

Transferência de Massa entre Fases

Carla Portugal

`cmp@fct.unl.pt`

Engenharia Química e Biológica

Fenómenos de Transferência II

Isabel Coelho

`imrc@fct.unl.pt`

Transferência de Massa entre Fases

Processos envolvendo transporte de massa entre fases

Absorção - Transporte de soluto de uma fase gasosa para uma fase líquida

Desorção - Transporte de soluto de uma fase líquida para uma fase gasosa

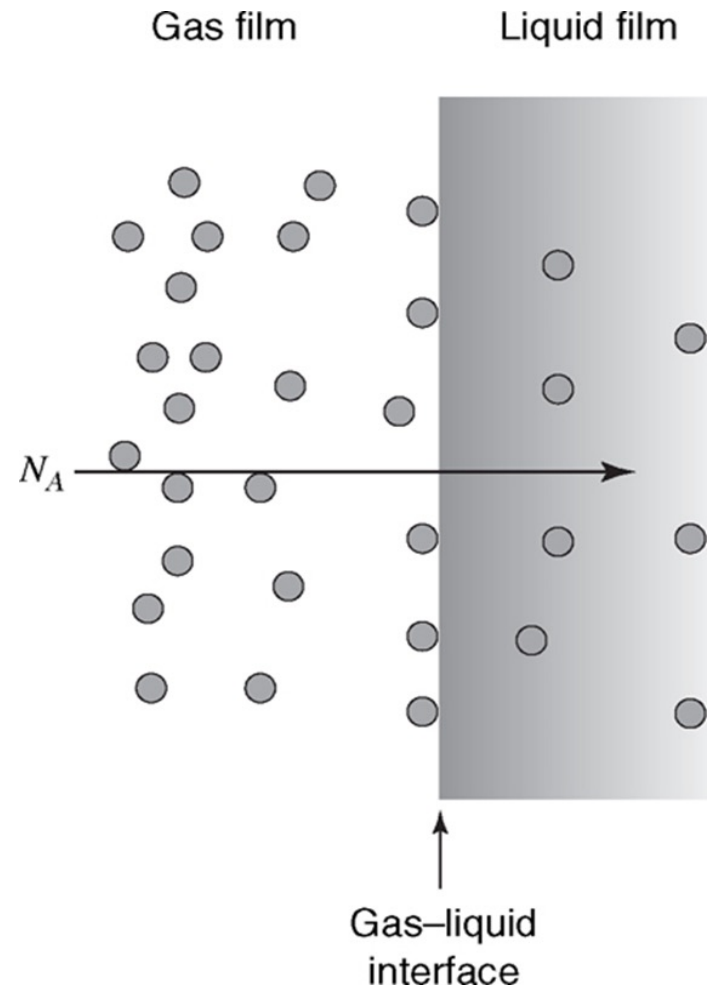
Extração líquido-líquido - Transporte de soluto entre duas fases líquidas imiscíveis

Secagem - Transporte de soluto de uma matriz sólida para uma fase gasosa

Adsorção, cromatografia - Transporte de soluto de uma fase líquida para a superfície de uma matriz sólida

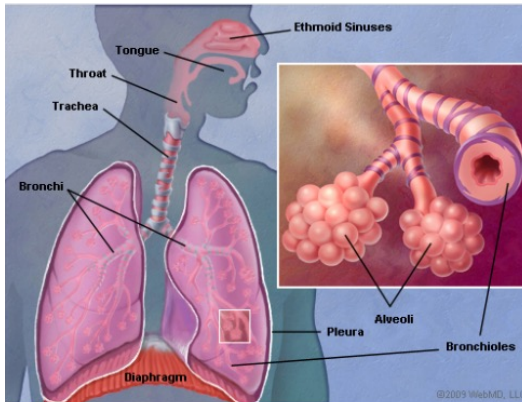
Absorção Gasosa

Transferência de um componente da fase gasosa para a fase líquida devido à sua diferente distribuição entre as duas fases.



