



Curso de Engenharia Química  
Operações Unitárias II – 2016/2

Prof. Rodolfo Rodrigues

Lista 2: Destilação Binária por Estágios

### Exercício 1\*

(Wankat, 2012, Exemplo 4-2)

Calcule o coeficiente angular da linha de operação da alimentação para os seguintes casos de corrente alimentada:

- Líquido-vapor onde 80% são vaporizados nas condições de operação da coluna.
- Vapor superaquecido onde 1 mol de líquido é vaporizado do estágio de alimentação por cada 9 mol de vapor alimentado.
- Líquido subresfriado em 35°F. A capacidade calorífica média do líquido é de 30 Btu/lbmol/°F e calor latente de vaporização é de 15 000 Btu/lbmol.

Respostas: (a) -0,25. (b) 0,1. (c) 15,29.

### Exercício 2\*

(Geankoplis, 2003, Exemplo 11.4-1)

Uma mistura líquida de benzeno-tolueno é destilada em uma torre de fracionamento a pressão de 101,3 kPa. A alimentação de 100 kmol/h é líquida, contém 45 mol% de benzeno e 55 mol% de tolueno e entra a 327,6 K (130°F). Um destilado contendo 95 mol% de benzeno e 5 mol% de tolueno e um produto de base contendo 10 mol% de benzeno e 90 mol% de tolueno são obtidos. A razão de refluxo é 4:1. Determine:

- Vazões molares de produtos de topo e de fundo.
- Número de estágios teóricos e o estágio ótimo para alimentação.
- Razão de refluxo mínima.
- Número mínimo de estágios teóricos.
- Número de estágios reais para uma eficiência de Murphree para fase vapor de 0,6 e a eficiência global.

A temperatura de ponto de bolha da alimentação é 366,7 K (200,3°F), a capacidade calorífica média da alimentação é de 159 kJ/kmol/K (38 Btu/lbmol/°F) e o calor latente médio é de 32 099 kJ/kmol (13 800 Btu/lbmol). Utilize o diagrama de equilíbrio dado na Fig. 1 e aplique o método gráfico de McCabe-Thiele.

Respostas: (a)  $W = 58,8$  e  $D = 41,2$  kmol/h. (b) 7,6 estágios teóricos e 5° prato a partir do topo. (c)  $R_{\min} = 1,17$ . (d) 5,8 estágios teóricos. (e) 13 estágios reais e 62% de eficiência global.

### Exercício 3

(Geankoplis, 2003, Exemplo 11.4-3)

Uma corrente líquida no seu ponto de bolha à 400 kmol/h contendo 70 mol% de benzeno e 30 mol% de tolueno é alimentada em uma torre de esgotamento a 101,3 kPa de pressão. O produto de fundo é de 60 kmol/h contendo somente 10 mol% de benzeno e o restante de tolueno. Utilizando o método gráfico de McCabe-Thiele a partir do diagrama de equilíbrio dado na Fig. 2, calcule a vazão do vapor no topo, a sua composição e o número de estágios teóricos requerido.

Respostas:  $D = 340$  kmol/h,  $y_D = 0,806$  e 4,3 estágios teóricos + 1 refeedor parcial.

### Exercício 4

(Azevedo & Alves, 2013, Problema 4.11)

Uma coluna de destilação vai separar, a 1 atm, uma mistura com 55 mol% de clorofórmio e 45 mol% de ácido acético. Esta mistura consiste em quantidades equimolares de vapor e de líquido e tem uma vazão de 200 kmol/h. Usando uma razão de refluxo igual a 1, pretende obter-se um destilado com 95 mol% do componente mais volátil e um resíduo com 97 mol% do componente mais pesado. Calcule:

- As vazões das correntes de destilado e de resíduo.
- A fração de recuperação de cada componente.
- As vazões internas de líquido e de vapor.

Sabendo que a volatilidade relativa do clorofórmio com relação ao ácido acético a 1 atm é  $\alpha = 6,15$ , construa o diagrama de equilíbrio a partir da Eq. 2 e Fig. 3 e aplique o método gráfico de McCabe-Thiele.

Resposta: (a)  $D = 113$  kmol/h;  $W = 87$  kmol/h; (b) 0,976; 0,937; (c)  $L = 113$  kmol/h;  $\bar{L} = 213$  kmol/h;  $V = 226$  kmol/h;  $\bar{V} = 126$  kmol/h.

