

# **Transferência de Massa: Fundamentos**

---

**Isabel Coelho**

**imrc@fct.unl.pt**

**Engenharia Química e Biológica**

**Fenómenos de Transferência II**

# Fundamentos

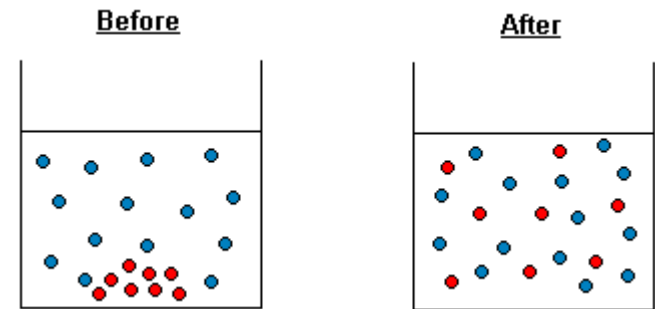
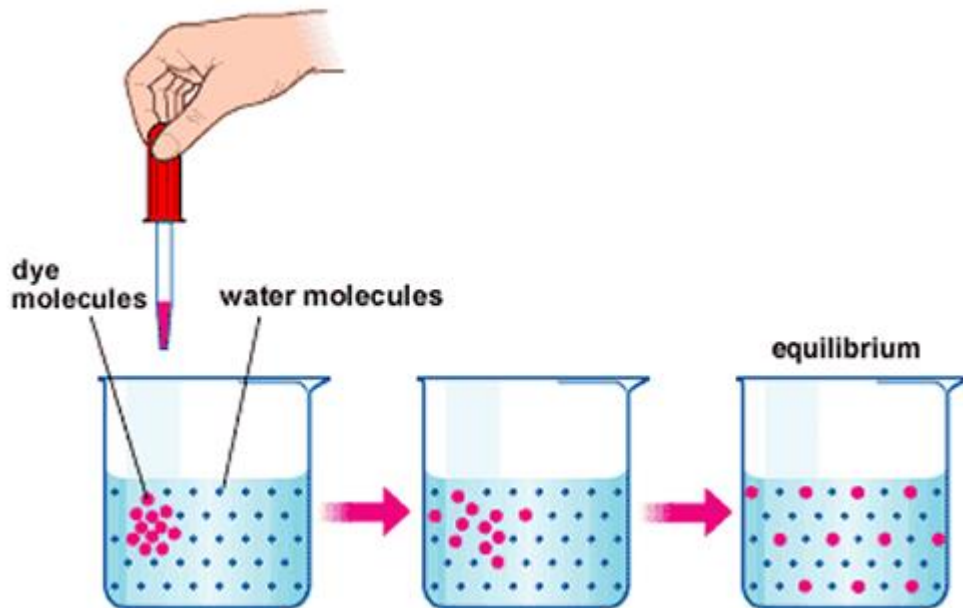
---

- ❑ Quando um sistema contém 2 ou mais componentes cuja concentração varia de ponto para ponto, há tendência para se transferir massa, minimizando a diferença de concentração no sistema.
- ❑ Ao transporte de um componente de uma região de concentração mais elevada para outra de menor concentração chama-se transferência de massa.

O mecanismo de transferência de massa envolve os processos de difusão e de convecção.

# Fundamentos

- Corante adicionado num recipiente com água difunde-se de modo a tornar a concentração uniforme.
- Açúcar adicionado a uma chávena de café dissolve-se e depois difunde-se de modo a tornar a concentração uniforme.



