

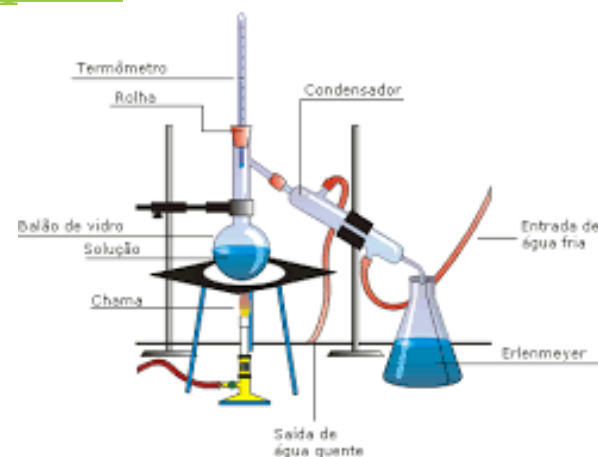


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Operações Unitárias III

Prof^a. Dr^a. Simone de Fátima Medeiros

E-mail: simonemedeiros@usp.br



Material de aula, comunicados, avaliações,
notas:



e-disciplinas:

<https://edisciplinas.usp.br/acessar/>

Dúvidas:



simonemedeiros@usp.br

Ementa:

- Equilíbrio líquido-vapor

- Destilação

Diferencial:

- Absorção - dessorção

- Extração líquido-líquido

- Adsorção/Cristalização

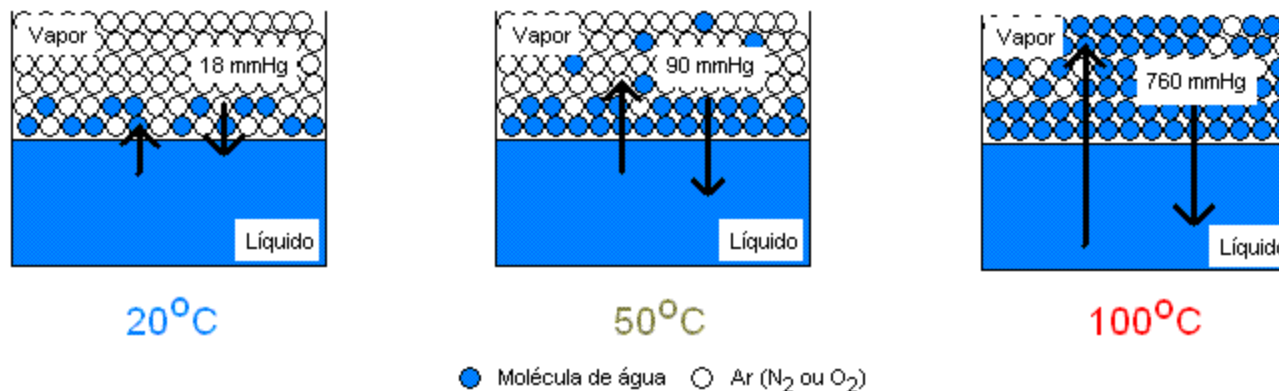
Retificação:



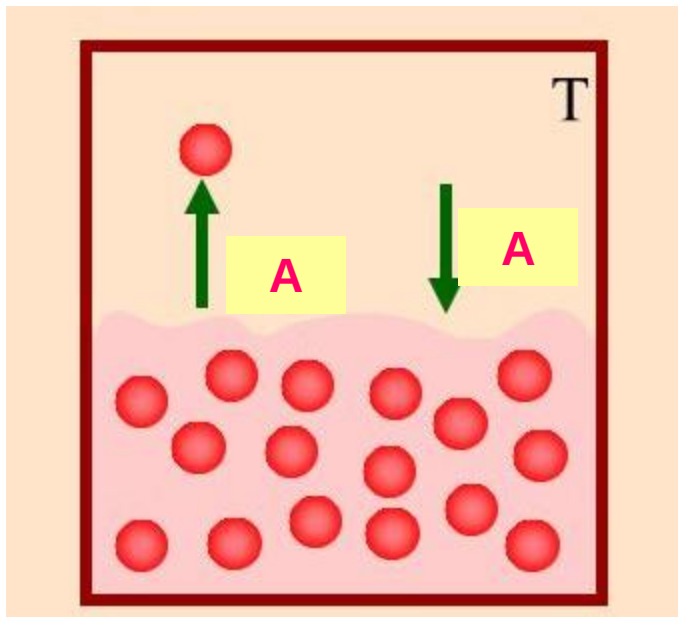
Equilíbrio líquido-vapor



Efeito da temperatura:

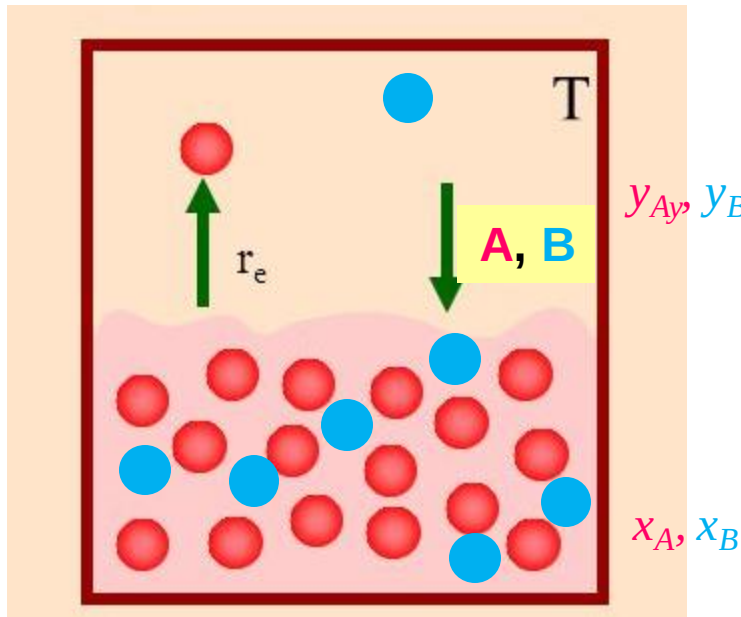


- Pressão de vapor: pressão exercida pela substância resultante das colisões das moléculas na interface líquido-vapor;
- Equilíbrio líquido-vapor: a taxa das moléculas que atravessam a interface em ambos os sentidos se igualam.



$$P_T = P_A^0$$

P_T ... Pressão total;
 P_A^0 = pressão de vapor da substância A.



$$P_T = p_A + p_B$$

p_A ... Pressão parcial de A;
 p_B ... Pressão parcial de B.

x_A ... Fração molar de A no líquido;
 x_B ... Fração molar de B no líquido;
 y_A ... Fração molar de A no vapor;
 y_B ... Fração molar de B no vapor.

- Lei de Raoult:

$$p_A = P_A^0 * x_A$$

$$p_B = P_B^0 * x_B$$

- Lei de Henry:

$$p_A = k_A * x_A$$

$$p_B = k_B * x_B$$

- Determinação da Pressão de vapor (P^0) de uma substância

1. Foust, Apêndice D-1, pág. 643

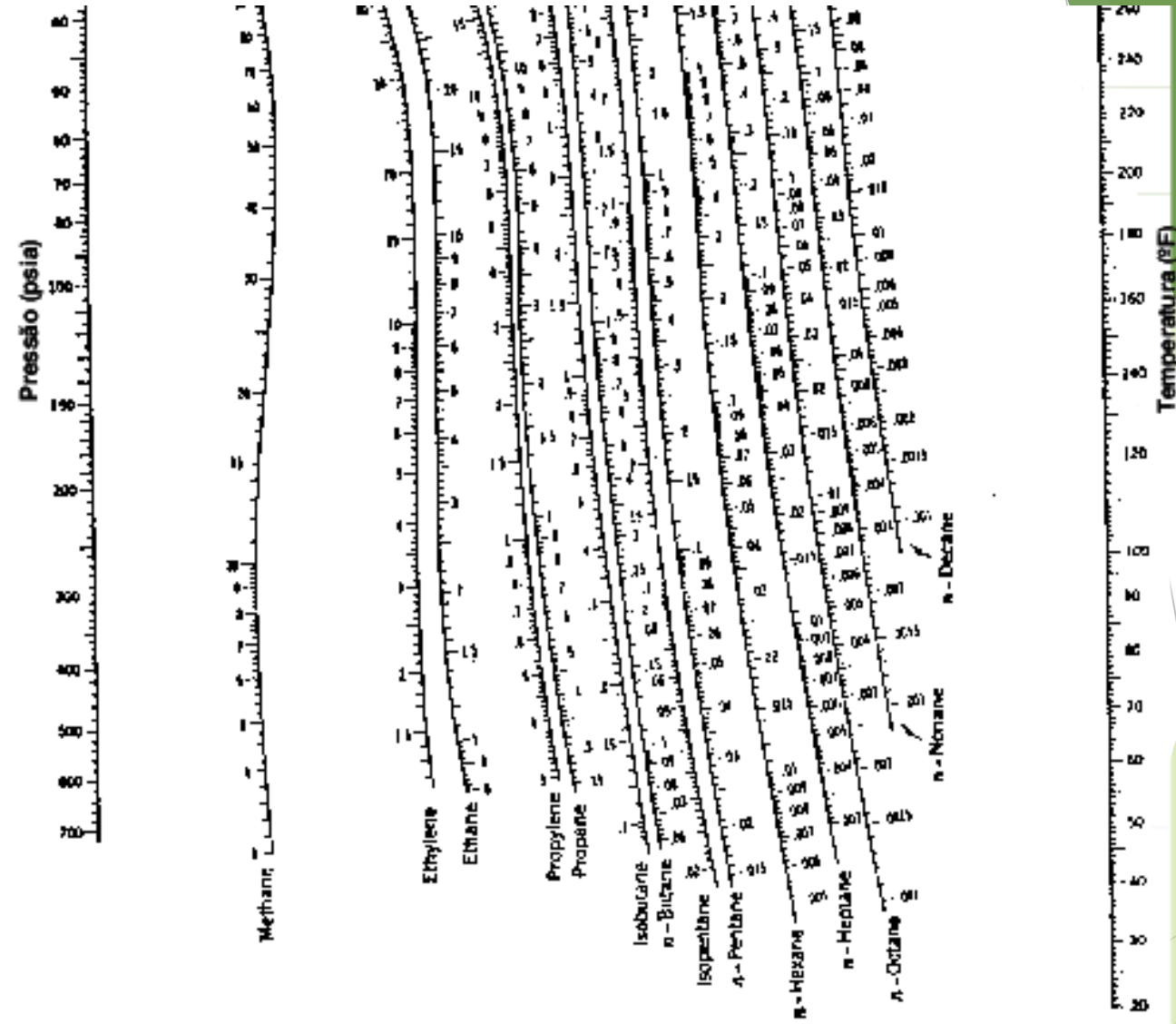
2. Equação de Antoine:

$$\log P^0 = A - \frac{B}{C + T}$$

Apêndice D-2e, Foust, pag. 646:

Substância	A	B	C
Metanol	7,87863	1473,11	230,00
Etanol	8,04494	1554,30	222,65
Benzeno	6,90595	1211,03	220,79
Tolueno	6,95464	1344,80	219,48

- Determinação dos coeficientes de distribuição de Henry:

