

PQI3402 / OP – III

Operações flash

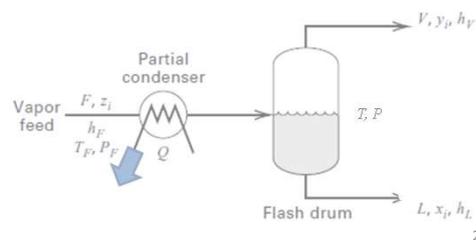
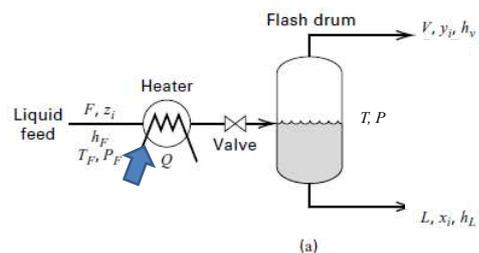
Parte a

Marcelo Seckler

1

Separadores flash

- Definição: flash é uma separação de 1 estágio em que uma alimentação líquida é parcialmente vaporizada
- O flash ocorre por:
 - Fornecimento de calor
 - Redução de pressão (válvula)
- Condensação parcial é uma operação análoga, na qual vapor é alimentado.
 - A condensação ocorre por remoção de calor



2

Introdução

- Operação flash admite poucas simplificações

Variável	Caso simplificado	Operação flash
Concentrações	Baixas	Elevadas
Equilíbrio termodinâmico	Gás perfeito, Solução ideal	Desvios da idealidade em ambas as fases
K constante?	$K=K(T)$	$K=K(x,T)$
Número de componentes transportados entre fases	1	2 ou +
Estágio de equilíbrio	Sim	Sim

3

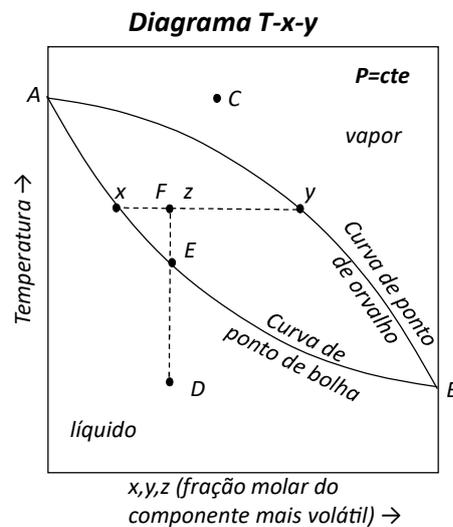
3

Sistemas binários L-V: leitura do diagrama de fases

- Regiões de 1 fase ($F=3^*$): estado C é vapor, estado D é líquido; sólido não mostrado
- Regiões de 2 fases ($F=2$):
 - Mistura de composição z no estado F tem duas fases: vapor de composição y e líquido de composição x.
 - Se $z = x$, vapor saturado (orvalho)
 - Se $z = y$, líquido saturado (bolha)
- A fração de vapor na mistura f_v (mol L / mol L+V) é dada pela **regra da alavanca**

$$f_v = \frac{z - x}{y - x}$$

* $F=nr$ graus de liberdade



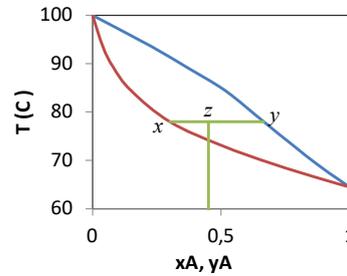
4

4

Derivação da regra da alavanca

BM global BM componente
(sistema binário)

$$F = V + L \quad Fz = Vy + Lx$$



F = nr. mols do sistema
V = nr. mols do vapor
L = nr. mols do líquido

(também vale para base mássica)

5

5

Derivação da regra da alavanca

BM global BM componente
(sistema binário)

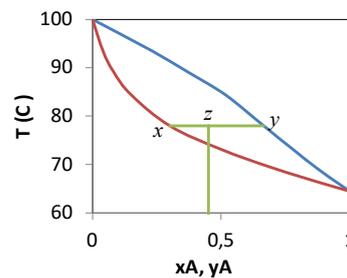
$$F = V + L \quad Fz = Vy + Lx$$

$$1 = \frac{V}{F} + \frac{L}{F} \quad z = \frac{V}{F}y + \frac{L}{F}x$$

$$z = \frac{V}{F}y + \left(1 - \frac{V}{F}\right)x$$

$$z = \frac{V}{F}(y - x) + x$$

$$\frac{V}{F} = \frac{z - x}{y - x}$$



F = nr. mols do sistema
V = nr. mols do vapor
L = nr. mols do líquido

(também vale para base mássica)

6

6

Volatilidade relativa α

- Diagrama de fases fornece α :

$$\alpha_{i,j} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j}$$

- para sistema binário

$$\alpha_{A,B} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A/x_A}{(1-y_A)/(1-x_A)}$$

- Rearranjando

$$y_A = \frac{\alpha_{A,B} x_A}{1 + x_A(\alpha_{A,B} - 1)}$$

→ uma vez conhecido α , podemos fazer cálculos de separadores.