# Fundamentos

---

## Transferência de Massa

Gradiente de Concentração

Composição não uniforme

Sistemas de duas fases

Equilíbrio

# Operações de Transferência de Massa

---

- Destilação

- Absorção Gasosa

- Secagem

- Extração Líquido-Líquido

# Operações de Transferência de Massa

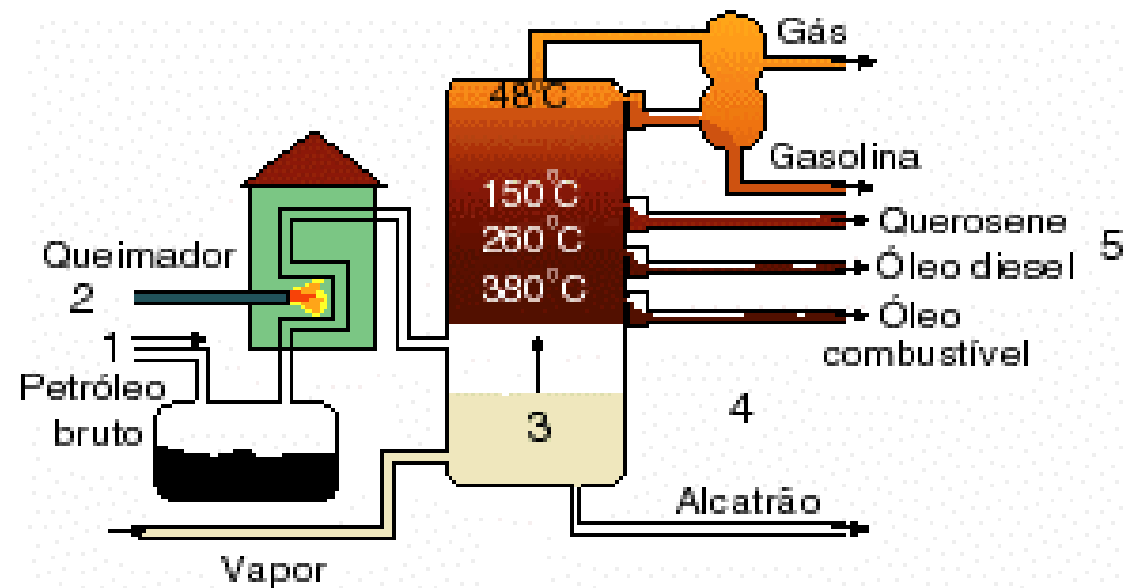
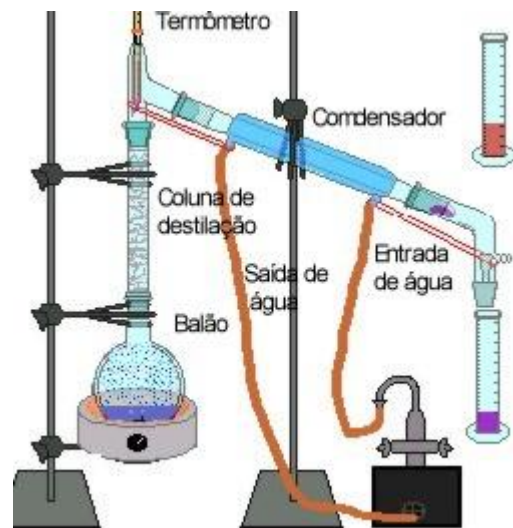
---

## Destilação

- Líquido - Vapor
- Todos os componentes nas duas fases
- Composição diferente em cada fase

# Operações de Transferência de Massa

## Destilação



# Operações de Transferência de Massa

---

## Absorção Gasosa

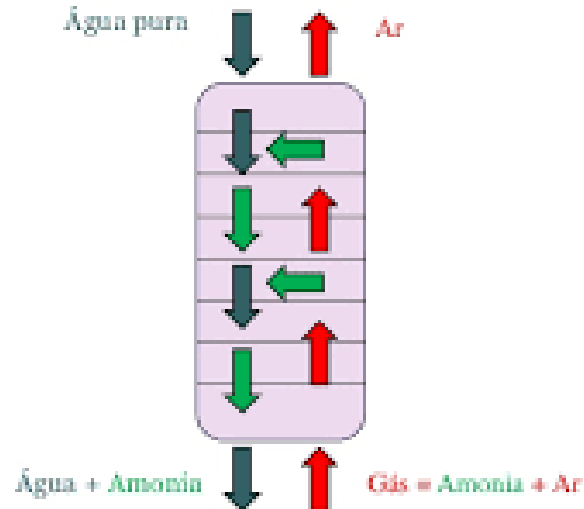
- Gás - Líquido
- Apenas um componente se distribui pelas duas fases



