

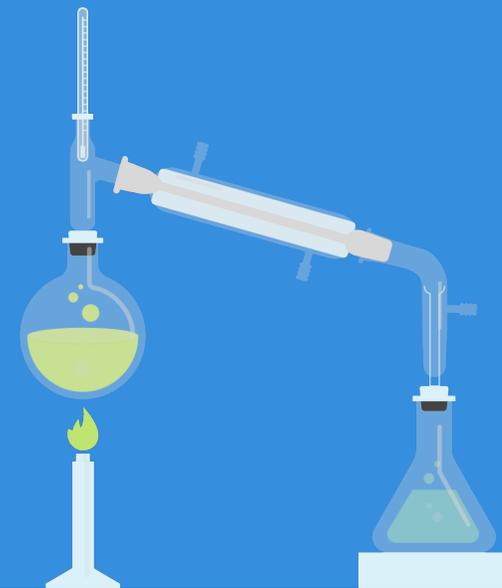
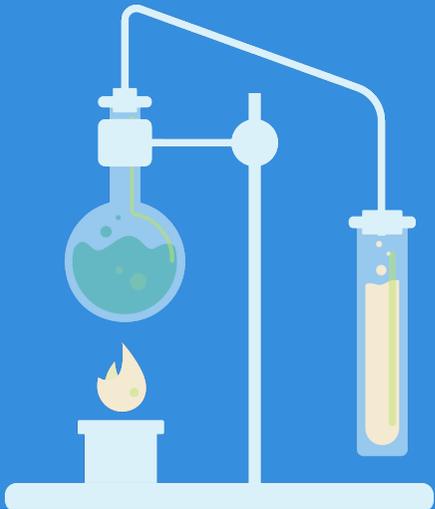


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

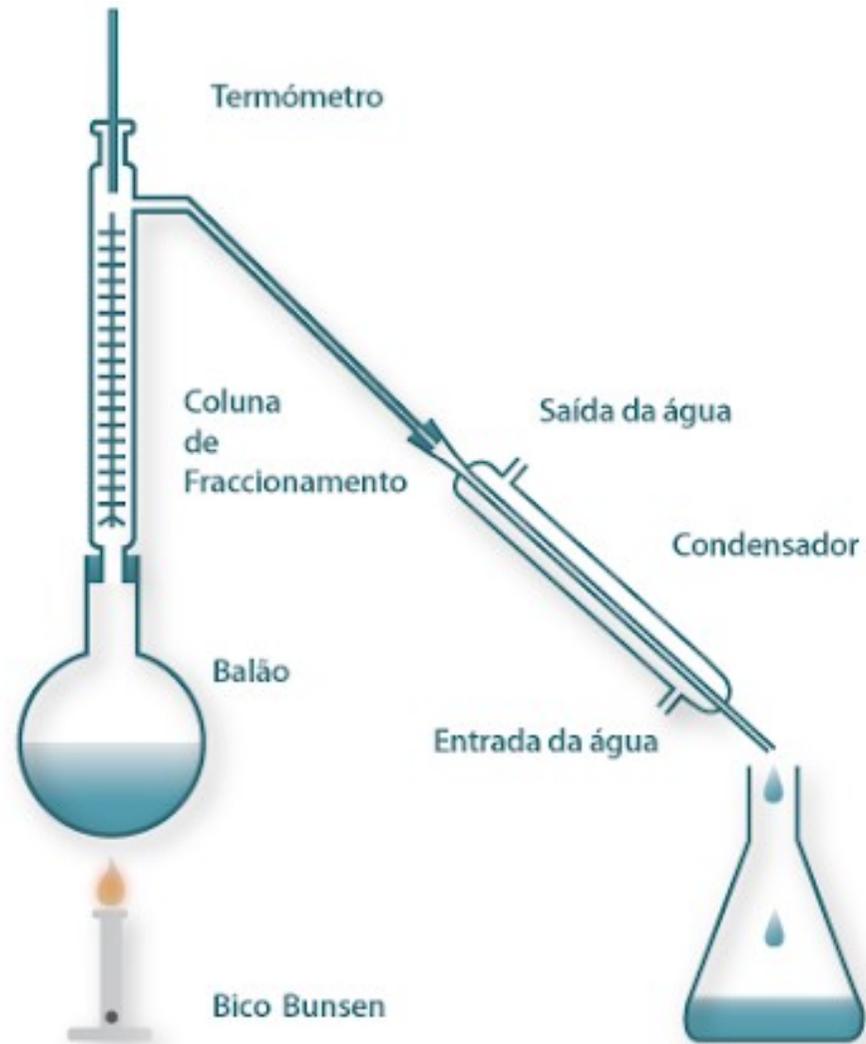
# Operações Unitárias III

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone de Fátima Medeiros

Contato: [simonemedeiros@usp.br](mailto:simonemedeiros@usp.br)