→ em alguns sistemas α pode ser considerado aprox. constante.

- $\alpha_{i,j}$ também pode ser obtido com **modelo termodinâmico**:

$$\alpha_{i,j}(T, P, x_i) = \frac{K_i}{K_j}$$

- Para gás perfeito e líquido ideal :

$$\alpha_{i,j}(T) = \frac{K_i}{K_j} = \frac{P_i^{\text{sat}}/P}{P_j^{\text{sat}}/P} = \frac{P_i^{\text{sat}}}{P_j^{\text{sat}}}$$

- α depende apenas de propriedades de substâncias puras

7

7

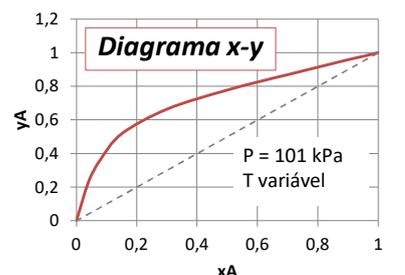
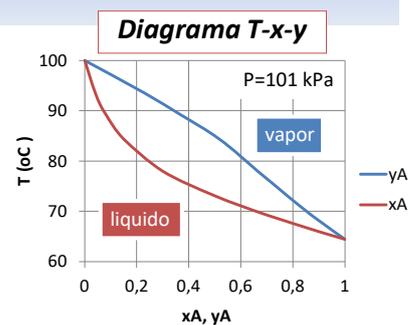
Alguns sistemas L-V

- Metanol (A) - água

- Dados experimentais para $P=101.3$ kPa:

T (C)	y_A	x_A	$\alpha_{A,B}$
64,5	1	1	
66	0,958	0,9	2,53
69,3	0,87	0,7	2,87
73,1	0,779	0,5	3,52
78	0,665	0,3	4,63
84,4	0,517	0,15	6,07
89,3	0,365	0,08	6,61
93,5	0,23	0,04	7,17
100	0	0	

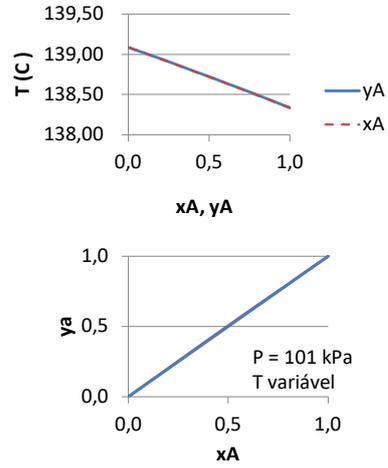
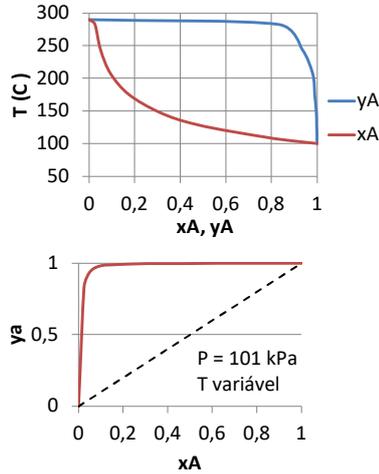
- x_A, y_A - frações molares nas fases líquida e vapor, respec.



8

Alguns sistemas L-V

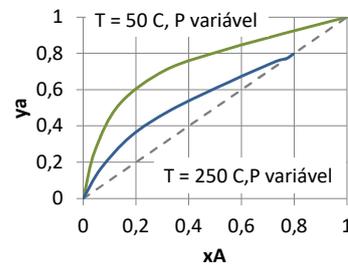
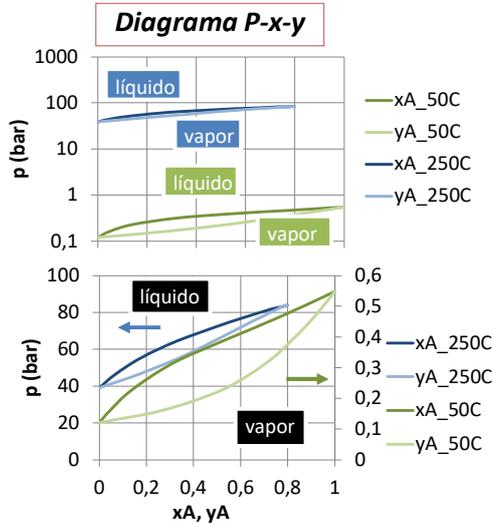
- Água (A) Glicerol, $P=101.3 \text{ kPa}$
- P-xileno (A) e M-xileno