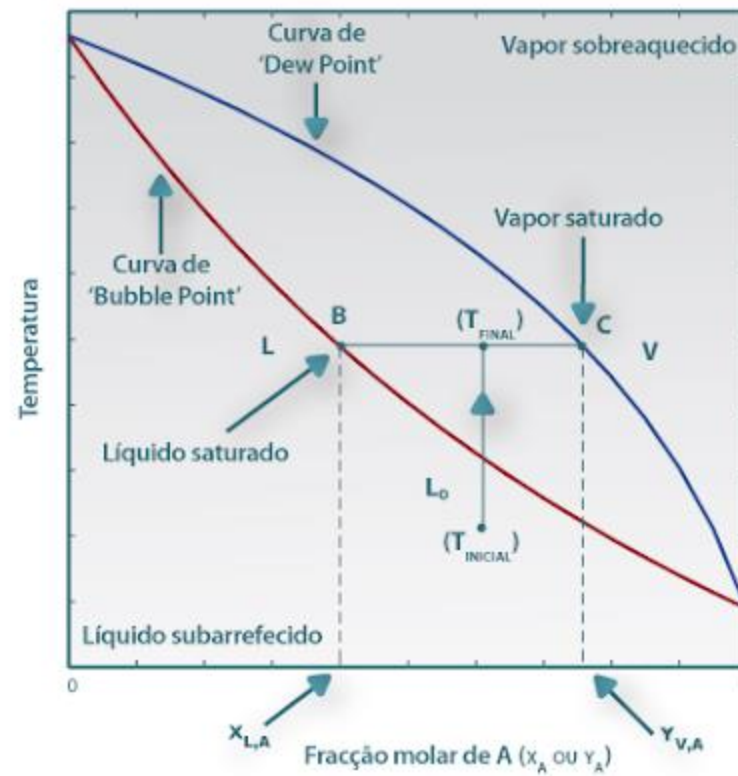


Nomógrafo de “DePriester”