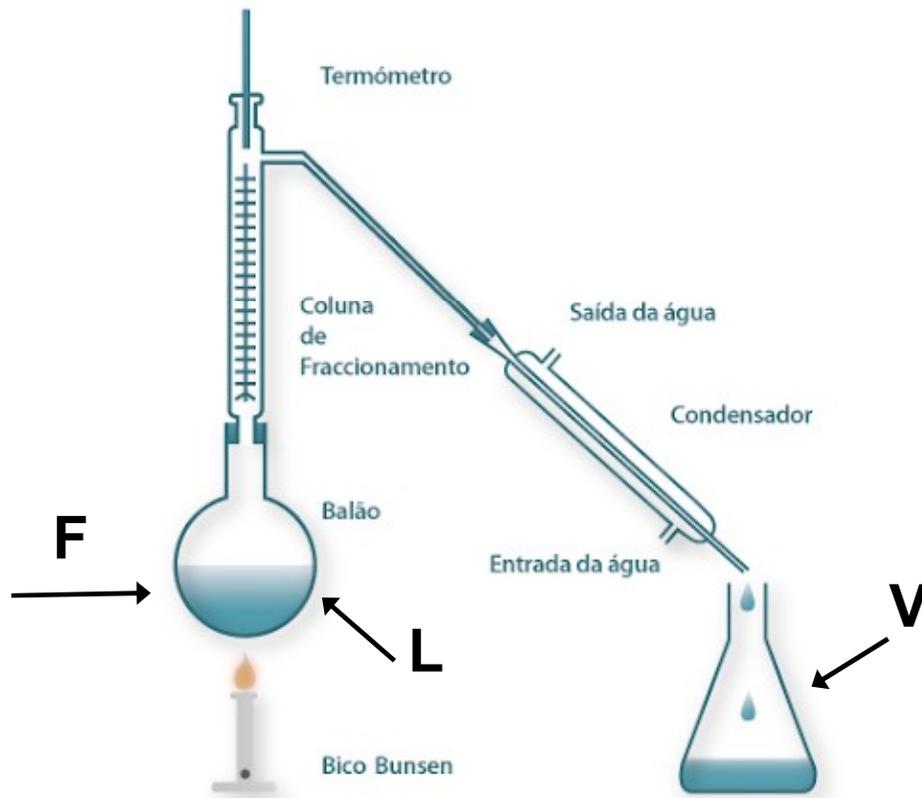


# Destilação Diferencial



# Destilação Diferencial

Seja a destilação de uma mistura binária composta pelos componentes A e B:



Balanco de Massa:

$$F = L + V$$

$$F * z_A = L * x_A + V * y_A$$

Processo que depende de t (tempo):



$L, V, x_A, x_B, y_A, y_B$  variam com t

# Destilação Diferencial

Condições simplificadoras:

1) Em  $t = 0$   $\longrightarrow F * z_A = L * x_A$

2) Em  $t = t_f$   $\longrightarrow$  Para cada  $dL$  vaporizados, sobram  $L - dL$ , com composição  $x_A - dx_A$

**Balço de massa para o componente mais volátil:**

Mols no destilador no instante  $t=0$   $=$  Mols no destilador no instante  $t=t_f$   $+$  Mols vaporizados entre  $t=0$  e  $t=t_f$

$$L * x_A = (L - dL) * (x_A - dx_A) + dL * (y_A + dy_A)$$

$$L * x_A = L * x_A - L * dx_A - dL * x_A + dL * dx_A + dL * y_A + dL * dy_A$$

# Destilação Diferencial

$$L * x_A = (L - dL) * (x_A - dx_A) + dL * (y_A + dy_A)$$

$$L * x_A = L * x_A - L * dx_A - dL * x_A + dL * dx_A + dL * y_A + dL * dy_A$$

$$L * dx_A = dL * y_A - dL * x_A$$

$$L * dx_A = dL(y_A - x_A)$$

$$\frac{dL}{L} = \frac{dx_A}{(y_A - x_A)}$$

Equação de Rayleigh

$$\int_F^L \frac{dL}{L} = \int_{z_A}^{x_A} \frac{dx_A}{(y_A - x_A)} \quad \text{ou:}$$

$$\int_F^L \frac{dL}{L} = \int_z^x \frac{dx}{(y - x)}$$

Invertendo os limites:

$$\int_L^F \frac{dL}{L} = \int_x^z \frac{dx}{(y - x)} \quad \longrightarrow \quad \ln\left(\frac{L}{F}\right) = \int_z^x \frac{dx}{(y - x)}$$

