Curso de Engenharia Química
Operações Unitárias II – 2016/2

Prof. Rodolfo Rodrigues

Lista 7: Dimensionamento de Coluna de Pratos

Exercício 1*

(Azevedo e Alves, 2013, Exemplo 8.1)

Pretende-se regenerar com vapor uma mistura diluída de metanol em água, usando uma coluna de 23 pratos perfurados. Estime o diâmetro e a altura da coluna e projete um prato de fluxo cruzado para efetuar esta separação, nas seguintes condições de operação:

- Vapor: 0,1 kmol/s, com 18% (molar) de metanol.
- Líquido: 0,25 kmol/s, com 15% (massa) de metanol.
- Pressão e temperatura da coluna: 1 atm, 95°C.
- Densidade mássica média da mistura líquida: 961 kg/m^3.
- Tensão superficial média da mistura líquida: 0,04 N/m.
- Viscosidade média do vapor: $1{,}25 \cdot 10^{-5}$ Pa s.

Respostas: $d_c = 1{,}1$ m e $z = 16{,}25$ m.

Exercício 2

(Azevedo e Alves, 2013, Problema 8.3)

É necessário purificar a 20 °C uma corrente de ar com vazão de 0,4 kmol/s e uma fração molar de acetona de 0,015. Esta concentração deve ser reduzida até 0,0015 por absorção com 0,75 kmol/s de água.

a) Calcule a composição da corrente líquida à saída da coluna.
b) Usando a equação de Kremser, determine o número de pratos reais necessários, se a eficiência global da coluna for 0,35.
c) Estime o diâmetro da coluna, se forem usados pratos perfurados em que o comprimento do dique é 70% do diâmetro da coluna, o que significa que cada conduta descendente ocupa 8,8% da seção da coluna.

São dadas as densidades médias (kg/m^3) de 1,2 para o vapor e 1 000 para o líquido; e o equilíbrio líquido-vapor do sistema acetona–água a 20 °C (na faixa de concentrações onde é válida a lei de Henry) como $y = 1{,}75x$.

Respostas: $x_N = 0{,}067$, $N = 20$ e $d_c = 2{,}3$ m.

Exercício 3

(Azevedo e Alves, 2013, Problema 8.1)

Uma coluna de destilação de pratos perfurados é usada para separar uma mistura de hidrocarbonetos. A corrente de vapor no fundo da coluna é 21 000 kg/h e a de líquido é 19 500 kg/h. Sabendo que o espaçamento entre pratos é de 24 polegas e que a coluna opera a 75% das condições de inundação, determine o diâmetro da coluna.

São dadas as densidades médias (kg/m^3) de 3,68 para o vapor e 673 para o líquido; e a tensão superficial média do líquido de 22,5 dyn/cm.

Resposta: 1,4 m.

Exercício 4

(Azevedo e Alves, 2013, Problema 8.6)

Destilam-se 0,1 kmol/s de uma mistura benzeno–tolueno a 283 K com uma fração molar de benzeno de 0,3 para obter uma fração molar de benzeno de 0,95 no destilado e uma fração molar de 0,94 de tolueno no fundo.

a) Determine o número de estágios teóricos necessários para cada seção da coluna, para uma razão de refluxo 1,3 vezes a razão de refluxo mínima.
b) Calcule as vazões do destilado e do resíduo e as vazões internas do líquido e do vapor nas duas seções da coluna.
c) Estime o diâmetro da coluna, admitindo que cada conduta descendente ocupa 8,8% da seção da coluna.
d) Determine a altura da coluna sabendo que a eficiência global da coluna é 0,75 e que o espaçamento entre pratos (de 5 mm de espessura) é de 0,6 m.

São dadas a volatilidade relativa benzeno–tolueno de 2,45; as entalpias de vaporização (kJ/mol) de 32,2 para o benzeno e 31,2 para o tolueno; temperatura de ebulição (mistura de composição $z = 0{,}3$) de 375 K; a massa molar média de 85 g/mol para o vapor e o calor específico médio de 161,5 kJ/(kmol·K) para o líquido; as densidades médias (kg/m^3) de 0,6 para o vapor e 920 para o líquido; e a constante de inundação, $C_f = 0{,}12$ m/s.

Respostas: $N_{\text{retif}} = 9$, $N_{\text{esgot}} = 4$, $D = 27$ mol/s, $W = 73$ mol/s, $V = 79$ mol/s, $L = 52$ mol/s, $\overline{V} = 126$ mol/s, $\overline{L} = 199$ mol/s, $d_c = 2{,}6$ m e $z = 12{,}7$ m.