Absorção

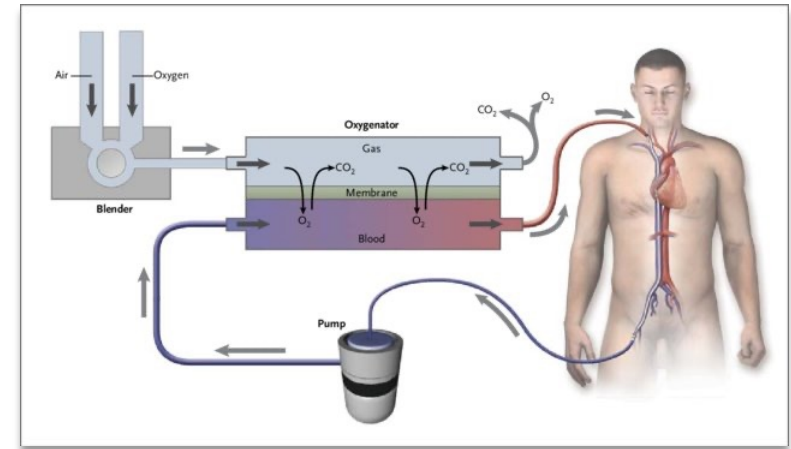
Oxigenadores sanguíneos



<http://www.webmd.com/lung/picture-of-the-lungs>

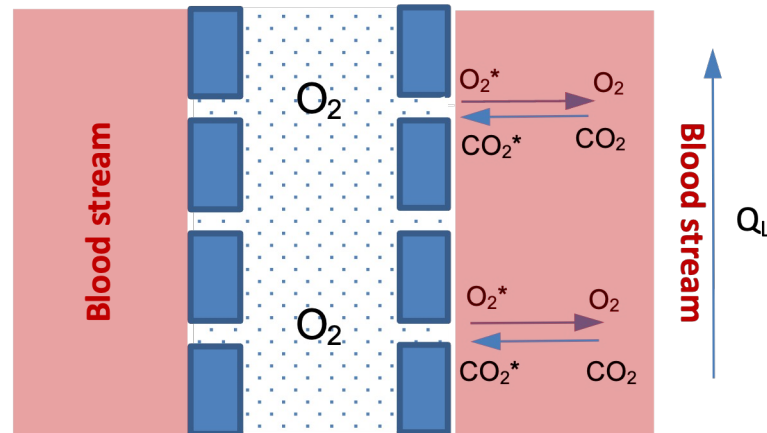
Surface area = 80 m^2
Membrane thickness = $0.1 \text{ }\mu\text{m}$

ECMO - Extracorporeal Membrane Oxygenators



Gas side

Liquid side

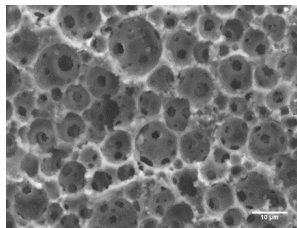
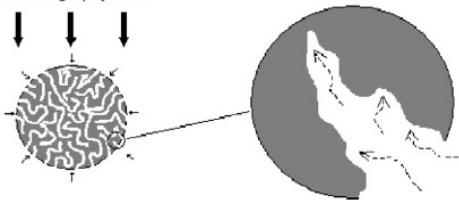


