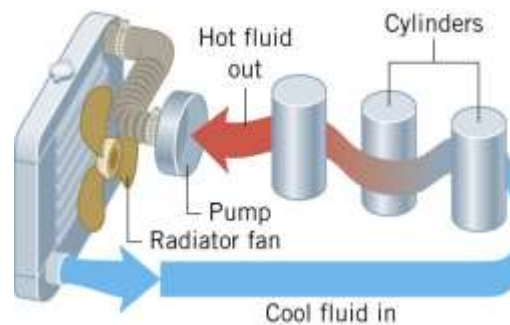
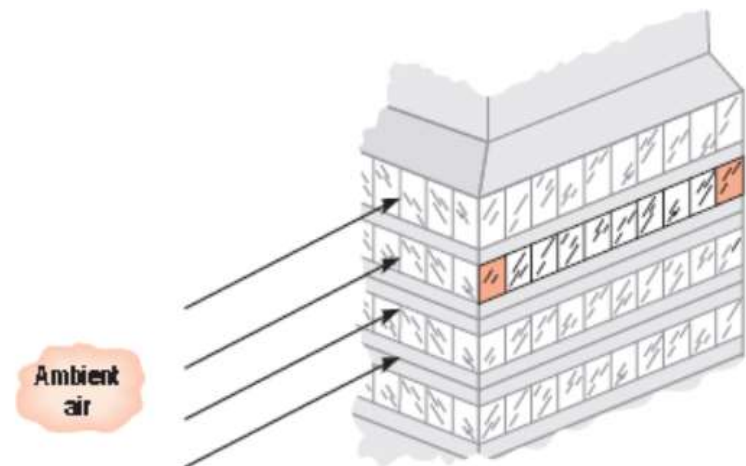


Aplicações

Permutadores de calor



Transferência de calor em fachadas



Permutadores de calor

- Nos permutadores de calor, temos um fluido quente **h** e um fluido frio **c**

- Podemos assumir que

$$q_c = q_h$$

$$\dot{m}_c (h_{co} - h_{ci}) = \dot{m}_h (h_{ho} - h_{hi})$$

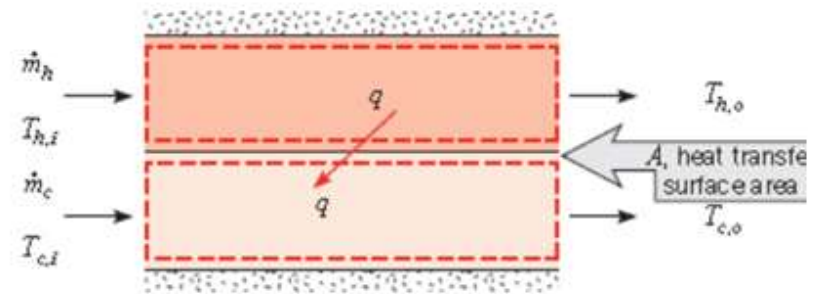
- Se não houver mudança de fase

$$\dot{m}_c C_{pc} (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_h C_{ph} (T_{ho} - T_{hi})$$

- Podemos assumir que existem trocas de condução também

$$q = UA\Delta T_m$$

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_h A_h} + \frac{1}{h_c A_c} + \frac{L}{kA}$$

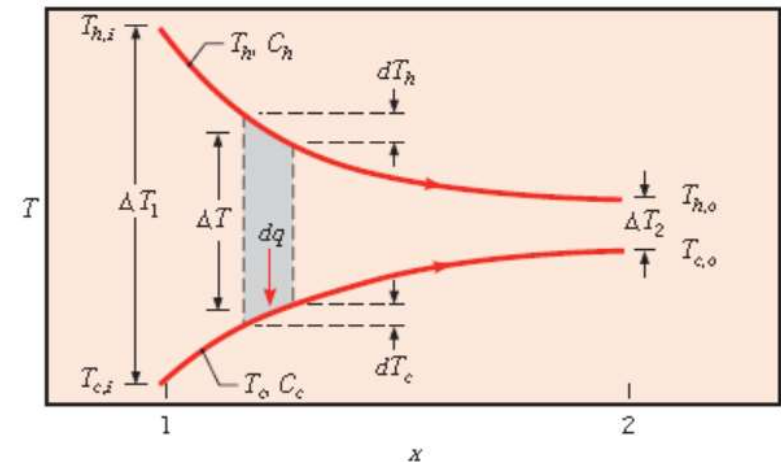
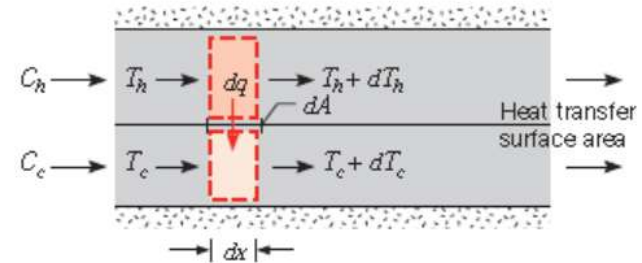