Formulário

- Diâmetro do Prato, d_c:
  ($d_o = 3$–12 mm, habitual: 4,5 mm)

$$\frac{A_o}{A_a} = 0{,}907\left(\frac{d_o}{p}\right)^2 \tag{1}$$

$$v_f = C_f\left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}\right)^{0{,}5} \tag{2}$$

$$C_f = \left[\alpha \log\left(\frac{1}{\Psi}\right) + \beta\right]\left(\frac{\sigma}{0{,}02}\right)^{0{,}2} \tag{3}$$

$$\Psi = \frac{L'}{G'}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0{,}5} \tag{4}$$

Quando $A_o/A_a \geq 0{,}1$ e $0{,}01 \leq \Psi \leq 1{,}0$, então:

$$\alpha(t) = 0{,}0744t + 0{,}01173 \tag{5}$$

$$\beta(t) = 0{,}0304t + 0{,}015 \tag{6}$$

sendo $0{,}15 \leq t \leq 0{,}9$ m.

Tabela 1: Relações de d_c e t.

d_c (m)	t (m)
—	$\geq 0{,}15$
≤ 1	0,50
1–3	0,60
3–4	0,75
4–8	0,90

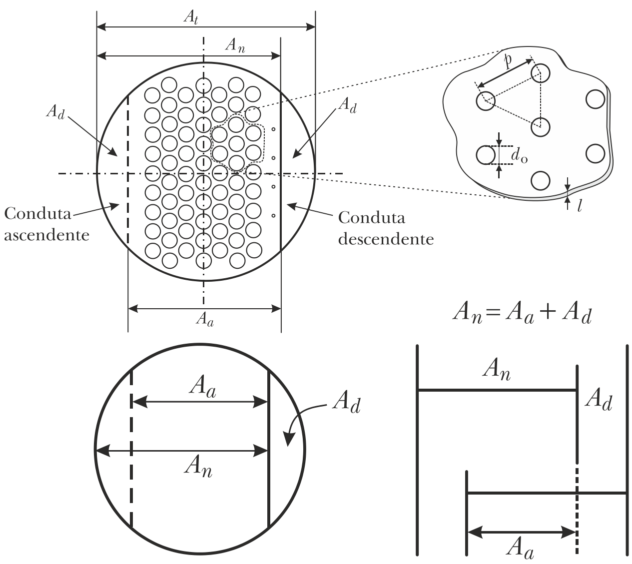

Figura 1: Áreas de um prato perfurado.

$$A_n = \frac{Q_G}{v_{op}} \tag{7}$$

$$A_n = A_t - A_d = A_t(1-\eta) \tag{8}$$

$$A_t = \frac{\pi d_c^2}{4} \tag{9}$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4Q_G}{\pi(1-\eta)v_{op}}} \tag{10}$$

sendo $v_{op} = (0{,}7$–$0{,}8)\cdot v_f$, $p = (2{,}5$–$5)\cdot d_o$. Recomenda-se $d_c \geq 0{,}75$ m.

Tabela 2: Dimensões recomendadas.

w	Z	η (%)
$0{,}553d_c$	$0{,}4181d_c$	3,877
$0{,}60d_c$	$0{,}3993d_c$	5,257
$0{,}65d_c$	$0{,}2516d_c$	6,899
$0{,}70d_c$	$0{,}3562d_c$	8,8808
$0{,}75d_c$	$0{,}3296d_c$	11,255
$0{,}80d_c$	$0{,}1991d_c$	14,145

- Perdas de Carga no Prato, h_{tot}:

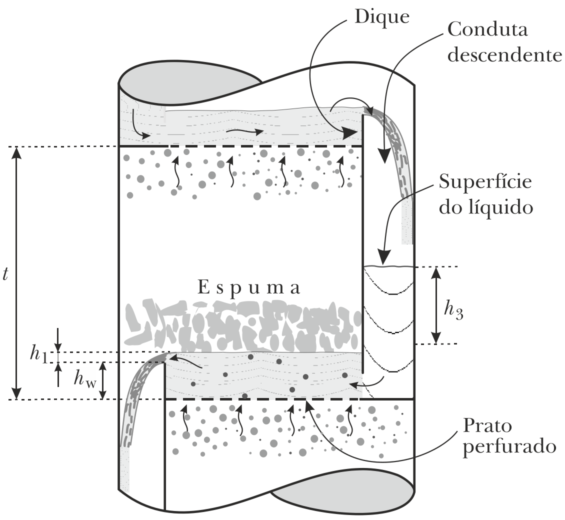

Figura 2: Coluna de pratos perfurados.

$$h_{tot} = h_3 + (h_1 + h_w) \tag{11}$$

$$h_3 = h_2 + h_G \tag{12}$$

$$h_2 = \frac{3}{2g}\left(\frac{Q_L}{A_{da}}\right)^2 = \frac{3}{2g}(v_{da})^2 \tag{13}$$

$$h_G = h_D + h_L + h_\sigma \tag{14}$$

$$A_a = A_t - 2A_d \tag{15}$$

$$\frac{A_a}{A_t} = 1 - 2\eta \tag{16}$$

onde $0{,}05 \leqslant (h_1 + h_w) \leqslant 0{,}1$ m.