9

Alguns sistemas L-V

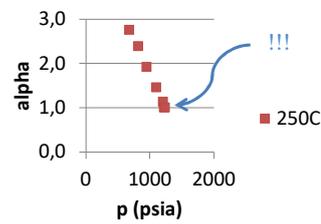
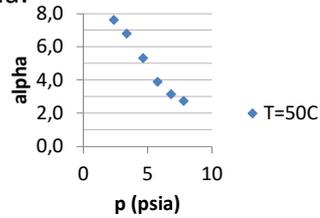
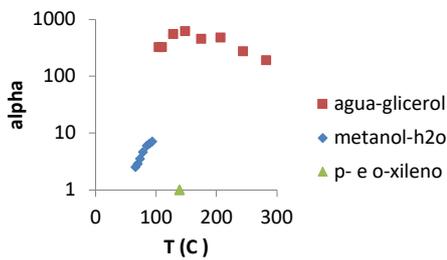
- Metanol (A) – água a $T \text{ const.}$
- No ponto crítico $\alpha = 1$



10

Facilidade de separação

- α em diferentes sistemas varia muito
- α varia com a composição, com T (em geral diminui) e com P (em geral diminui).
- α é baixo nas proximidades do ponto crítico. Para metanol-água:

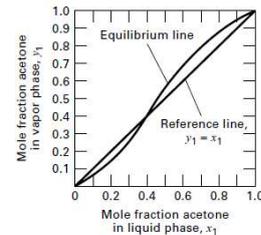
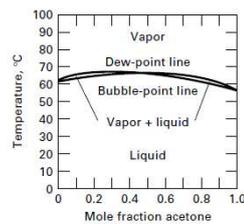
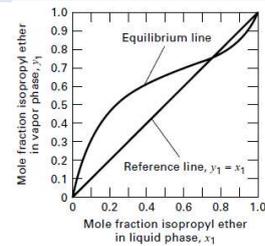
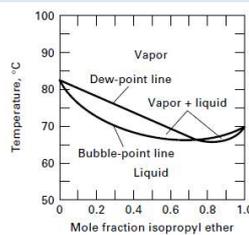


11

11

Azeótropos

- Isopropil-eter (1) / isopropil-álcool
- a 101 kPa
- Acetona (1) – clorofórmio
- a 101 kPa



12

12

Resumo

- Flash usualmente envolve
 - Correntes concentradas
 - $K = K(T,x)$
 - Transporte de mais de um componente
 - ESTÁGIO DE EQUILÍBRIO
- Sistemas binários, ideais e não ideais: diagramas de fase
 - Ler um diagrama de fases
 - Construir um diagrama de fases
 - Obter volatilidades relativas a partir do diagrama de fases
- Volatilidade relativa
 - Depende do sistema, em alguns casos há azeótropos
 - Varia com T, P

13

13

Quiz 1

Em aula

- Um diagrama de fases para um sistema binário informa:
- Escolha uma ou mais:
 - a) as quantidades de cada fase, com apoio de um balanço de massa
 - b) as composições das fases em equilíbrio
 - c) os estados termodinâmicos nos quais há uma ou mais fases em equilíbrio

14

14

Quiz 2

- A operação flash usualmente admite algumas simplificações.
- Escolha uma ou mais:
 - a) coeficiente de distribuição independente da composição
 - b) estágio de equilíbrio
 - c) apenas um componente é transportado entre as fase
 - d) correntes diluídas

15

15

Quiz 3

- Sobre a volatilidade relativa α , você diria
- Escolha uma ou mais:
 - a) α é um indicador para desempenho de processos de separação
 - b) para sistemas com comportamento ideal α só depende de propriedades de substâncias puras.
 - c) em alguns casos α depende da taxa de transporte de massa

16

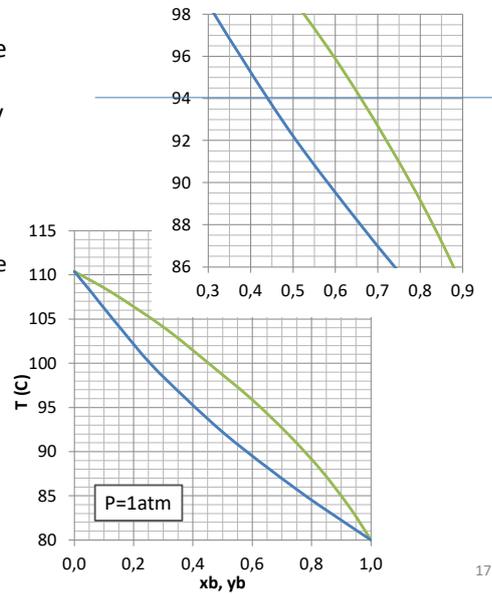
16

Exercício 4.1 - leitura de diagramas T-x-y

ALUNES FAZEM EM AULA

◦ Seja uma mistura de 60% molar de benzeno em tolueno a 86 °C e 1 atm. Observando o diagrama T-x-y dessa mistura, pede-se:

1. Qual o estado desta mistura?
2. Aquecendo a mistura, em qual temperatura forma-se a 1ª bolha de vapor? Qual a sua composição?
3. Continuando o aquecimento até 94°C, qual fração da mistura se transforma em vapor?
4. Aquecendo mais ainda, em qual T se vaporiza a última gota de líquido e qual a sua composição?
5. Calcule α a 86 °C e a 94 °C. Os valores são próximos?



17