Cromatografia

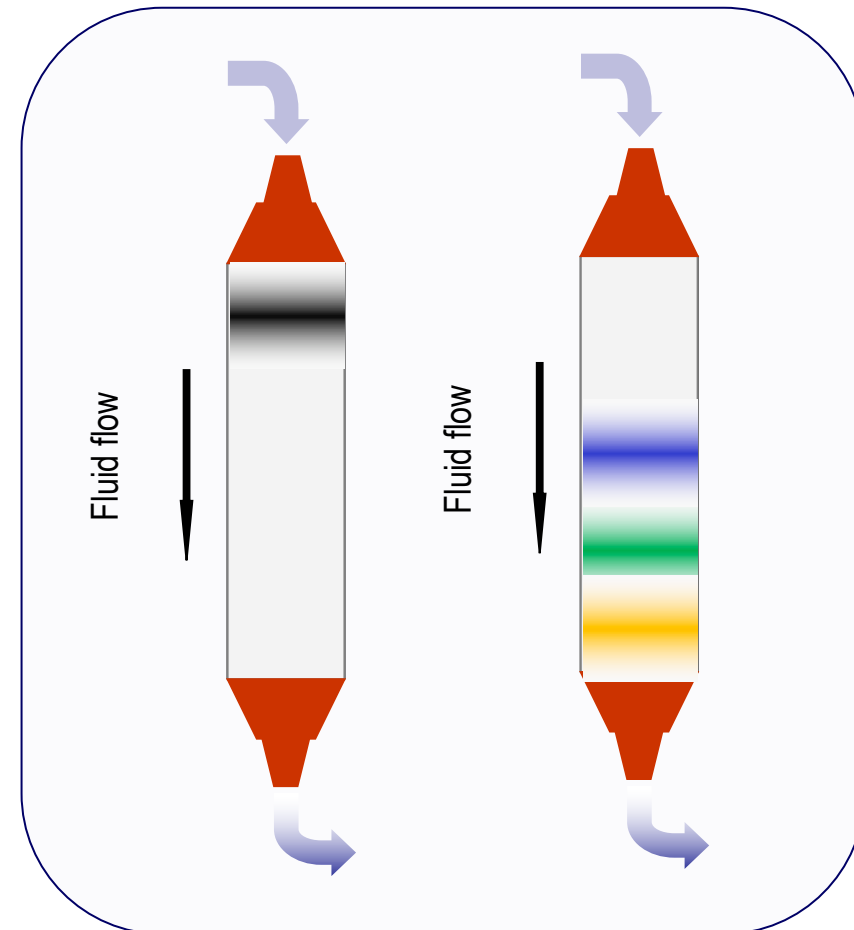
Processos de separação que envolvem a adsorção de um soluto (ou solutos) à superfície de um sólido (adsorvente)

- Sistemas de adsorção para recuperação de compostos de interesse ou retenção/remoção de poluentes de correntes líquidas ou gasosas
- Sistemas de cromatografia
- Sistemas de troca iônica