Fonte: Manual de Engenharia Química – Perry & Chilton

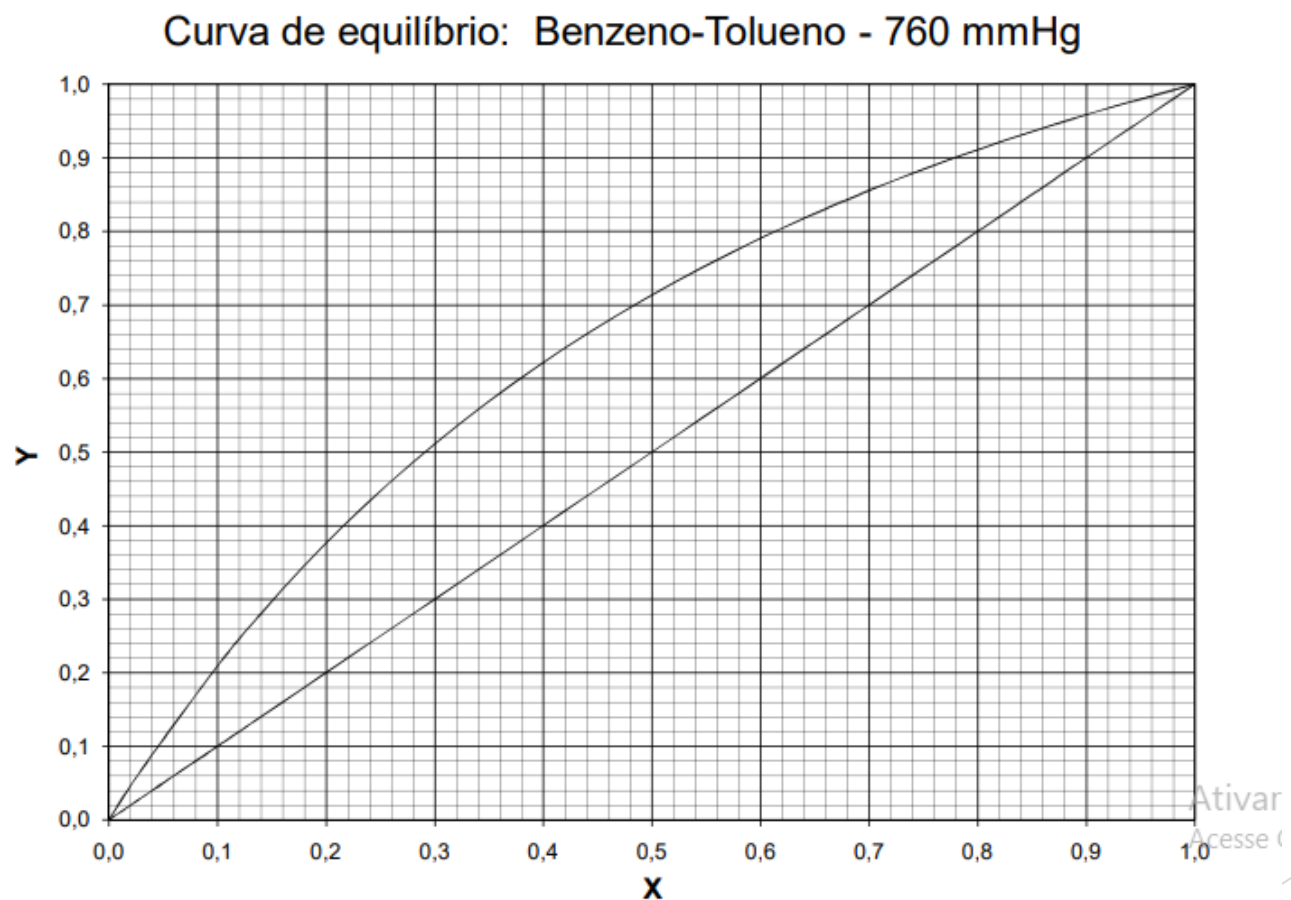
Diagramas de equilíbrio