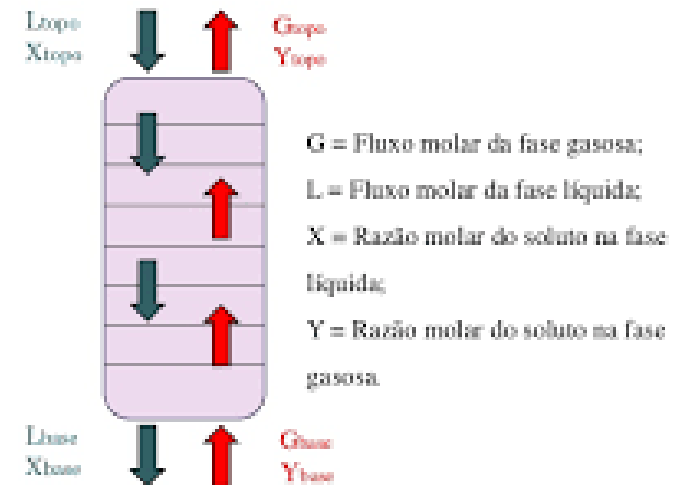
# Operações de Transferência de Massa

## Absorção Gasosa

### FUNCIONAMENTO DA COLUNA DE ABSORÇÃO



### FUNCIONAMENTO DA COLUNA DE ABSORÇÃO



# Operações de Transferência de Massa

---

## Secagem

- Gás - sólido
- Difusão do líquido presente no sólido para o gás

# Operações de Transferência de Massa

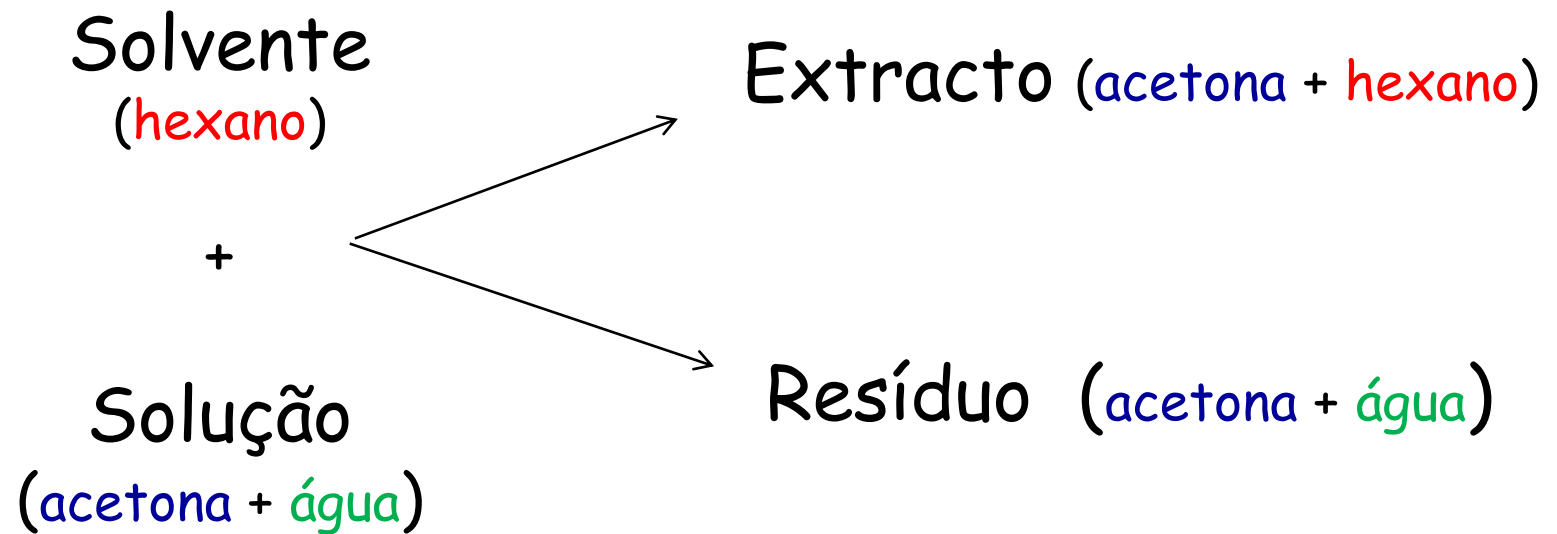
## Secagem



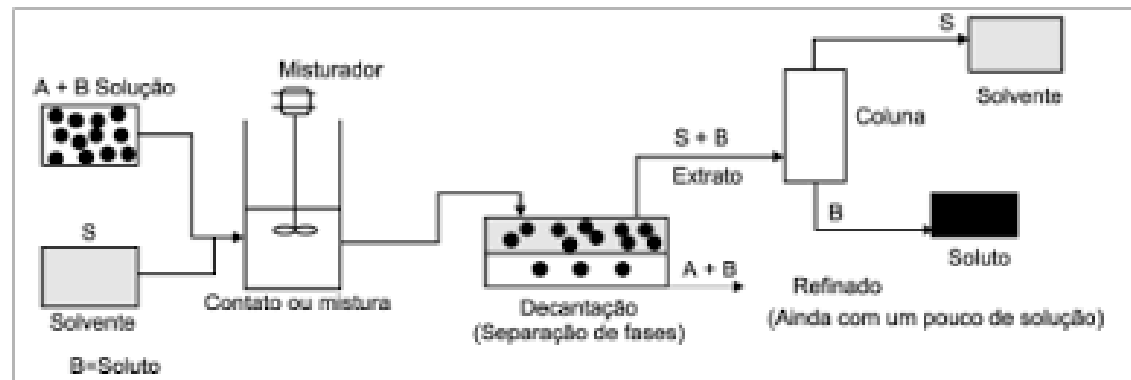
# Operações de Transferência de Massa

---

## Extracção Líquido - líquido



# Operações de Transferência de Massa



# Definição de Composições

Concentração mássica

$$\rho_A = \frac{m_A}{V} \quad \rho = \sum_i \rho_i$$

Concentração molar

$$c_A = \frac{\rho_A}{M_A} = \frac{n_A}{V} = \frac{p_A}{RT}$$

Fracção molar

$$x_A = \frac{c_A}{c} \quad y_A = \frac{c_A}{c}$$

$$y_A = \frac{p_A/RT}{P/RT} = \frac{p_A}{P}$$

A composição molar de uma mistura gasosa a 273 K e  $1.5 \cdot 10^5$  Pa é:

$O_2$	7%
$CO$	10%
$CO_2$	15%
$N_2$	68%

Determine:

- a) A composição em percentagem mássica