chromatography bead

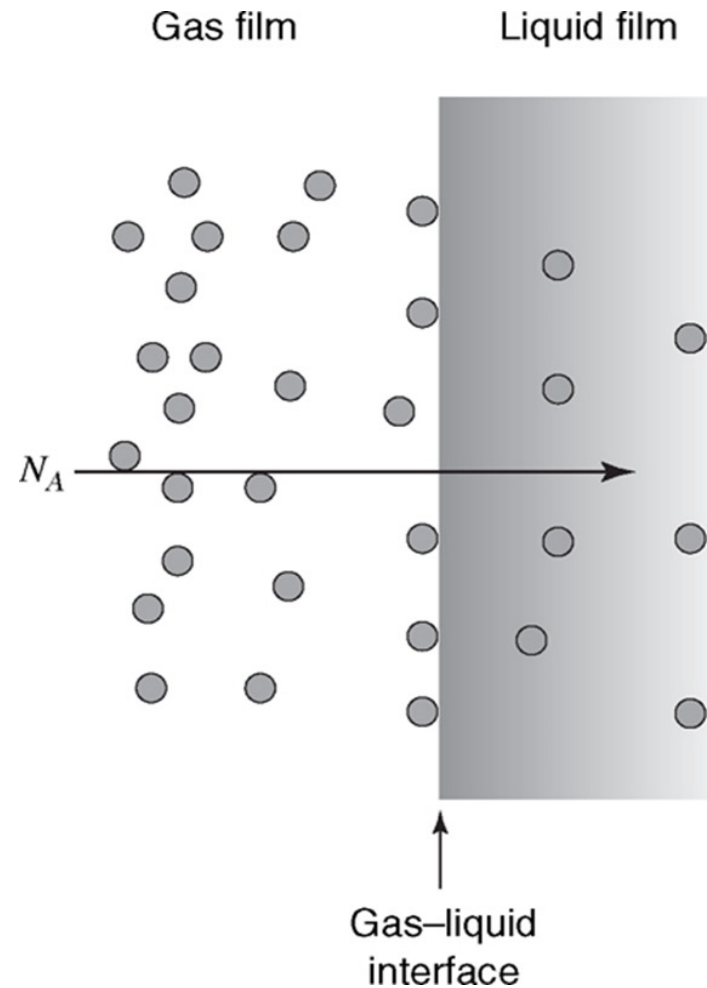


Cromatografia

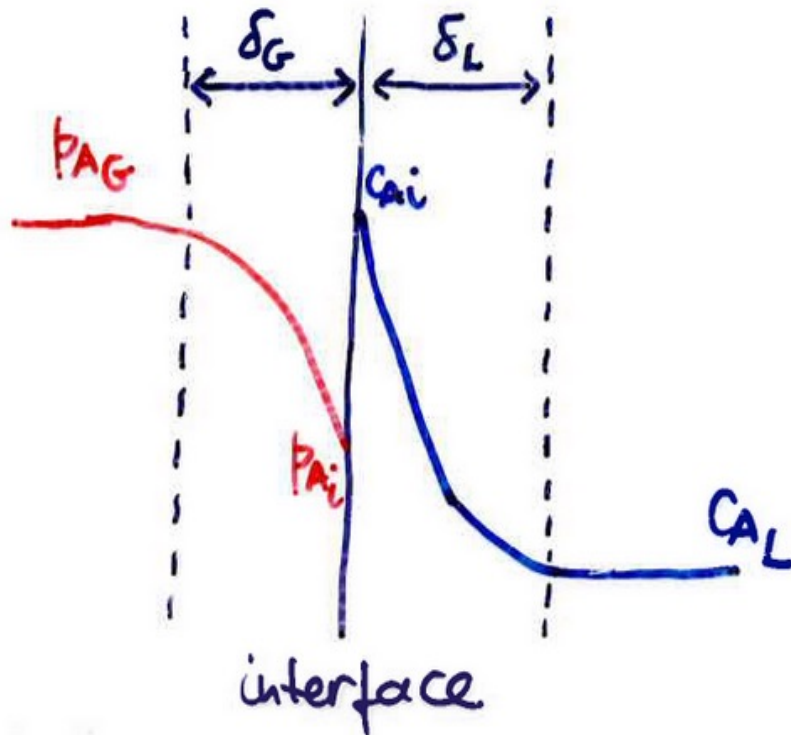


Absorção Gasosa

Transferência de um componente da fase gasosa para a fase líquida devido à sua diferente distribuição entre as duas fases.



Transferência de Massa entre Fases



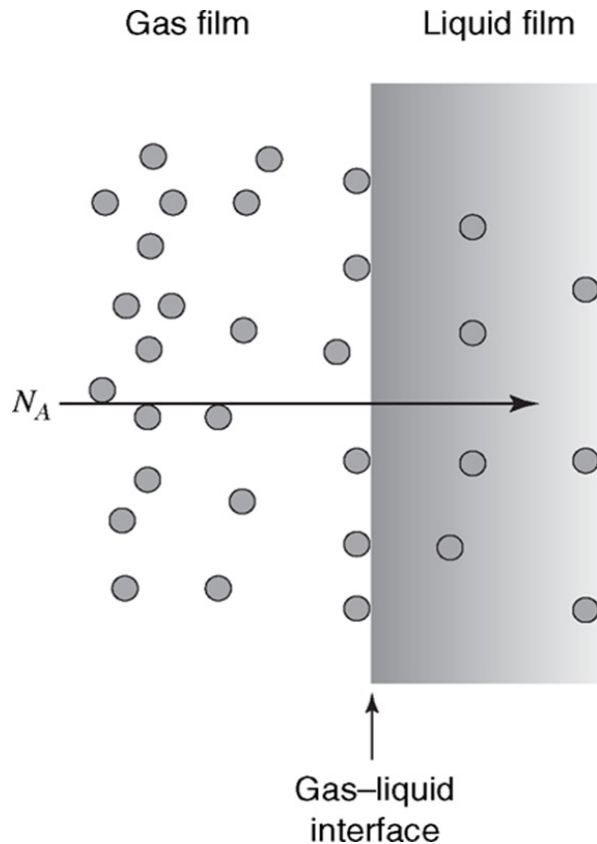
Modelo dos 2 filmes

Lewis e Whitman (1924)