Tabela 3: Relações de A_a/A_t (área ativa) e d_c.

d_c (m)	A_a/A_t
1,0	0,65
1,25	0,70
2,0	0,74
2,5	0,76
3,0	0,78

$$h_D = C_o\left(\frac{v_o^2\rho_G}{2g\rho_L}\right)\left[0{,}4\left(1{,}25 - \frac{A_o}{A_n}\right) + \frac{4f\,l}{d_o} + \left(1 - \frac{A_o}{A_n}\right)^2\right] \tag{17}$$

$$C_o = 1{,}09\left(\frac{d_o}{l}\right)^{0{,}25} \tag{18}$$

onde $v_o = Q_G/A_o$ e f é o fator de atrito de Fanning.

Tabela 4: Relações de d_o e l.

d_o (mm)	l/d_o	
	aço inox	aço-carbono
3,0	0,65	–
4,5	0,43	–
6,0	0,32	–
9,0	0,22	0,50
12,0	0,16	0,38
15,0	0,17	0,30
18,0	0,11	0,25

$$h_1 = \left(\frac{Q_L}{1{,}839w}\right)^{2/3} \quad \text{para } \frac{w}{d_c} \geq 0{,}7 \tag{19}$$

$$h_L = 0{,}0061 + 0{,}725h_w - 0{,}283h_w v_a \rho_G^{0,5} + 1{,}225\frac{Q_L}{\mathcal{Z}} \tag{20}$$

$$h_\sigma = \frac{6\sigma}{\rho_L\, g\, d_{B,\text{máx}}} \tag{21}$$

$$\frac{t}{2} \geq h_{tot} \tag{22}$$

onde $v_a = Q_G/A_a$ e $\mathcal{Z} = (d_c + w)/2$.

- Gotejamento, v_{ow}:

$$\frac{v_{ow}\mu_G}{\sigma} = 0{,}0229\left(\frac{\mu_G^2\rho_L}{\sigma\rho_G^2 d_o}\right)^{0,379}\left(\frac{l}{d_o}\right)^{0,293}\left(\frac{2A_a d_o}{\sqrt{3}\,p^3}\right)^{2,8/(Z/d_o)^{0,724}} \tag{23}$$

- Arrastamento de Líquido, ψ:

$$\psi = \frac{\text{vazão de líquido arrastado}}{\text{vazão total de líquido}} = \frac{e}{L+e} \tag{24}$$

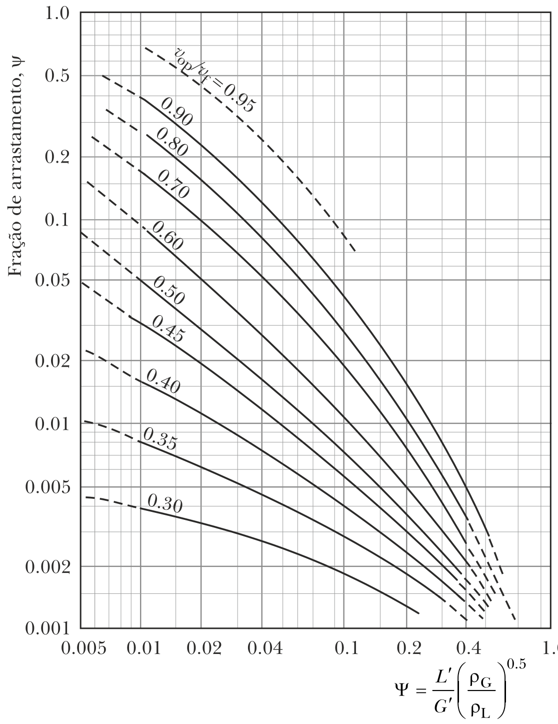

Figura 3: Fração de arrastamento, ψ, em colunas de pratos perfurados.

- Altura da Coluna, z:

$$z = (N_c - 1)t + \Delta h + N_c\, l \tag{25}$$

onde N_c é o nº real de pratos e Δh é uma altura adicional de compensação (1,8 m no fundo e 1,2 m no topo da coluna). Recomenda-se $z/d_c = 20$ e nunca maior do que 30.