Fluxo paralelo / co-corrente (FP)

$$T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} = T_{hi} - T_{ci}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2} = T_{ho} - T_{co}$$



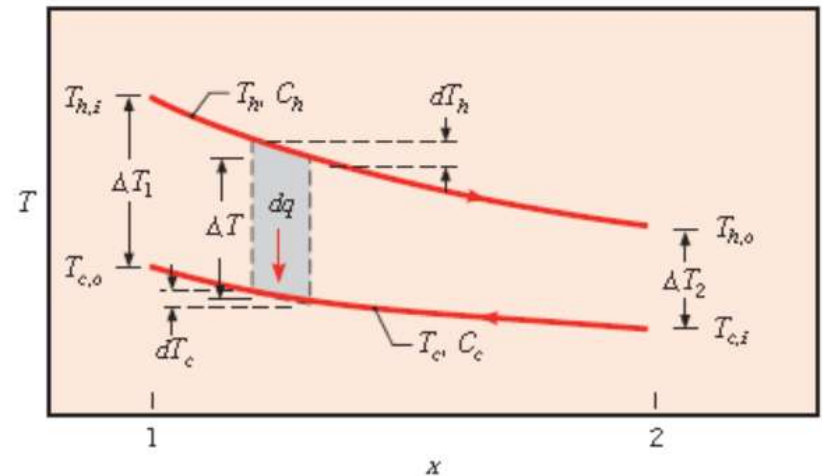
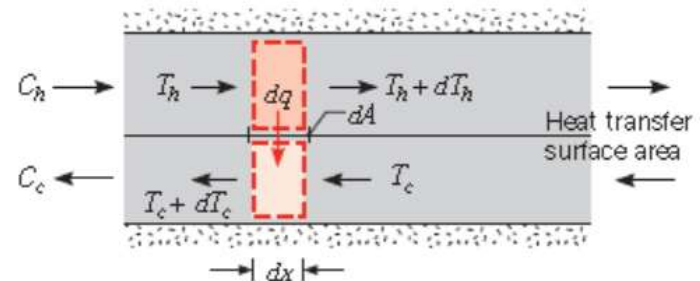
Fluxo contra-corrente (FC)

$$T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

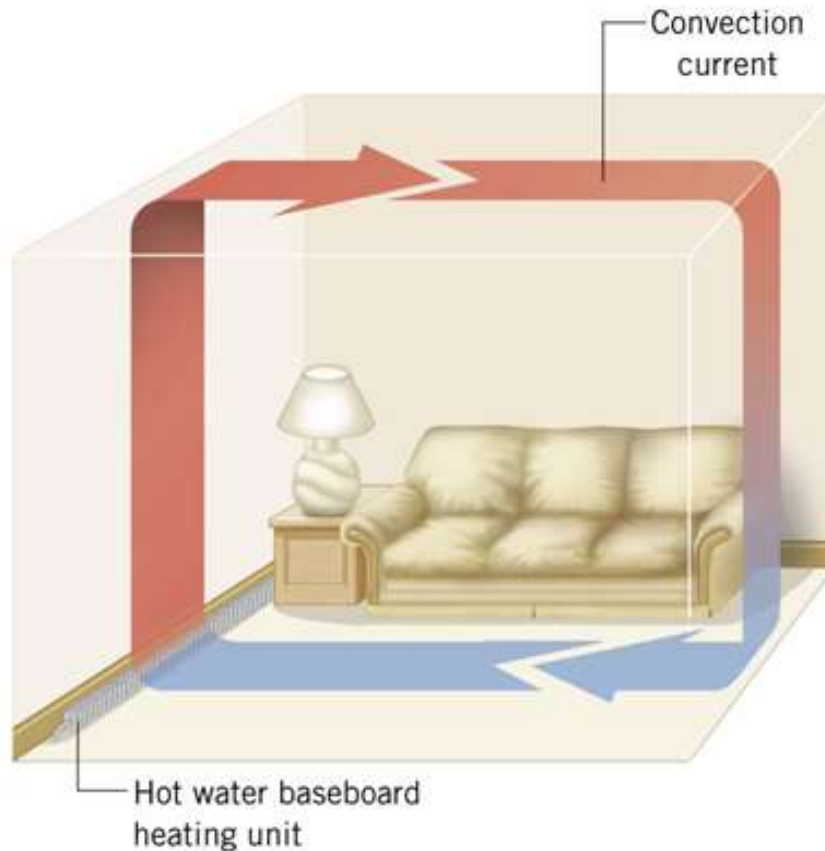
$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} = T_{hi} - T_{co}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2} = T_{ho} - T_{ci}$$