### Exercício 5

(Wankat, 2012, Exemplo 4-3)

Uma coluna de destilação com um condensador total e um refeedor parcial é usado para separar uma mistura etanol-água. A alimentação é constituída de 20 mol% de etanol, vazão de 1 000 kmol/h e temperatura de 30°C. São desejadas uma composição de destilado de 80 mol%

de etanol e uma composição de fundo de 2 mol% de etanol. A razão externa de refluxo é de 5/3. Encontre a localização ótima para o prato de alimentação e o número total requerido de estágios de equilíbrio. A pressão de operação da coluna é de 1 atm. São dados a entalpia da corrente de alimentação à 30°C como 15 kcal/kg e as entalpias do vapor e do líquido saturados nas condições da alimentação como 485 kcal/kg e 70 kcal/kg, respectivamente. Utilize o diagrama de equilíbrio dado na **Fig. 4** e aplique o método gráfico de McCabe-Thiele.

Resposta: Total de 12 pratos + refervedor parcial. Alimentação no prato n° 2 (contado a partir do refervedor parcial).

## Exercício 6

(Geankoplis, 2003, Problemas 11.4-2 e 11.5-1)

Uma corrente de alimentação de 200 mol/h de líquido saturado em seu ponto de bolha contendo 42 mol% de heptano e 58 mol% de etilbenzeno é fracionada à 101,32 kPa resultando em um destilado contendo 97 mol% de heptano e um produto de fundo contendo 1,1 mol% de heptano. A razão de refluxo usada é 2,5:1. Determine:

- As vazões de destilado e fundo em mol/h.
- O número de pratos teóricos.
- O número do prato de alimentação.
- O número de pratos para uma eficiência de Murphree para a fase vapor de 0,55.
- A eficiência global para o caso anterior.

Utilize os dados de equilíbrio da **Tab. 1** para construir o diagrama de equilíbrio nas **Figs. 5 e 6** e aplique o método gráfico de McCabe-Thiele.

Tabela 1: Dados de equilíbrio para heptano-etilbenzeno à 101,32 kPa.

$T(^{\circ}\text{C})$	$x_H$	$y_H$
136,1	0	0
129,4	0,08	0,23
119,4	0,25	0,514
110,6	0,485	0,73
102,8	0,79	0,904
98,3	1	1

Respostas: (a)  $D = 85,3$  mol/h e  $B = 114,7$  mol/h. (b) 9,5 pratos + refervedor. (c) 6° prato a partir do topo.

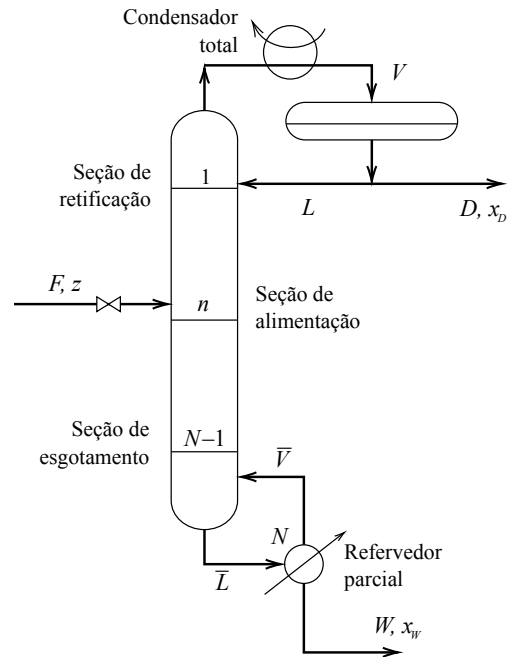
## Formulário

- Volatilidade relativa:

$$\alpha_{AB} = \frac{K_A}{K_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} \quad (1)$$

$$= \frac{p_A^{\text{sat}}/p}{p_B^{\text{sat}}/p} = \frac{p_A^{\text{sat}}}{p_B^{\text{sat}}} \quad (2)$$

$$y = \frac{\alpha_{AB} \cdot x}{1 + x(\alpha_{AB} - 1)}$$



- Fração recuperada:

$$FR_D = \frac{D \cdot x_D}{F \cdot z} \quad (3)$$

$$FR_W = 1 - FR_D \quad (4)$$

- Linha de operação da seção de alimentação:

$$y = \left( \frac{q}{q-1} \right) x - \frac{z}{q-1} \quad (5)$$

onde:

$$q = \frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{h_V - h_F}{h_V - h_L} \quad (6)$$