- b) A massa específica da mistura gasosa

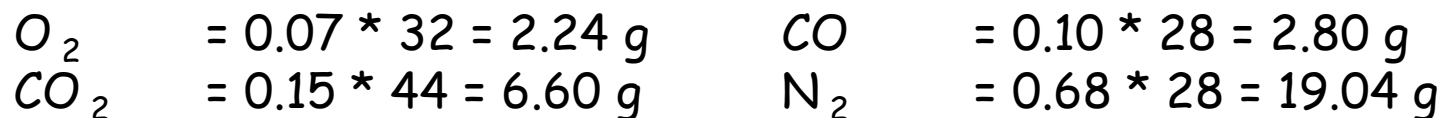
Para 1 mole da mistura:



Peso molecular dos componentes:



Massa dos componentes: (1 mol mistura)



Massa total=  $2.24 + 2.80 + 6.60 + 19.04$   
= 30.68 g



Composição em percentagem mássica:

$$O_2 = \frac{2.24}{30.68} * 100 = 7.30\%$$

$$CO = \frac{2.80}{30.68} * 100 = 9.13\%$$

$$CO_2 = \frac{6.60}{30.68} * 100 = 21.51\%$$

$$N_2 = \frac{19.04}{30.68} * 100 = 62.06\%$$

b) Assumindo gás ideal,

$$PV = nRT$$

$$\frac{n}{V} = C$$

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

Então, a massa específica =  $C \times M$

sendo  $M$  a massa molecular

$$M = \frac{30.68}{1} = 30.68 \text{ g/mol}$$

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{1.5 * 10^5 * 30.68 * 10^{-3}}{8.314 * 273} \text{ kg/m}^3$$

$$= 2.03 \text{ kg/m}^3$$

# Definição de Velocidades

Velocidade média mássica

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i v_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i v_i}{\rho}$$