Transf^e de massa entre 2 fases inclui :

- Transf^e de uma fase até à interface
- Transf^e através da interface
- Transf^e na outra fase

Transferência de Massa entre Fases



$$P_A = y_A P$$

$$P_A = \gamma_A x_A P_{VA}$$

Lei de Dalton

P_A – pressão parcial de A

P_{VA} – pressão de vapor de A (puro)

y_A – fracção molar de A na fase gasosa

x_A – fracção molar de A na fase líquida

γ_A – coeficiente de actividade

Para fases gasosas ideais

$$\gamma_A = 1 \longrightarrow P_A = x_A P_{VA}$$

Lei de Raoult

Combinando $P_A = y_A P$ e $P_A = x_A P_{VA}$

$$P_A = H C_A$$

Lei de Henry

Transferência de Massa entre Fases

coeficientes individuais de transf^a

$$N_{A_2} = k_G (p_{AG} - p_{Ai})$$

$$N_{A_2} = k_L (C_{Ai} - C_{AL})$$

k_G - coeficiente de transf^a massa (f. gasosa)

k_L - coeficiente de transf^a massa (f. líquida)

$$[k_G] = \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$$

$$[k_L] = \text{m/s}$$

} coef. individuais de transf^a massa

Transferência de Massa entre Fases

Fase líquida

$$N_{Az} = k_L (C_{Ai} - C_{AL}) \quad [k_L] = \text{m/s}$$

$$N_{Az} = k_x (x_{Ai} - x_A) \quad [k_x] = \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$N_{Az} = k_L (C_L x_{Ai} - C_L x_A)$$

$$N_{Az} = k_L C_L (x_{Ai} - x_A)$$

Transferência de Massa entre Fases

Fase gasosa:

$$N_{A2} = k_G (p_{AG} - p_{Ai}) \quad [k_G] = \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$$

$$N_{A2} = k_C (C_{AG} - C_{AiG}) \quad [k] = \text{m/s}$$

$$N_{A2} = k_G (C_{AG} RT - C_{AiG} RT)$$

$$N_{A2} = k_G RT (C_{AG} - C_{AiG})$$

$$N_{A2} = k_y (y_A - y_{Ai}) \quad [k_y] = \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$N_{A2} = k_G (y_A P - y_{Ai} P)$$

