

Destilação Binária em Batelada

Prof. Rodolfo Rodrigues
Universidade Federal do Pampa

BA310 – Operações Unitárias II
Curso de Engenharia Química
Campus Bagé

3 de setembro de 2018



Destilação Batelada

São de 2 tipos:

- 1 Destilação batelada em um único estágio** ou **Destilação batelada simples** ou **Destilação diferencial**;
- 2 Destilação batelada em múltiplos estágios.**



Destilação Batelada

- Utiliza-se a **destilação batelada** quando se pretende:
 - Produzir poucas quantidades ou composições variáveis de destilado;
 - Destilar esporadicamente, p. ex., quando a mistura a separar é produzida sazonalmente;
 - Usar o mesmo equipamento para destilar diferentes produtos.
- A destilação batelada pode ser realizada com 2 objetivos:
 - Obter um determinado grau de pureza no destilado ou no resíduo.
 - Destilar uma determinada quantidade da mistura inicial.



Destilação Batelada Simples



Destilação Batelada Simples

Destilação Batelada Simples ou Diferencial

- 1** A carga, F , é introduzida no refeedor onde é aquecida e vaporizada;
- 2** O vapor formado (rico no mais volátil) é condensado e recolhido — o destilado, D ;
- 3** O líquido que permanece no refeedor, rico no menos volátil, é o resíduo, W .

Obs.: Por ser um processo em batelada (descontínuo), F , W e D representam quantidades (mol ou kg) e **não** vazões.



Destilação Batelada Simples

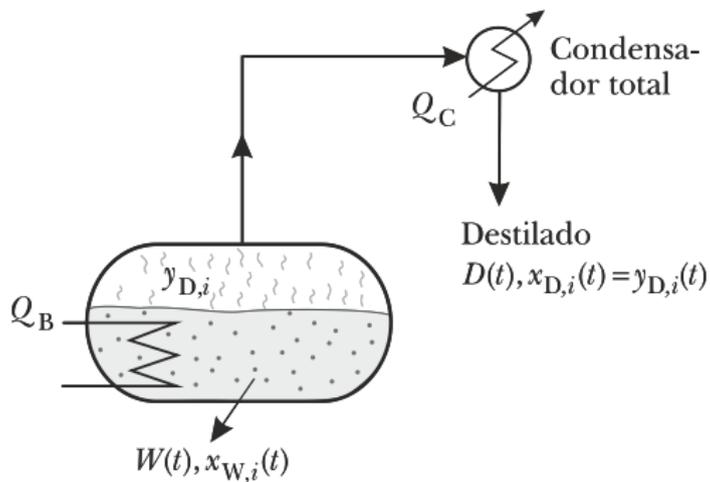
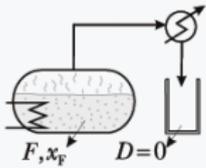
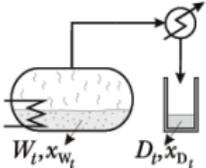
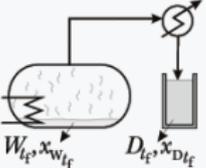
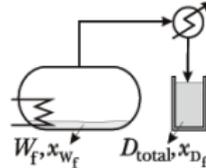


Figura 1: Destilação diferencial ou em batelada com um único estágio.

Fonte: Azevedo & Alves (2013).

Destilação Batelada Simples

Tabela 1: Dinâmica da destilação binária em batelada com um único estágio.

	Início, $t = 0$	Instante t	Final, $t = t_f$	Final, $t > t_f$
				
Tempo de operação	0	t	t_f	$t > t_f$
Quantidades no resíduo	F	$W_{t=t}$	$W_{t=t_f}$	$W_{\text{final}} = W_f = W_{t=t_f}$
Composições no resíduo	x_F	$x_{W(t=t)}$	$x_{W(t=t_f)}$	$x_{W_f} = x_{W(t=t_f)}$
Quantidades no destilado	0	$D_{t=t}$	$D_{t=t_f}$	$D_{\text{total}} = D_f = D_{t=t_f}$
Composições no destilado	–	$x_{D(t=t)}$	$x_{D(t=t_f)}$	x_{D_f}

Fonte: Azevedo & Alves (2013).