- (a)  $q > 1$ : líquido subresfriado

$$q = 1 + \frac{c_{p,L}(T_b - T_F)}{\Delta h^{vap}} \quad (7)$$

- (b)  $q = 1$ : líquido saturado

- (c)  $0 < q < 1$ : líquido e vapor

$$q = 1 - f \quad (8)$$

- (d)  $q = 0$ : vapor saturado

- (e)  $q < 0$ : vapor superaquecido

$$q = \frac{c_{p,V}(T_d - T_F)}{\Delta h^{vap}} \quad (9)$$

- Linha de operação da seção de enriquecimento:

$$y = \left( \frac{R_D}{R_D + 1} \right) x + \frac{x_D}{R_D + 1} \quad (10)$$

onde  $R_D = L/D$  é a razão de refluxo.

- Linha de operação da seção de esgotamento:

$$y = \left( \frac{R_B + 1}{R_B} \right) x - \frac{x_W}{R_B} \quad (11)$$

onde  $R_B = \bar{V}/W$  é a razão de *boilup*.

- Razão de refluxo mínima,  $R_{\min}$ :

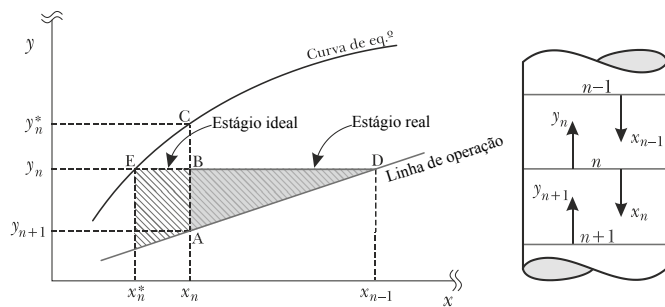
$$R_{\min} = \frac{x_D - y^*}{y^* - x^*} \quad (12)$$

- Condensador,  $Q_C$ , e refeedor,  $Q_B$ :

$$F \cdot h_F + Q_B = D \cdot h_D + W \cdot h_W + Q_C \quad (13)$$

$$Q_C = V \cdot \Delta h^{vap} \quad (14)$$

$$Q_B = \bar{V} \cdot \Delta h^{vap} \quad (15)$$



- Eficiência de prato ou de Murphree,  $E_M$ :

$$E_{MV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} \quad (16)$$

$$E_{ML} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n^* - x_{n-1}} \quad (17)$$

- Eficiência global,  $E_0$ :

