

PQI 3303: FENÔMENOS DE TRANSPORTE III
LISTA DE EXERCÍCIOS: SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

- 1) Estime a difusividade de dióxido de carbono a 30°C para as seguintes situações:
- difusão em membrana de borracha butílica;
 - difusão em membrana de polibutadieno;
 - difusão em membrana de poli(dimetil butadieno).
- 2) Sabendo que a energia de ativação difusional do isobutano, quando este se difunde em silicalita, é 3280 cal/gmol, avalie o valor da constante D_0 a 297K. Interpretar o resultado.
- 3) Estime o coeficiente efetivo de difusão do O_2 a 25°C nas membranas feitas com os seguintes materiais:
- borracha butílica;
 - polibutadieno;
 - poli(dimetil butadieno);
 - poli(metil pentadieno).
- 4) Refaça o exercício 3, considerando como soluto o N_2 . Qual a membrana mais adequada para se separar Oxigênio de Nitrogênio? Justificar.
- 5) Determinar o fluxo de oxigênio gasoso através de uma membrana de polibutadieno de 0,5mm de espessura que está a 30°C. A pressão parcial do difundente é de 0,5 atm em uma das regiões que envolve a matriz e nula na extremidade oposta. Determine também a solubilidade do oxigênio na membrana, sabendo que a sua permeabilidade é de $191[(\text{cm}^3 \text{ a STP})(\text{mm de espessura}) \times 10^{-10}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg})]$.
- 6) Determine a solubilidade do oxigênio no exercício 5 para o caso de o oxigênio estar a 25°C. Interprete o resultado.
- 7) Determine o fluxo de oxigênio através de uma membrana de borracha butílica de 0,075mm de espessura que está a 25°C. A pressão parcial do soluto é de 0,2atm em uma das regiões que envolve a matriz e 0,02atm na extremidade oposta. Determine a solubilidade do oxigênio na membrana, sabendo que a sua permeabilidade é de $13 [(\text{cm}^3 \text{ a STP})(\text{mm de espessura}) \times 10^{-10}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg})]$.
- 8) Um líquido contendo um soluto A diluído numa concentração $c_1 = 3 \times 10^{-2} \text{kgmol/m}^3$ escoar rapidamente por uma membrana de espessura $L = 3,0 \times 10^{-5} \text{m}$. O coeficiente de distribuição é $K' = 1,5$ e a difusividade na membrana é $D_{AB} = 7,0 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$. O soluto difunde-se pela membrana e sua concentração do outro lado da membrana é $c_2 = 0,50 \times 10^{-2} \text{kgmol/m}^3$. O coeficiente de transferência de massa k_{c1} é grande e pode ser considerado infinito e o coeficiente $k_{c2} = 2,02 \times 10^{-5} \text{m/s}$.
- calcule o fluxo molar de A pela membrana.
 - calcule todas as concentrações interfaciais e elabore o perfil de concentrações nos dois lado da membrana e na membrana.
- 9) Calcule o fluxo e a taxa de remoção de uréia do sangue, em estado estacionário, em g/h, em uma membrana dialisadora de celofane a 37°C. A membrana tem 0,025mm de espessura e tem uma área de $2,0 \text{m}^2$. O coeficiente de transferência de massa do lado do sangue é estimado em $k_{c1} = 1,25 \times 10^{-5} \text{m/s}$ e o coeficiente de transferência de massa do lado aquoso é estimado em $3,33 \times 10^{-5} \text{m/s}$. A permeabilidade da membrana é $8,37 \times 10^{-6} \text{m/s}$. A concentração da uréia no sangue é 0,02g de uréia /100mL de sangue e a concentração no fluido dialisador é considerada nula.
- 10) Uma membrana será utilizada para se proceder a uma separação gasosa de uma mistura entre A e B cuja vazão de alimentação é $1 \times 10^4 \text{cm}^3(\text{STP})/\text{s}$ e a composição da alimentação é 0,50 (fração molar). A composição desejada no concentrado é de 0,25. A espessura da membrana é $2,54 \times 10^{-3} \text{cm}$. A pressão do lado da alimentação é de 80cmHg e do lado do permeado é de 20cmHg. As permeabilidades são:
- $$P'_A = 50 \times 10^{-10} \text{cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg})$$
- $$P'_B = 5 \times 10^{-10} \cdot \text{cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg})$$

Considere o modelo de mistura perfeita. Calcule:

- a) a composição no permeado.
- b) a fração de permeado, θ .
- c) a área de membrana necessária à separação.