Equação da curva de equilíbrio:

$$y = \frac{\alpha * x}{(\alpha * x - x + 1)}$$



$$\ln\left(\frac{L}{F}\right) = \int_x^z \frac{dx}{\left[\left(\frac{\alpha * x}{(\alpha * x - x + 1)}\right) - x\right]}$$

$$\frac{L}{F} = \left[ \frac{x}{z} * \left( \frac{1-z}{1-x} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

# Exemplo 1

Uma mistura benzeno-tolueno de composição com 40% em mol de benzeno é submetida a uma destilação diferencial até que 65% dos moles iniciais sejam destilados. Determinar:

- a) A composição do benzeno no balão;
- b) A concentração do benzeno no destilado.

**Dados:**  $\alpha_{B,T} = 2,4$

## Solução:

- a) A composição do benzeno no balão;

$$\frac{L}{F} = \left[ \frac{x}{z} \left( \frac{1-z}{1-x} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha-1}} \xrightarrow{\text{Substituindo, temos:}} \frac{0,35 F}{F} = \left[ \frac{x_A}{0,4} \left( \frac{1-0,4}{1-x_A} \right)^{2,4} \right]^{\frac{1}{2,4-1}} \longrightarrow {}^{0,71}\sqrt{0,35} = \frac{x_A}{0,4} \left( \frac{1-0,4}{1-x_A} \right)^{2,4}$$

Logo:

$$x_A = 0,18 \text{ (Benzeno)}$$

$$x_B = 0,82 \text{ (Tolueno)}$$

Mistura Benzeno-Tolueno

$$z_A = 0,4 ;$$

$$z_B = 0,6 ;$$

$$\alpha_{B,T} = 2,4 ;$$

$$f = 0,65 \text{ ou } L = 0,35 L_0$$

# Exemplo 1

b) A concentração do benzeno no destilado.  $y_A = ?$

Mistura Benzeno-Tolueno

$$z_A = 0,4;$$

$$z_B = 0,6;$$

$$\alpha_{B,T} = 2,4;$$

$$f = 0,65 \text{ ou } L = 0,35 L_0$$

$$F * z_A = L * x_A + V * y_A \quad \text{Substituindo, temos:} \quad F * 0,4 = 0,35 * F * 0,18 + 0,65 * F * y_A$$

Logo:

$$y_A = 0,52$$

$$y_B = 0,48$$

## Exemplo 2

Uma mistura contendo 40% de metanol e 60% de água será submetida a destilação diferencial a 1 atm. Partindo de 150 moles de solução e dado o diagrama temperatura e composição, determine a quantidade e a composição no destilado e no resíduo (fração molar), considerando que a composição de água no resíduo não deverá ultrapassar 90% molar. Considere que a volatilidade não seja constante e utilize um passo de 0,1 no valor da fração molar do metanol na fase líquida para integração necessária.

### Solução 1:

$$F = 150 \text{ moles}$$

$$x_0 = 0,4$$

$$x_B = 0,9$$

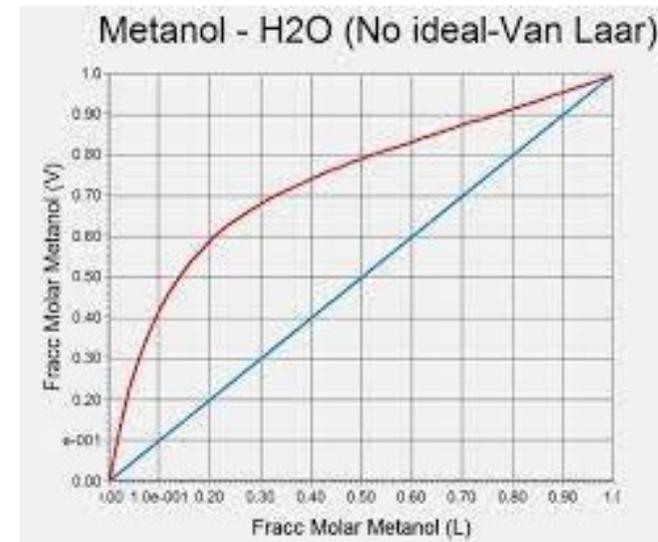
$$x_A = 0,1$$

$\alpha$  não constante

$$\alpha_r = \frac{y^*(1-x)}{x^*(1-y)}$$

x	y	$\alpha_r = \frac{y^*(1-x)}{x^*(1-y)}$
0,4	0,75	4,5
0,3	0,68	4,95
0,2	0,60	5,62
0,1	0,40	7,33

$$\alpha_M = 5,64$$



## Exemplo 2

$$\frac{L}{F} = \left[ \frac{x}{z} \left( \frac{1-z}{1-x} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha-1}} \longrightarrow \frac{L}{150} = \left[ \frac{0,1}{0,4} * \left( \frac{1-0,4}{1-0,1} \right)^{5,64} \right]^{\frac{1}{5,64-1}}$$

$$L = 65,55 \text{ mol}$$

$$F = L + V$$

$$150 = 65,55 + V$$

$$\mathbf{V = 84,45 \text{ mol}}$$

Do balanço de massa:

$$F * z_A = L * x_A + V * y_A \longrightarrow 150 * 0,4 = 65,55 * 0,1 + 84,45 * y_A$$