$$E_0 = \frac{N_{ideal}}{N_{real}} < 1 \quad (18)$$

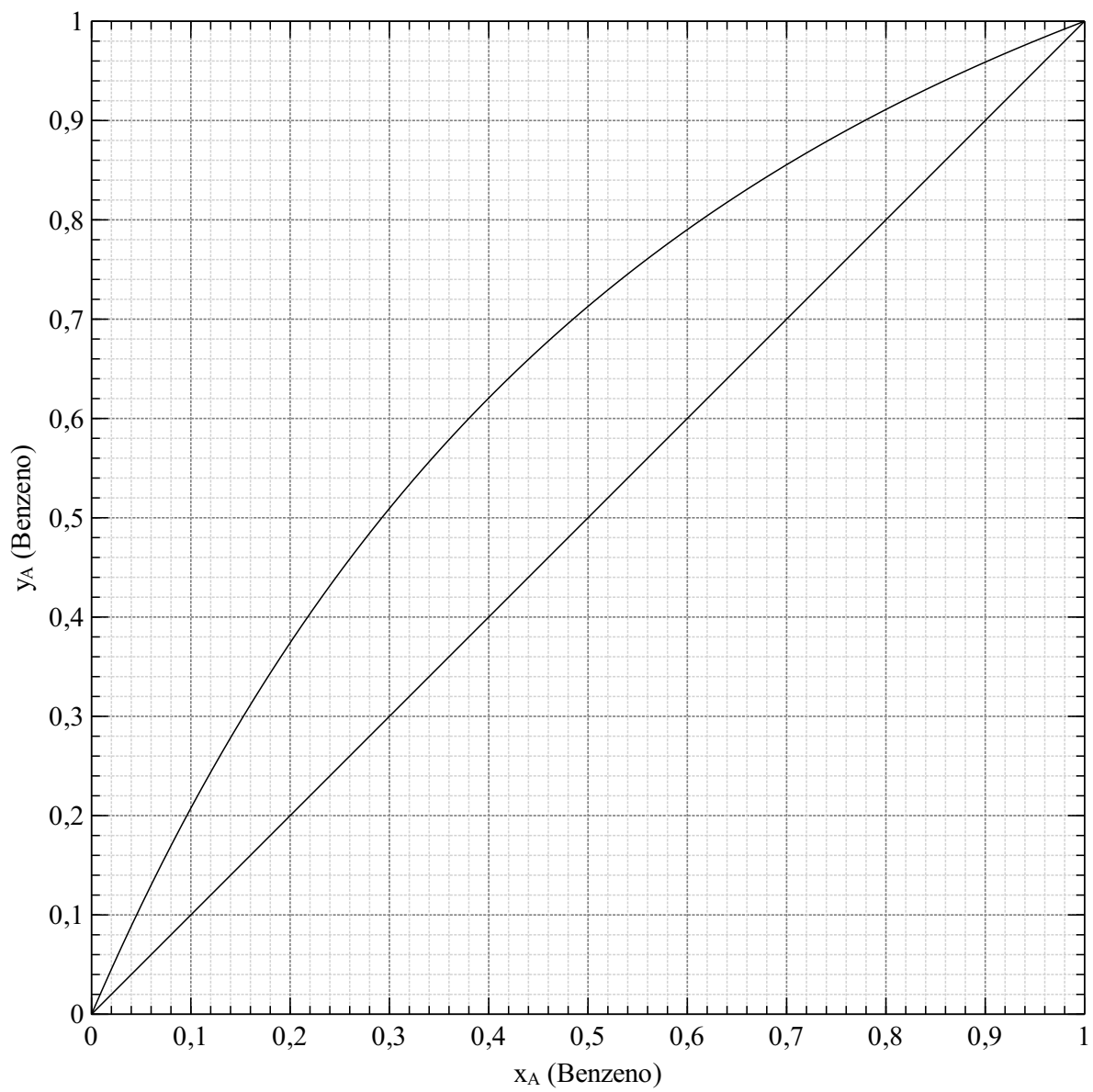


Figura 1: Diagrama x-y para mistura binária benzeno(A)-tolueno(B) a pressão constante de 1 atm.