11) Deseja-se determinar a área de membrana necessária para separar oxigênio de nitrogênio do ar. Será empregada uma membrana com espessura de $2,54 \times 10^{-3}$ cm. A permeabilidade do oxigênio no material da membrana é:

$$P'_A = 500 \times 10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg}).$$

O fator de separação ideal, α^* , é 10 (para a permeabilidade do oxigênio dividida pela permeabilidade do nitrogênio). A vazão da alimentação é 1×10^6 cm³(STP)/s e a fração de corte é $\theta = 0,20$. As pressões selecionadas para operação são: 190 cmHg e 19 cmHg. Considere o modelo de mistura perfeita. Calcule:

- a) a composição do permeado.
- b) a composição do concentrado.
- c) a área de membrana necessária.

12) Para o exercício 10, calcule a concentração de mínima no concentrado, considerando:

- a) concentração de A na alimentação 0,50.
- b) concentração de A na alimentação 0,65.
- c) avaliar o efeito do aumento da concentração na alimentação nessa concentração no concentrado.

13) Uma mistura multicomponente gasosa (componentes A, B e C) apresenta a seguinte composição: $x_{fA} = 0,25$; $x_{fB} = 0,55$; $x_{fC} = 0,20$. Deseja-se realizar um processo de separação utilizando uma membrana com espessura de $2,54 \times 10^{-3}$ cm. A vazão da alimentação é de $1,0 \times 10^4$ cm³(STP)/s e as permeabilidades são:

$$P'_A = 200 \times 10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg});$$

$$P'_B = 50 \times 10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg});$$

$$P'_C = 25 \times 10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg}).$$

A pressão do lado da alimentação é de 300 cmHg e a do lado do permeado é de 30 cmHg. A fração de permeado desejada é de 0,25. O modelo de mistura perfeita é adequado a este sistema. Calcular a composição do permeado e do concentrado e a área de membrana necessária.

14) As mesmas condições para separar uma corrente de ar dadas no exercício 11 serão empregadas numa operação em escoamento cruzado. Os valores a serem considerados são:

- composição da alimentação: 0,209 (fração molar do oxigênio);
- corte: 0,20;
- $\alpha^* = 10$;
- pressão do lado da alimentação: 190 cmHg;
- pressão do lado do permeado: 19 cmHg;
- vazão da alimentação: 1×10^6 cm³(STP)/s;
- $P'_A = 500 \times 10^{-10}$ cm³(STP)·cm/(s·cm²·cmHg) – para o oxigênio;
- espessura da membrana: $2,54 \times 10^{-3}$ cm.

Calcular:

- a) as composições do permeado e do concentrado.
- b) a área de membrana necessária.
- c) comparar com os resultados do exercício 11.

TABELA: COEFICIENTE EFETIVO DE DIFUSÃO E ENERGIA DE ATIVAÇÃO

SOLUTO	ZEÓLITA	T(K)	D_{AZE0} (cm²/s)
CH ₄	Modernita-H	333	0,48x10 ⁻⁸
CH ₄	Modernita-H	383	1,8x10 ⁻⁸
CH ₄	Modernita-H	423	2,75x10 ⁻⁸
Metanol	4A	288	5,17x10 ⁻¹²
Metanol	4A	303	6,49x10 ⁻¹²
n-Hexano	Erionita	483	1,92x10 ⁻¹²
n-Dodecano	Offretita	423	2,07x10 ⁻¹⁴
n-Butano	Silicalita	297	5,7x10 ⁻⁸
n-Butano	Silicalita	334	11x10 ⁻⁸
Iso-Butano	Silicalita	297	1,9x10 ⁻⁸
Iso-Butano	Silicalita	334	5,5x10 ⁻⁸

SOLUTO	POLÍMERO	D₀(cm²/s)	Q(cal/mol)
H ₂	Polipropileno (isotático)	2,4	8300
H ₂	Polipropileno (atático)	15	8800
H ₂	Borracha butílica	1,36	8100
H ₂	Polibutadieno	5,3x10 ⁻²	5100
H ₂	Poli(dimetil butadieno)	1,3	7500
He	Isopreno-acrilonitrila 74/26	3,1x10 ⁻²	4900
CO ₂	Isopreno-acrilonitrila 74/26	1,15x10 ³	14400
CO ₂	Borracha butílica	36	12000
CO ₂	Polibutadieno	0,24	7300
CO ₂	Poli(dimetil butadieno)	1,6x10 ²	12800
O ₂	Isopreno-acrilonitrila 74/26	70	12700
O ₂	Borracha butílica	43	11900
O ₂	Polibutadieno	0,15	6800
O ₂	Poli(dimetil butadieno)	20	11100
O ₂	Poli(metil butadieno)	8,5	9800
N ₂	Isopreno-acrilonitrila 74/26	34	12100
N ₂	Borracha butílica	34	12100
N ₂	Polibutadieno	0,22	7200
N ₂	Poli(metil pentadieno)	42	11100
N ₂	Poli(dimetil butadieno)	1,05x10 ²	12400