Destilação Batelada Simples

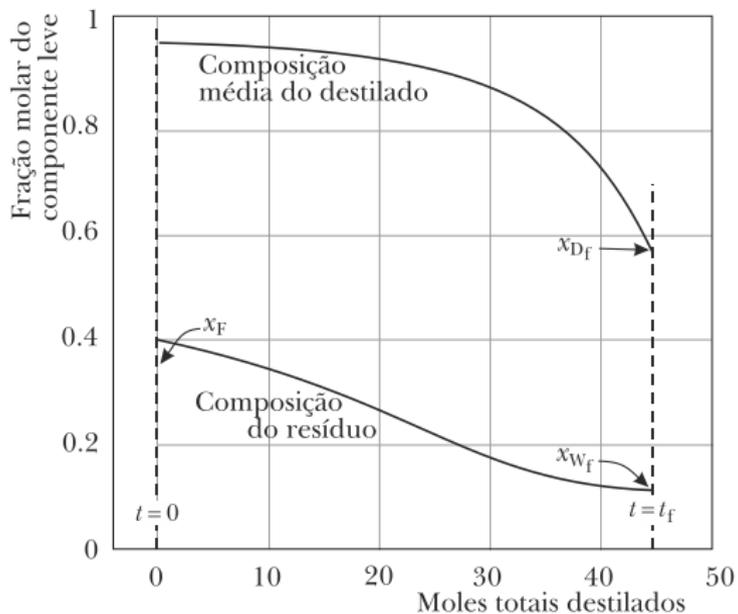


Figura 2: Dinâmica das composições de destilado e resíduo em uma destilação binária em batelada. A ebulição inicia-se em $t = 0$ e termina em $t = t_f$

Fonte: Azevedo & Alves (2013).



Destilação Batelada Simples

Em um problema típico de destilação batelada, sabe-se:

- A quantidade e a composição da carga inicial.

e deseja-se determinar:

- 1 A quantidade e a composição do destilado.
- 2 A quantidade e a composição do resíduo.
- 3 A energia que é necessária fornecer ao refeedor.
- 4 O tempo que demora a destilação.



Destilação Batelada Simples

Equação de Rayleigh

$$\ln \frac{W_f}{F} = \int_{x_F}^{x_{W_f}} \frac{dx_W}{y_D - x_W} \quad (1)$$

- O tempo está presente implicitamente pois tanto W_f como x_W são dependentes do tempo.
- Para integrar a equação é necessário conhecer a relação entre y_D e a variável de integração, x_W , através do ELV:
 - 1 Por **gráfico** ou **tabela**;
 - 2 Por **expressões analíticas**.

Destilação Batelada Simples

Passo-a-passo: Dados em Gráfico ou Tabela

- 1 Para valores de x , obter $f(x) = 1/(y - x)$, usando valores de x entre x_F e um **chute** para x_{W_f} ;
- 2 Determinar a área sob a curva desde $x = x_F$ até $x = x_{W_f}$, p. ex., pela **regra de Simpson simples**:

$$\int_{x_F}^{x_{W_f}} f(x) dx = \frac{x_{W_f} - x_F}{6} \left[f(x_{W_f}) + 4 \cdot f\left(\frac{x_{W_f} + x_F}{2}\right) + f(x_F) \right] \quad (2)$$