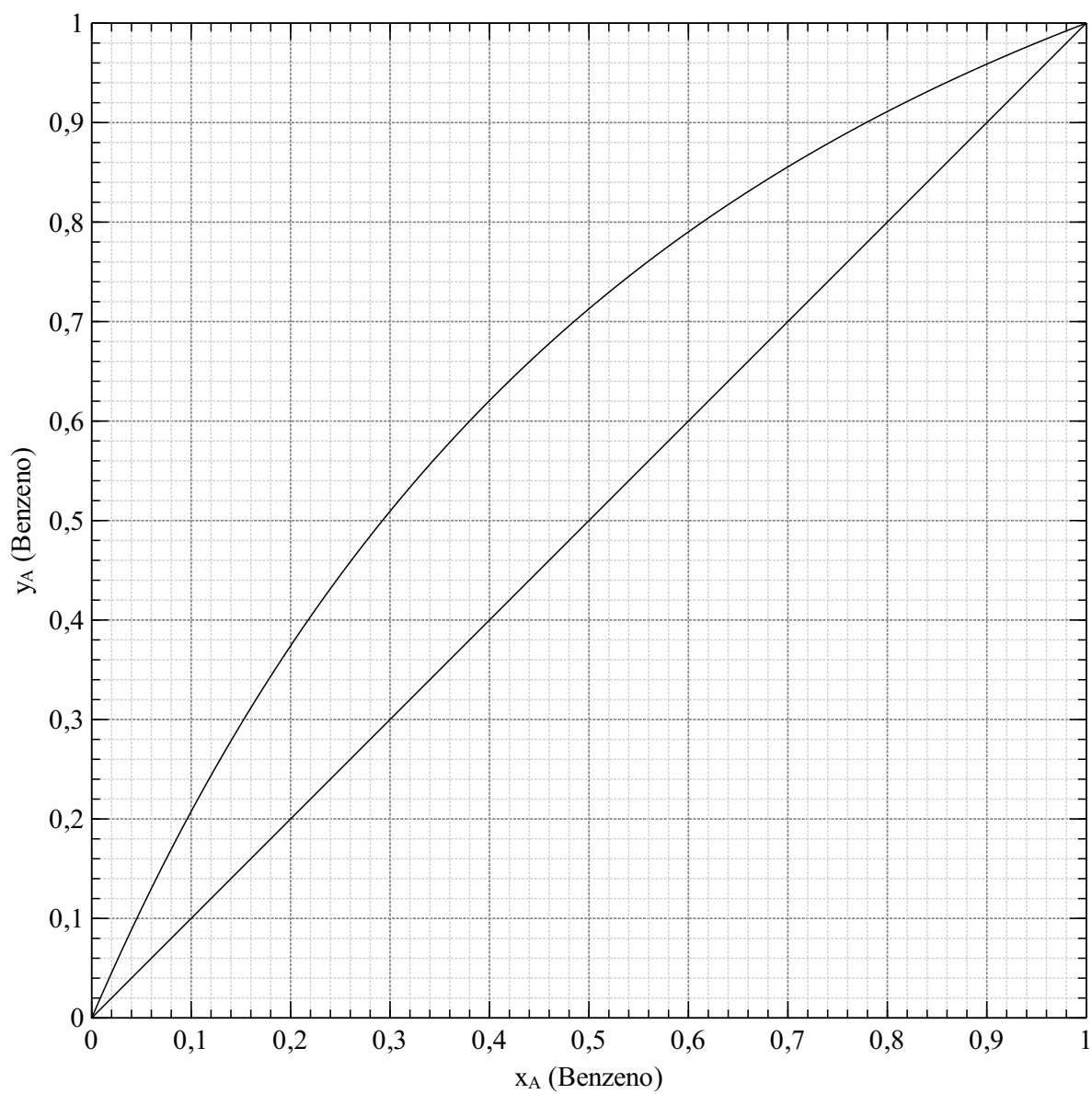


Figura 2: Diagrama x-y para mistura binária benzeno(A)-tolueno(B) a pressão constante de 1 atm.