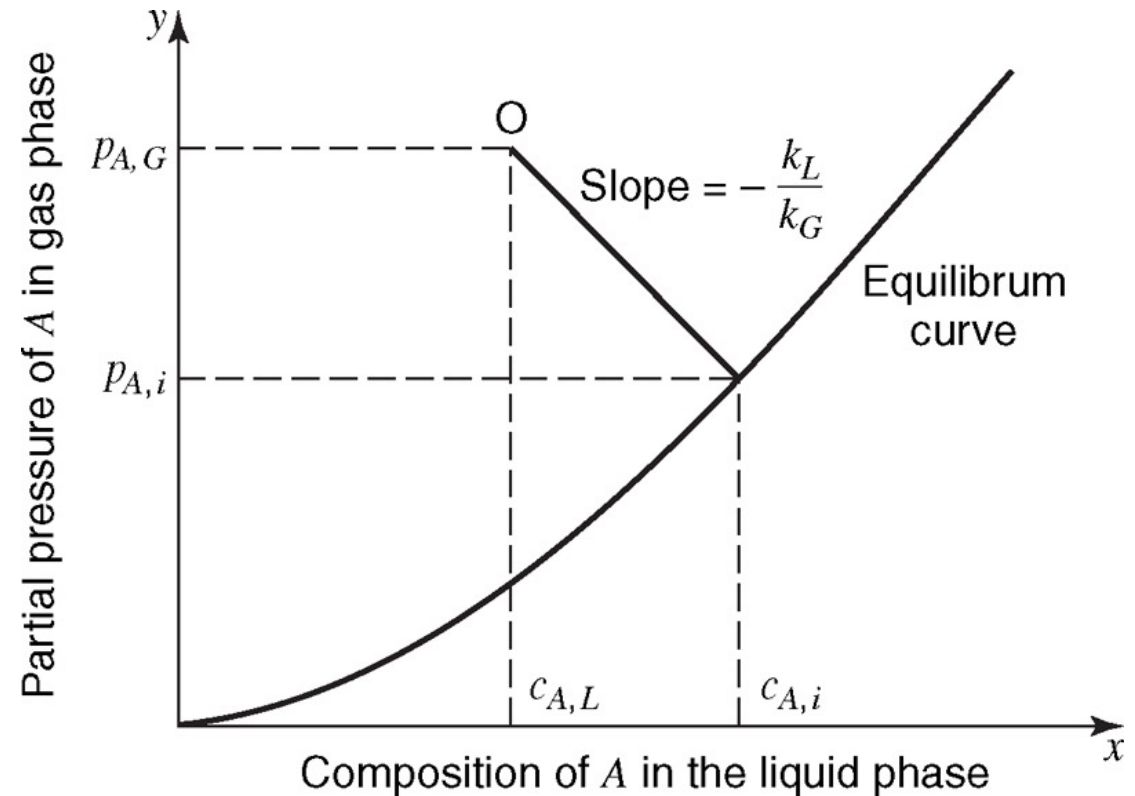
$$N_{A2} = k_G P (y_A - y_{Ai})$$

Transferência de Massa entre Fases

$$N_{A,z} = k_G (p_{A,g} - p_{A,i})$$

$$N_{A,z} = k_L (c_{A,i} - c_{A,L})$$

$$-\frac{k_L}{k_G} = \frac{p_{A,G} - p_{A,i}}{c_{A,L} - c_{A,i}}$$



Transferência de Massa entre Fases

coef. globais de transf. massa

$$N_{A_z} = K_G (p_{AG} - p_A^*)$$

↑
L coef. global de transf. massa
(fase gasosa)