1. Temperatura versus composição

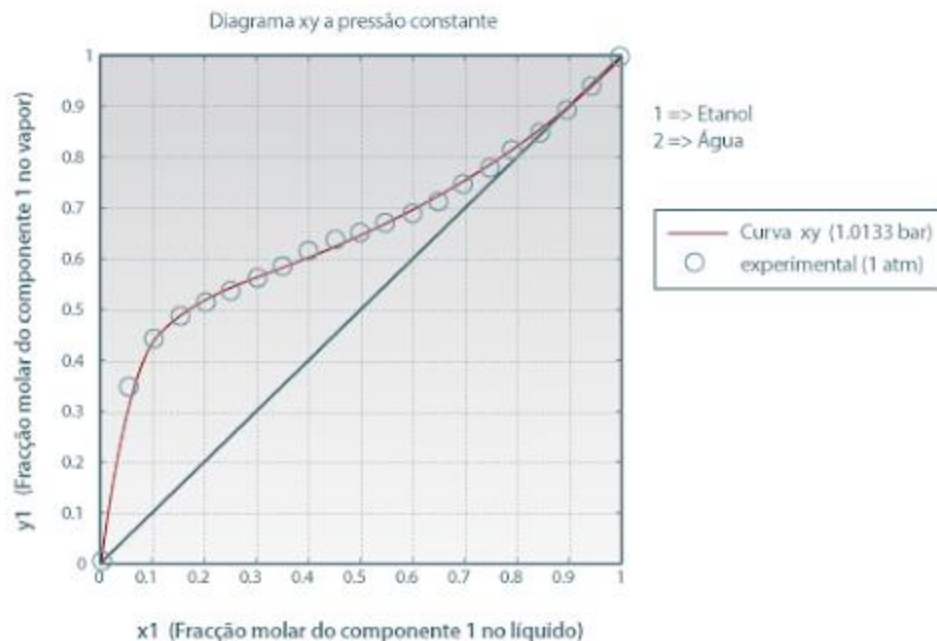
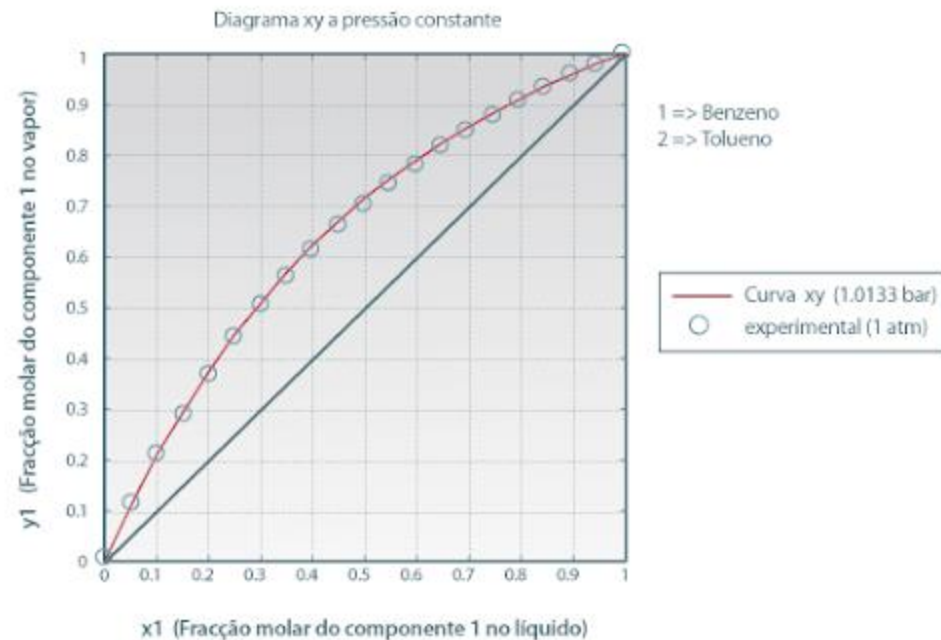