Destilação Batelada Simples

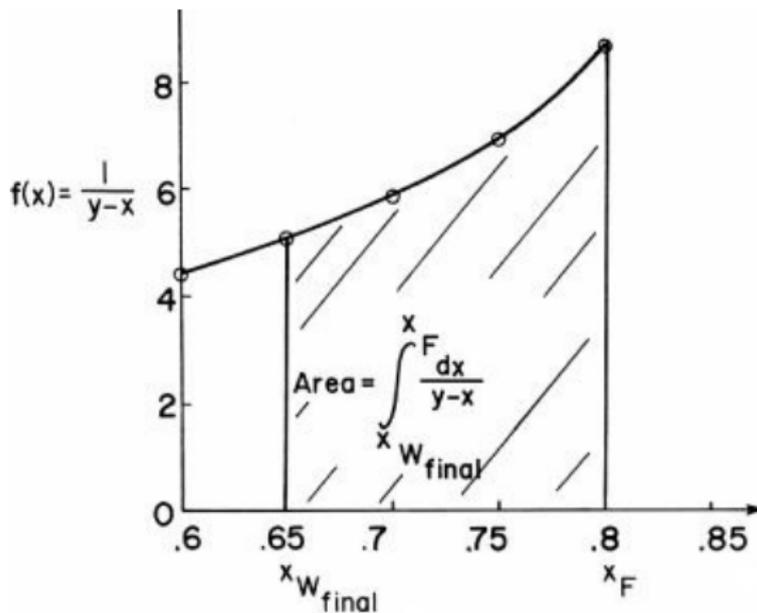


Figura 3: Representação da integração gráfica para destilação batelada simples. Exemplo 9-1 de Wankat (2012).

Fonte: Wankat (2012).



Destilação Batelada Simples

Passo-a-passo: Dados em Gráfico ou Tabela

- 3** Com a equação de Rayleigh, **dados** F e W_f (ou $D_f = F - W_f$) tem-se:

$$\ln \frac{W_f}{F} = \left[\begin{array}{l} \text{área sob a curva} \\ \text{entre } x_F \text{ e } x_{W_f} \end{array} \right] \quad (3)$$

- 4** Comparar o valor calculado (lado direito da eq. 3) com o valor pretendido (lado esquerdo da eq. 3). Se for diferente, repetir os passos para um **novo** x_{W_f} .



Destilação Batelada Simples

Passo-a-passo: Dados em Gráfico ou Tabela

- 5 Obter a quantidade total de destilado produzida:

$$D_{\text{total}} = D_f = F - W_f \quad (4)$$

- 6 Determinar a composição média do destilado a partir de um balanço por componente:

$$x_{D_f} = \frac{x_F F - x_{W_f} W_f}{F - W_f} \quad (5)$$



Destilação Batelada Simples

Passo-a-passo: Expressões Analíticas

- 1 Dado α (**constante**), ELV pode ser expresso por:

$$y_D = x_D = \frac{\alpha \cdot x_W}{1 + (\alpha - 1)x_W} \quad (6)$$

Assim, a eq. de Rayleigh tem solução analítica:

$$\ln \frac{x_{W_f} W_f}{x_F F} = \alpha \ln \left[\frac{(1 - x_{W_f}) W_f}{(1 - x_F) F} \right] \quad \text{ou} \quad (7)$$

$$\ln \frac{W_f}{F} = \frac{1}{\alpha - 1} \ln \left[\frac{x_{W_f} (1 - x_F)}{x_F (1 - x_{W_f})} \right] + \ln \left(\frac{1 - x_F}{1 - x_{W_f}} \right) \quad (8)$$

Destilação Batelada Simples

Passo-a-passo: Expressões Analíticas

- 2** Dado **K (independente da composição)**, ELV pode ser expresso por:

$$y_D = x_D = K \cdot x_W \quad (9)$$

Assim, a eq. de Rayleigh tem solução analítica:

$$\ln \frac{W_f}{F} = \frac{1}{K-1} \ln \frac{x_{W_f}}{x_F} \quad (10)$$



Destilação Batelada por Estágios



Destilação Batelada por Estágios

- Quando a **destilação simples** não permite atingir a composição de destilado desejada, é colocada sobre o refulvador uma **coluna de destilação** por estágios.
- Nesta operação, parte da corrente de destilado **retorna** à coluna para **retificação**.
- Ao contrário da **destilação contínua**, não há uma **seção de esgotamento**.
- Uma vez que há refluxo, para cada instante x_D e x_W **não estão em equilíbrio** pois estão separados por $N - 1$ estágios.