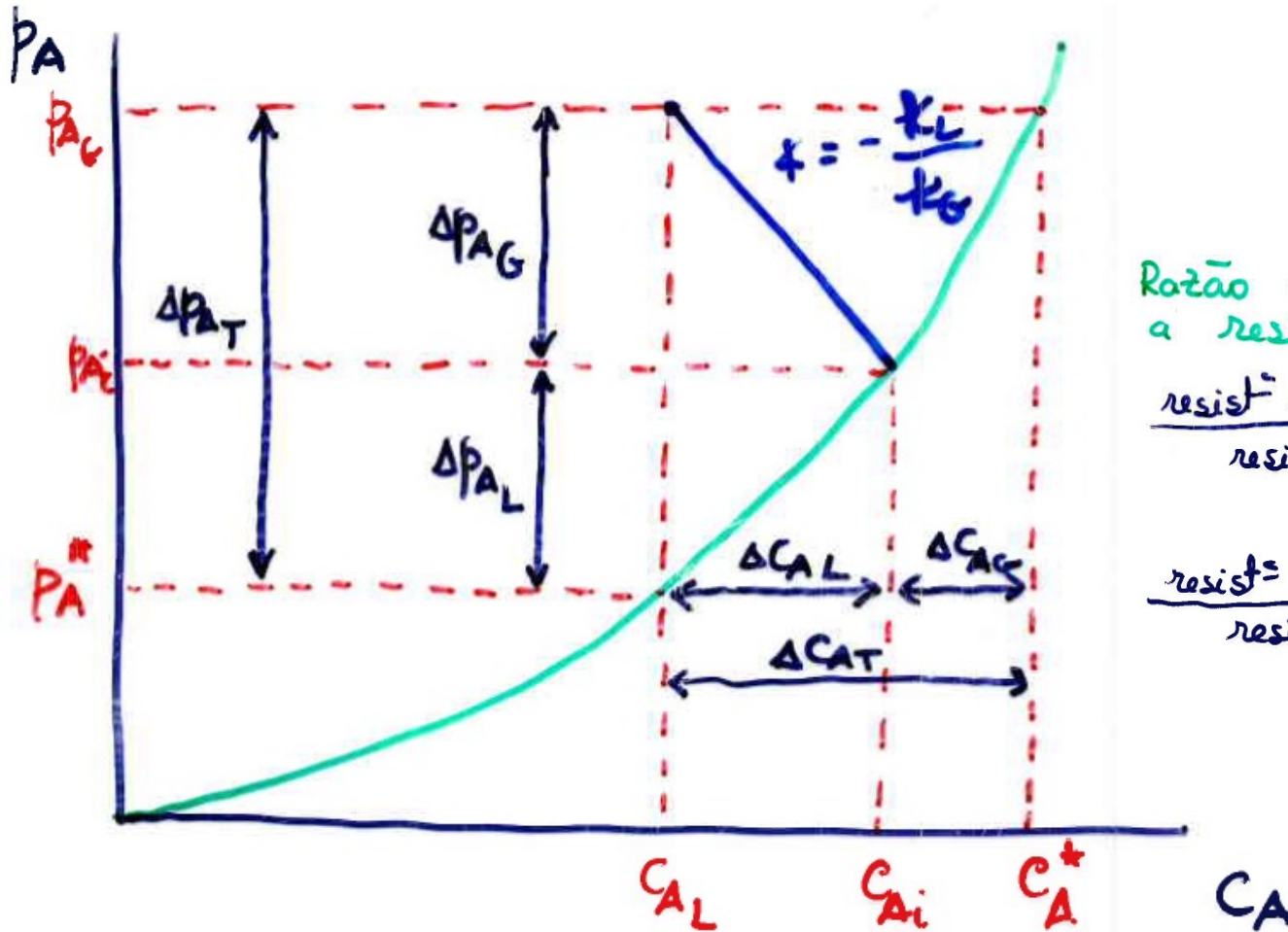
↑ eq. com C_{AL}

$$N_{A_z} = K_L (C_A^* - C_{AL})$$

↑ equilíbrio com p_{AG}

↑
L coef. global de transf. massa
(fase líquida)

Transferência de Massa entre Fases



Razão entre as resist^{ões} individuais e a resist^{ência} total

$$\frac{\text{resist}^{\circ} \text{ f. gasosa}}{\text{resist}^{\circ} \text{ total}} = \frac{\Delta p_{AG}}{\Delta p_{AT}} = \frac{1/k_G}{1/K_G}$$

$$\frac{\text{resist}^{\circ} \text{ f. líquida}}{\text{resist}^{\circ} \text{ total}} = \frac{\Delta C_{AL}}{\Delta C_{AT}} = \frac{1/k_L}{1/K_L}$$

Transferência de Massa entre Fases

Se a linha de equilíbrio for uma recta

$$p_{Ai} = m C_{Ai}$$

então

$$p_{AG} = m C_A^*$$

$$p_A^* = m C_{AL}$$

$$\frac{1}{K_G} = \frac{(p_{A,G} - p_{A,i})}{N_{A,z}} + \frac{m(c_{A,i} - c_{A,L})}{N_{A,z}}$$