Diagramas de equilíbrio

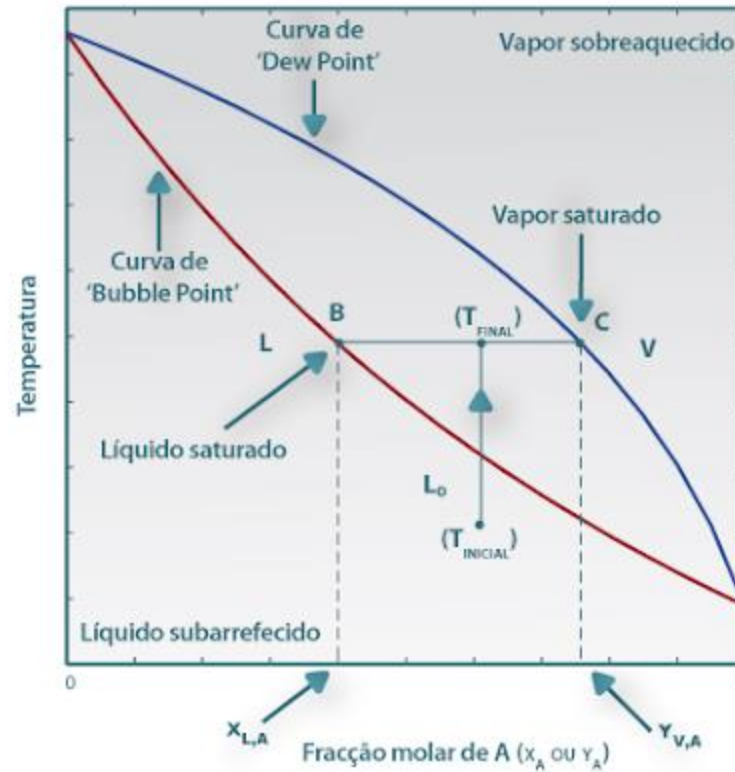
2. Composição das fases



Diagramas de equilíbrio

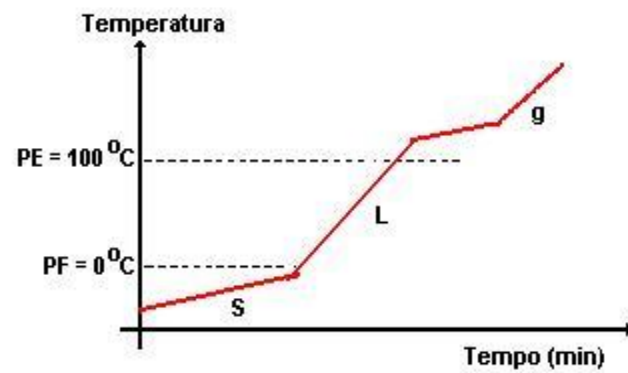
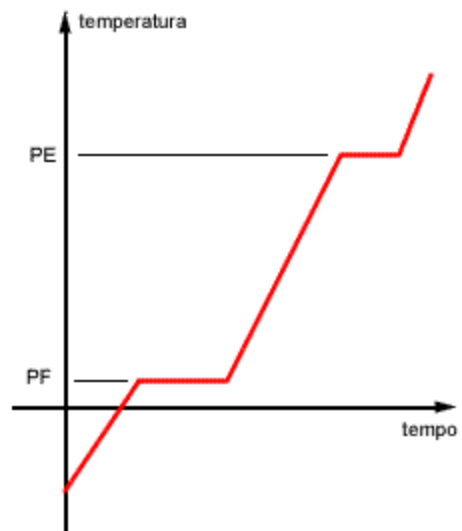


Diagramas de equilíbrio



- Temperatura de bolha: temperatura na qual uma determinada mistura líquida apresenta a formação da primeira bolha de vapor;
- Temperatura de orvalho: temperatura na qual uma determinada mistura gasosa apresenta a formação da primeira gota de líquido.

Diagramas de equilíbrio



$$P_T = p_A + p_B$$

□ Pela Lei de Raoult:

$$p_A = P_A^0 * x_A$$

$$p_B = P_B^0 * x_B$$

$$P_T = P_A^0 * x_A + P_B^0 * x_B$$

$$x_B = 1 - x_A$$

$$P_T = P_A^0 * x_A + P_B^0 * (1 - x_A)$$

$$x_A = \frac{P_T - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0}$$

$$p_A = y_A * P_T$$

$$p_B = y_B * P_T$$

$$y_A = \frac{p_A}{P_T}$$

$$y_A = \frac{P_A^0 * x_A}{P_T}$$

$$y_A = \frac{P_A^0 * (P_T - P_B^0)}{P_T * (P_T - P_B^0)}$$

Volatilidade:

$$\alpha = \frac{p}{x} \quad \alpha_A = \frac{p_A}{x_A} = \frac{P_A^0 * x_A}{x_A} = P_A^0$$

Volatilidade relativa:

$$\alpha_r = \frac{P_A^0}{P_B^0} \quad \text{ou} \quad \alpha_r = \frac{\frac{p_A}{x_A}}{\frac{p_B}{x_B}} \longrightarrow \alpha_r = \frac{p_A * x_B}{p_B * x_A}$$

$$\alpha_r = \frac{y_A * P_T * x_B}{y_B * P_T * x_A} \longrightarrow \alpha_r = \frac{y_A * x_B}{y_B * x_A} \longrightarrow \alpha_r = \frac{y_A * (1 - x_A)}{x_A * (1 - y_A)}$$

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

$$y = [(\alpha * x) * (\alpha * x + 1 - x)]$$

Equação da curva de equilíbrio

Determinação dos pontos de bolha e orvalho pelos coeficientes de Henry para mistura multicomponentes:

Lei de Henry:

$$p_A = k_A * x_A \quad k_A = \frac{y_A}{x_A} \quad k = \frac{y}{x} \quad k_i = \frac{y_i}{x_i}$$

Seja uma mistura com composição inicial:

➤ No ponto de bolha: $x_i = z_i$

$$k_i = \frac{y_i}{z_i} \quad y_i = k_i * z_i \quad \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n k_i * z_i = 1$$

Se: $\sum_{i=1}^n k_i * z_i > 1 \longrightarrow$ A mistura está acima do T_B

$\sum_{i=1}^n k_i * z_i < 1 \longrightarrow$ A mistura está abaixo do T_B

➤ No ponto de orvalho: $y_i = z_i$

$$k_i = \frac{z_i}{x_i} \quad x_i = \frac{z_i}{k_i} \quad \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{k_i} = 1$$

Se: $\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{k_i} < 1 \longrightarrow$ A mistura está acima do T_o

$\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{k_i} > 1 \longrightarrow$ A mistura está abaixo do T_o