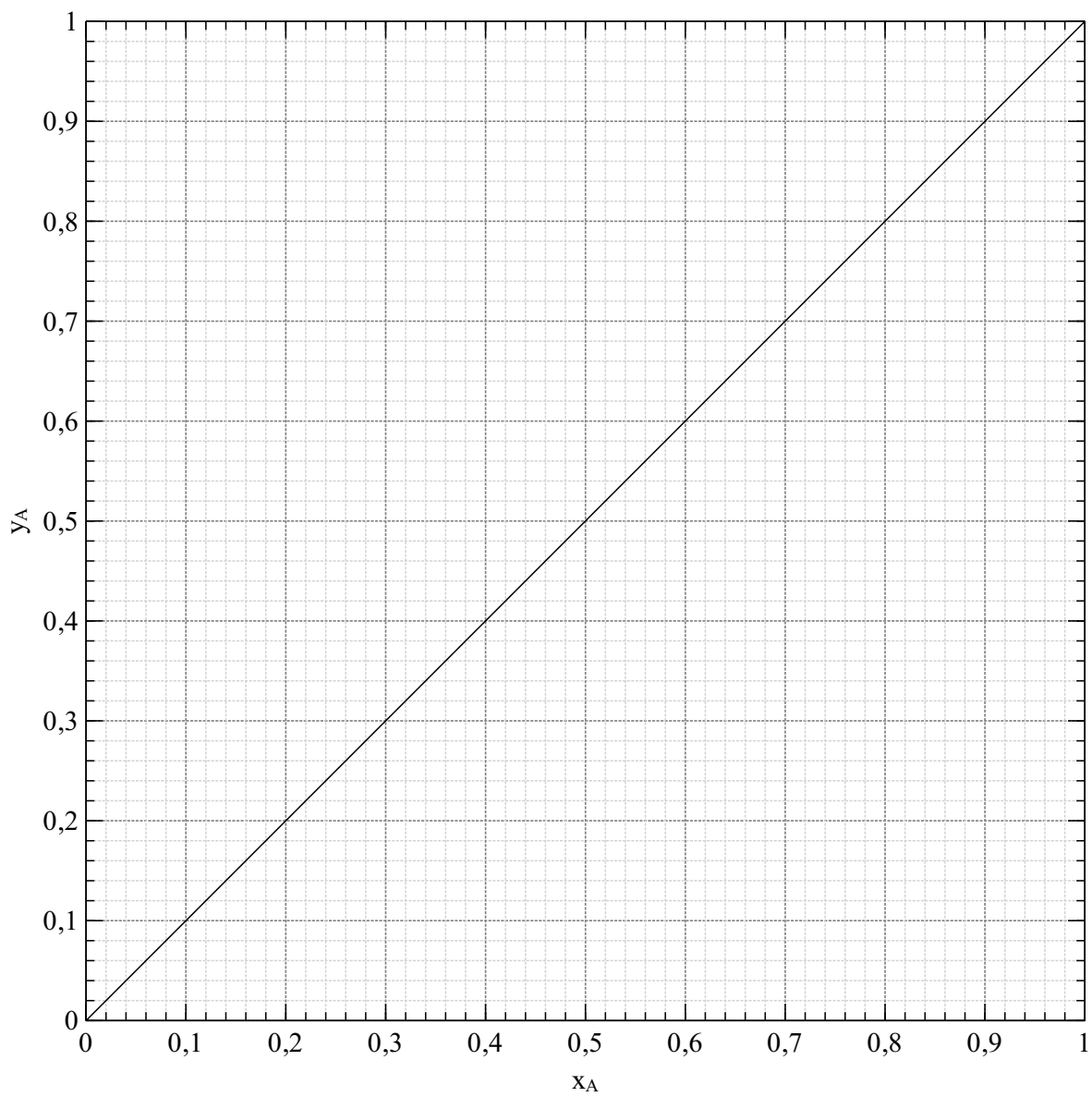


Figura 3: Diagrama x-y para mistura binária a pressão constante.