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{m}{k_L}$$

Se m pequeno - gás m^{to} solúvel (NH_3)

$$\frac{1}{K_G} \approx \frac{1}{k_G}$$

controle da fase gasosa

Transferência de Massa entre Fases

$$\frac{C_A^* - C_{AL}}{N_{A2}} = \frac{C_A^* - C_{Ai}}{N_{A2}} + \frac{C_{Ai} - C_{AL}}{N_{A2}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{\frac{1}{m}(P_{AG} - P_{Ai})}{N_{A2}} + \frac{1}{k_L}$$

$$\boxed{\frac{1}{K_L} = \frac{1}{m k_G} + \frac{1}{k_L}}$$

Se m elevado - gás pouco solúvel
(CO₂)

$$\boxed{\frac{1}{K_L} \approx \frac{1}{k_L}}$$

controle da fase líquida

Problema

Ao absorver NH_3 (de uma mistura com ar) em água numa coluna de enchimento a 60°C e 3 atm., os coeficientes individuais observados foram:

$$k_L = 1.1 \text{ m/h}$$

$$k_G = 0.25 \text{ mol}/(\text{h m}^2 \text{ atm})$$

A pressão parcial de NH_3 no equilíbrio em soluções diluídas é dada por $p_{\text{NH}_3} = 0.25 C_{\text{NH}_3}$.

Determine os valores dos coeficientes:

a) k_y b) k_c (gás-conc.molares)

c) K_G d) K_y e) K_L

f) Se um ponto da coluna $p_{\text{NH}_3} = 0.03 \text{ atm}$ $C_{\text{NH}_3} = 0.05 \text{ mol/m}^3$, qual o fluxo de absorção do NH_3 ?

g) Quais os valores das composições interfaciais?

h) Qual a resistência exercida em cada fase?

Problema

1. $k_L = 1.1 \text{ m/h}$

$$k_G = 0.25 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2 \text{ atm}}$$

$$p_{\text{NH}_3} = 0.25 C_{\text{NH}_3}$$

a) k_y $k_y (y_A - y_{Ai}) = k_G (p_A - p_{Ai})$

como $p_A = y_A P$

$$k_y (y_A - y_{Ai}) = k_G P (y_A - y_{Ai})$$

$$\Rightarrow k_y = k_G P = 0.25 * 3 = 0.75 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2}$$

b) k_c

$$k_c (C_A - C_{Ai}) = k_G (p_A - p_{Ai})$$

Como $p_A = C_A RT$

$$k_c (C_A - C_{Ai}) = k_G RT (C_A - C_{Ai})$$

$$k_c = k_G RT = 0.25 \cdot 82.06 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 60)$$

$$k_c = 6.83 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2 \text{ atm}}$$

c) $p_A - p_A^* = (p_A - p_{Ai}) + (p_{Ai} - p_A^*)$

$$\frac{1}{k_G} = \frac{1}{k_G} + H (C_{Ai} - C_{AL})$$

$$\frac{1}{k_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L}$$

d) —

e) —

$$\frac{1}{k_G} = \frac{1}{0.25} + \frac{0.25}{1.1}$$

$$k_G = 0.237 \frac{\text{mol}}{\text{h m}^2 \text{ atm}}$$

$$7) \quad p_{AG} = 0.03 \text{ atm} \quad c_{AL} = 0.05 \text{ mol/L}$$

$$N_A = K_G (p_{AG} - p_A^*)$$

$$p_A^* = 0.25 \times 0.05$$

$$p_A^* = 0.0125 \text{ atm}$$

$$N_A = 0.237 (0.03 - 0.0125)$$

$$N_A = 4.15 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$$

$$8) \quad c_{Ai} = ? \quad p_{Ai} = ?$$

$$N_A = K_G (p_{AG} - p_{Ai})$$

$$4.15 \times 10^{-3} = 0.25 (0.03 - p_{Ai})$$

$$p_{Ai} = 0.0134 \text{ atm}$$

$$p_{Ai} = H c_{Ai} \quad \Rightarrow \quad c_{Ai} = 0.05364 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

Problema

$$b) \quad \frac{\frac{1}{K_G}}{\frac{1}{K_G}} = \frac{\frac{1}{0.25}}{\frac{1}{0.237}} = 0.948 \rightarrow 94.8\% \text{ resist f. gaseosa}$$

$$\text{resist f. líquida} = 5.2\%$$