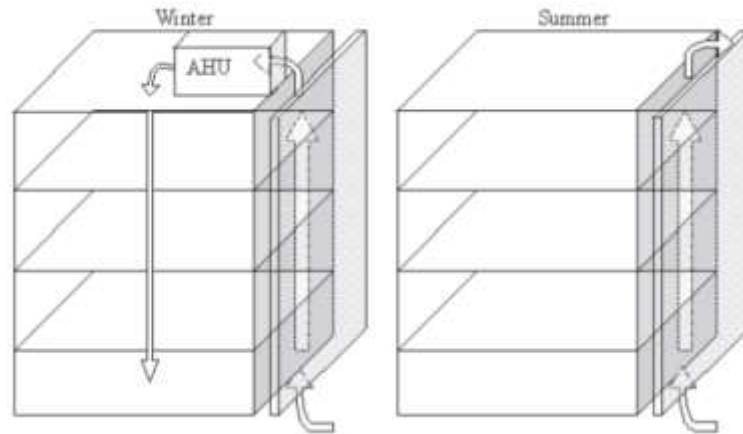
$$\Delta T_{m,FC} > \Delta T_{m,Fp}$$



Aplicações de convecção natural



Fachadas ventilada (de pele dupla)

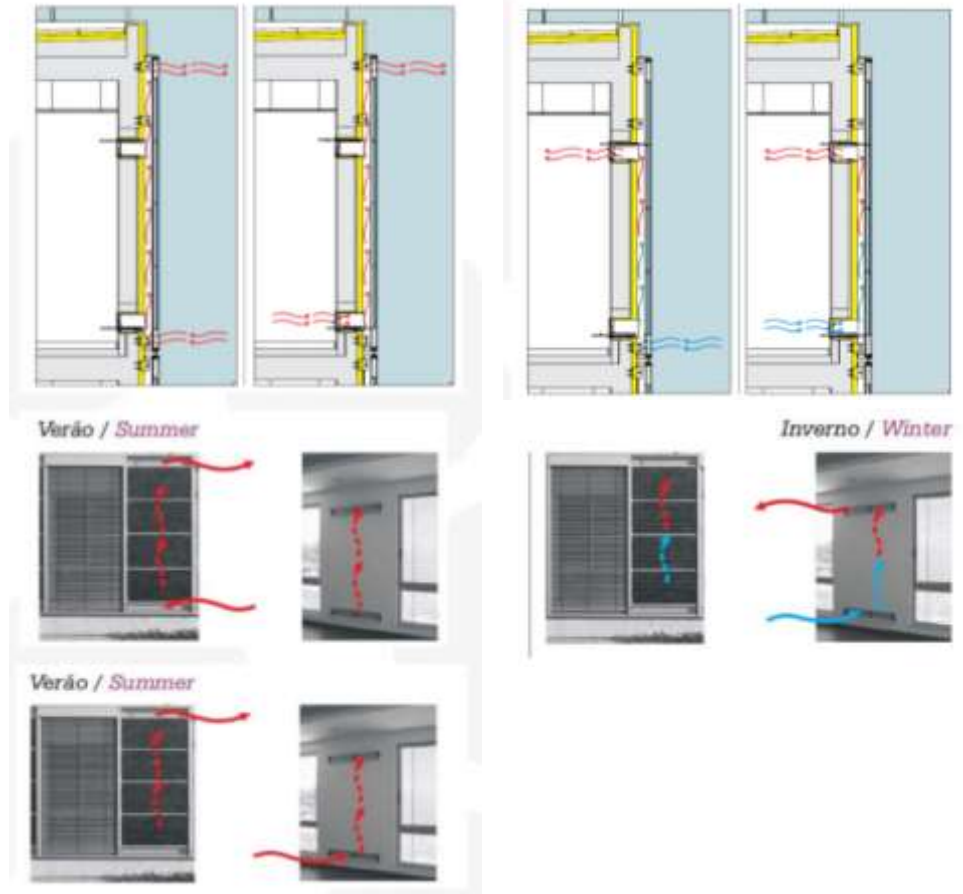
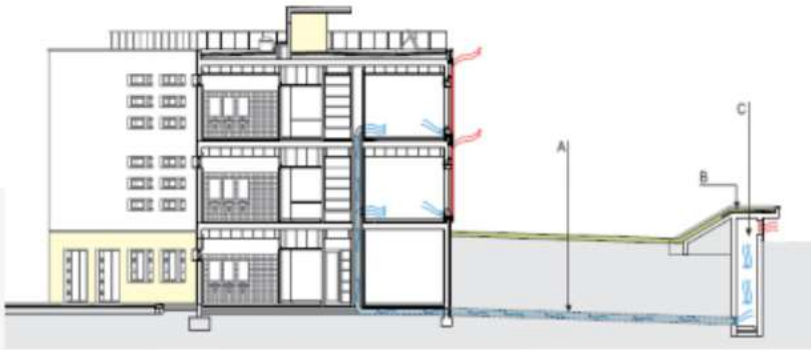


The Gherkin, Londres

Solar XXI



Sistema de arrefecimento passivo



Modelo da parede composta

- Transferência de calor

$$\dot{Q} = k_A \frac{T_{s1} - T_2}{L_A} = k_B \frac{T_2 - T_3}{L_B} = k_C \frac{T_3 - T_{s4}}{L_C} = h_1 (T_{\infty,1} - T_{s1}) = h_4 (T_{\infty,4} - T_{s4})$$

$$\dot{Q} = U \Delta T_m$$

- Resistividade térmica

$$U = \frac{1}{1/h_1 + L_A/k_A + L_B/k_B + L_C/k_C + 1/h_4}$$