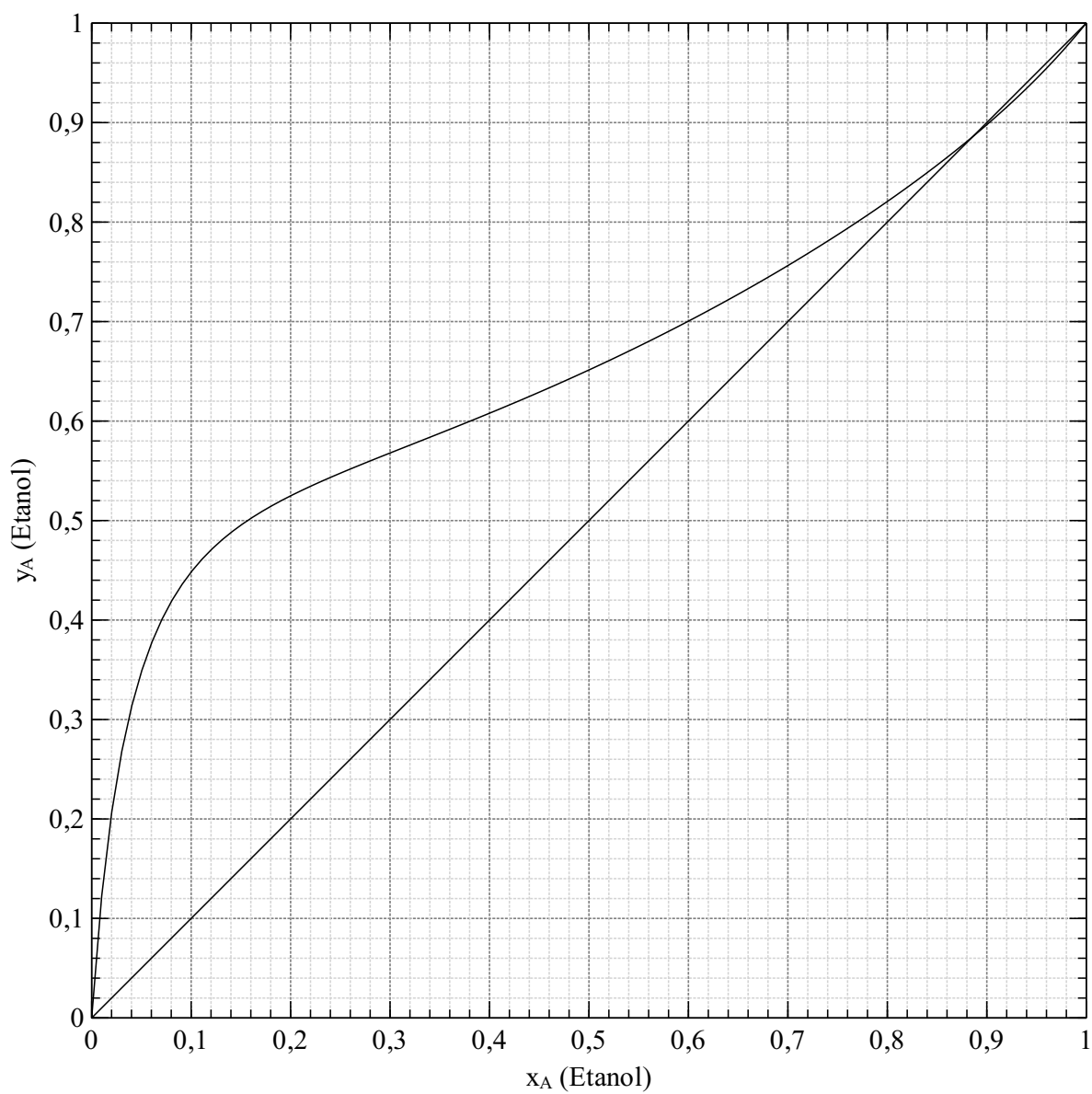


Figura 4: Diagrama x-y para mistura binária etanol(A)-água(B) a pressão constante de 1 atm.

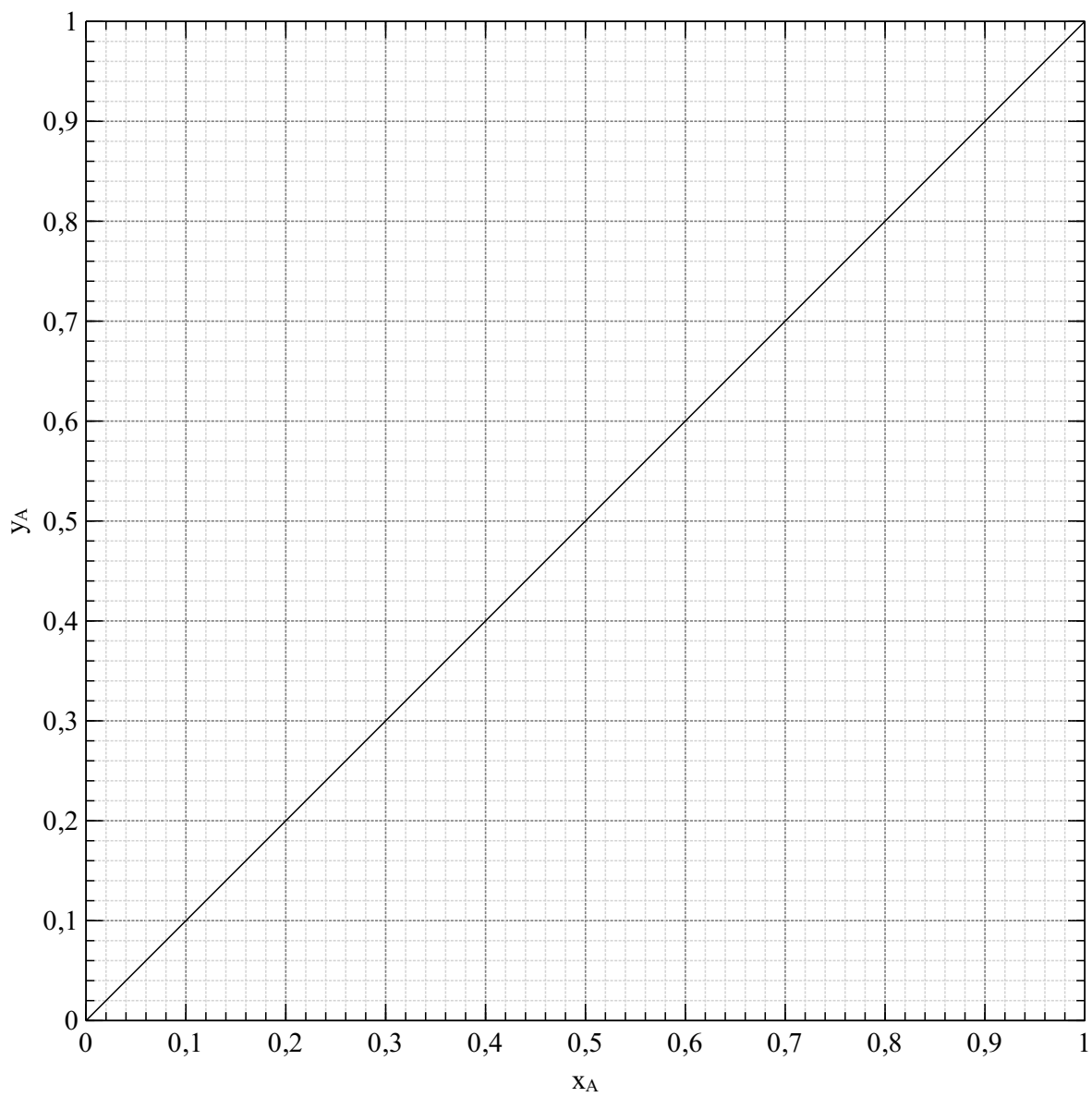


Figura 5: Diagrama x-y para mistura binária a pressão constante.