Velocidade média molar

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n c_i v_i}{c}$$

Definem-se também velocidades relativas ao movimento da corrente:

$(v_i - v)$  velocidade do componente  $i$  relativamente à velocidade média mássica

$(v_i - V)$  velocidade do componente  $i$  relativamente à velocidade média molar

# Lei da Difusão

## 1ª Lei de Fick

$$\mathbf{J}_A = -D_{AB} \nabla c_A$$

Coeficiente de Difusão

Sistema unidireccional

$$J_{A,z} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$$

Sistema isobárico e isotérmico

$$J_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

# Fluxo

## Fluxo mássico (molar) de $i$

Vector relacionado com a massa (moles) do componente  $i$  transferidas por unidade de área e por unidade de tempo

$$J_{A,z} = c_A (v_{A,z} - V_z)$$

$$J_{A,z} = c_A (v_{A,z} - V_z) = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

$$c_A v_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + c_A V_z$$

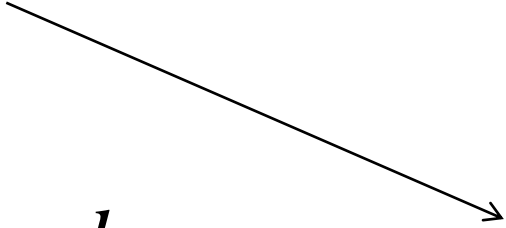
# Fluxo

Como

$$V_z = \frac{1}{c} (c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$

$\times c_A$

$$c_A V_z = y_A (c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$


$$c_A v_{A,z} = -c D_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_A (c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$

# Fluxo

Se o fluxo for referido a um referencial fixo

$$\mathbf{N}_A = c_A \mathbf{v}_A$$

$$N_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_A (N_{A,z} + N_{B,z})$$

$$\boxed{\mathbf{N}_A = -cD_{AB} \nabla y_A + y_A (\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B)}$$

# Fluxo

## Equivalent forms of the Mass Flux Equation for Binary

System A and B

Flux	Gradient	Fick rate equation	Restrictions
$\mathbf{n}_A$	$\nabla \omega_A$	$\mathbf{n}_A = -\rho D_{AB} \nabla \omega_A + \omega_A(\mathbf{n}_A + \mathbf{n}_B)$	Constant $\rho$
	$\nabla \rho_A$	$\mathbf{n}_A = -D_{AB} \nabla \rho_A + \omega_A(\mathbf{n}_A + \mathbf{n}_B)$	
$\mathbf{N}_A$	$\nabla y_A$	$\mathbf{N}_A = -c D_{AB} \nabla y_A + y_A(\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B)$	Constant $c$
	$\nabla c_A$	$\mathbf{N}_A = -D_{AB} \nabla c_A + y_A(\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B)$	
$\mathbf{j}_A$	$\nabla \omega_A$	$\mathbf{j}_A = -\rho D_{AB} \nabla \omega_A$	Constant $\rho$
	$\nabla \rho_A$	$\mathbf{j}_A = -D_{AB} \nabla \rho_A$	
$\mathbf{J}_A$	$\nabla y_A$	$\mathbf{J}_A = -c D_{AB} \nabla y_A$	Constant $c$
	$\nabla c_A$	$\mathbf{J}_A = -D_{AB} \nabla c_A$	



# Coeficiente de Difusão

---

$$\mathbf{J}_A = -D_{AB} \nabla c_A$$

$D = f(P, T, \text{nat. componente})$

Valores típicos de  $D$ :

Gases:  $1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Líquidos:  $0.5 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

Sólidos:  $1 \times 10^{-24} - 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$