Logo:

$$y_A = 0,63$$

$$y_B = 0,37$$

# Exemplo 2

## Solução 2:

$$F = 150 \text{ moles}$$

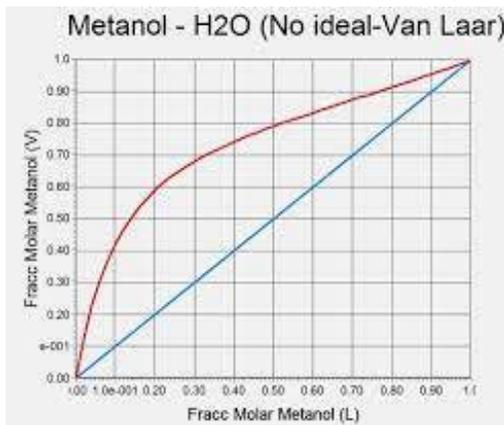
$$x_0 = 0,4$$

$$x_B = 0,9$$

$$x_A = 0,1$$

$\alpha$  não constante

$$\ln\left(\frac{F}{L}\right) = \int_x^z \frac{dx}{y-x}$$



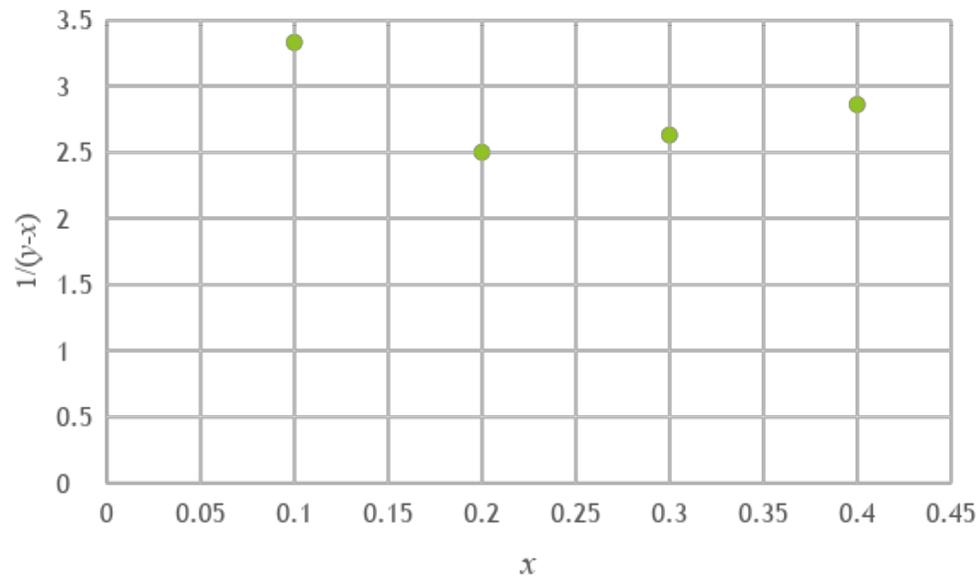
x	y	1/(y-x)
0,4	0,75	2,86
0,3	0,68	2,63
0,2	0,60	2,50
0,1	0,40	3,33

$$A1 = 0,28$$

$$A2 = 0,26$$

$$A3 = 0,29$$

$$\sum_{A1}^{A3} = 0,83$$



Regra dos trapézios

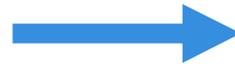
$$A = \frac{(B+b)*h}{2}$$

## Exemplo 2

$$\ln\left(\frac{150}{L}\right) = 0,83 \quad \longrightarrow \quad \frac{150}{L} = e^{0,83} \quad \longrightarrow \quad \frac{150}{L} = 2,29$$

$$L = 65,50 \text{ mol}$$

$$V = 150 - 65,50 = 84,50 \text{ mol}$$



$$y_A = 0,63$$

$$F * z_A = L * x_A + V * y_A$$

$$150 * 0,4 = 65,50 * 0,1 + 84,50 * y_A$$