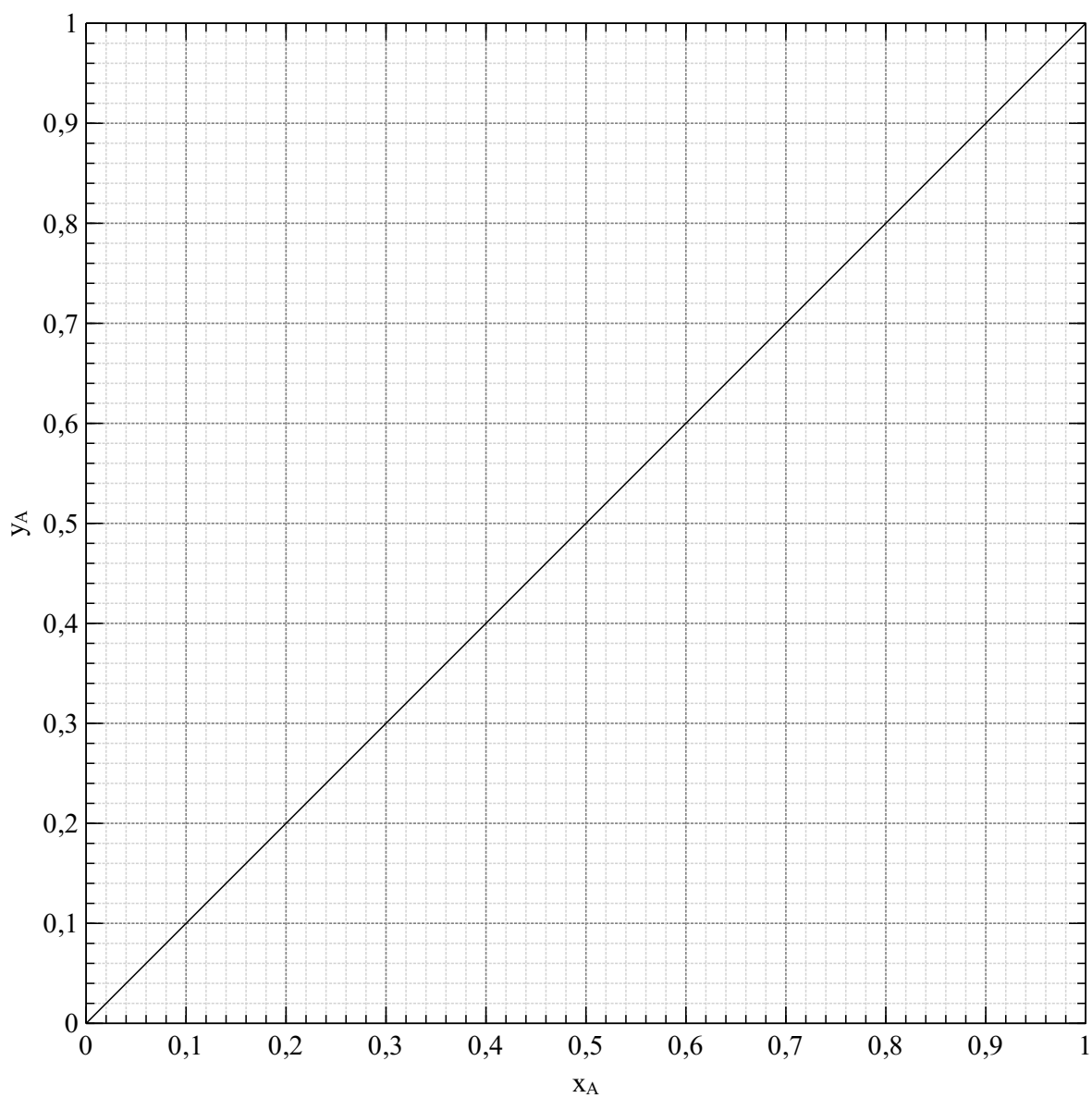


Figura 6: Diagrama x-y para mistura binária a pressão constante.