Destilação Batelada por Estágios

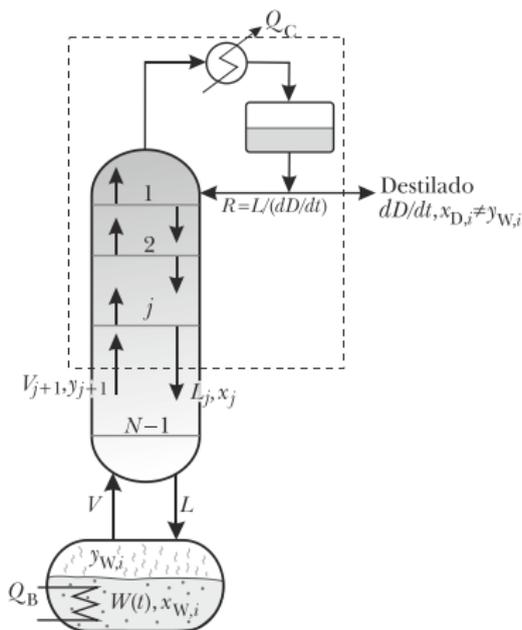


Figura 4: Destilação batelada por N estágios. Neste caso, L/V ou x_D (ou ambos) variam durante a destilação.

Fonte: Azevedo & Alves (2013).



Destilação Batelada por Estágios

Método (Gráfico) de McCabe-Thiele

Linha de operação de retificação:

$$y = \left(\frac{R}{R+1} \right) x + \frac{x_D}{R+1} \quad (11)$$

- É a equação instantânea da única linha de operação.
- As variáveis envolvidas variam com o tempo gerando diferentes linhas de operação:
 - a Operação com **R constante** mas **x_D variável** (usual) e
 - b Operação com **x_D constante** mas **R variável**.

Destilação Batelada por Estágios

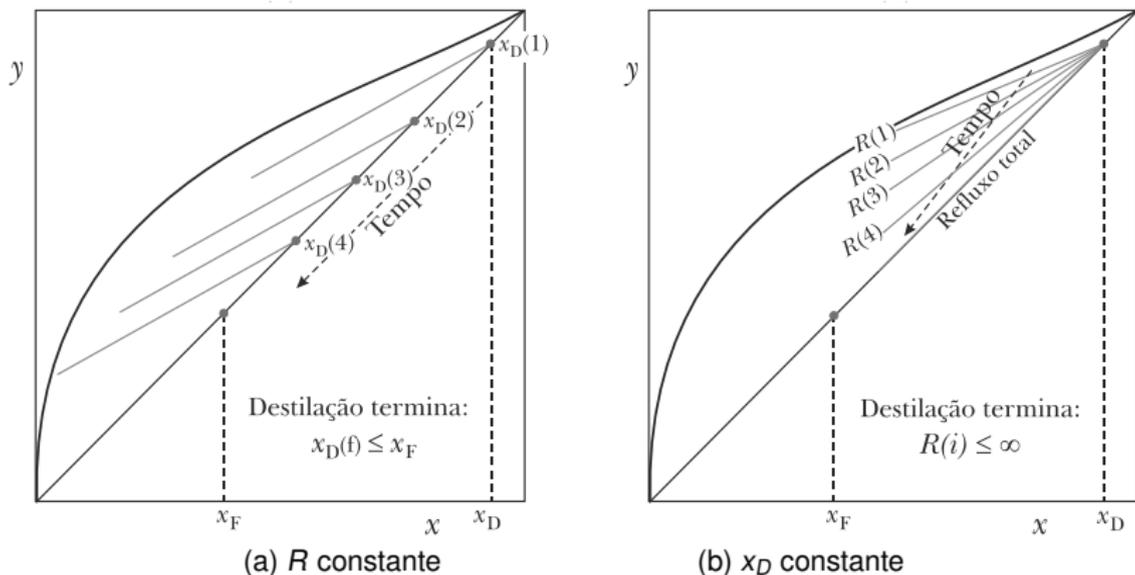


Figura 5: Opções de destilação batelada por estágios: (a) razão de refluxo constante (x_D varia); (b) composição de topo x_D constante (R varia).

Fonte: Azevedo & Alves (2013).

Destilação Batelada por Estágios

Método (Gráfico) de McCabe-Thiele

(a) Operação a refluxo constante: (Passo-a-passo)

- 1 Traçar várias linhas de operação com mesma inclinação $R/(R + 1)$ a partir de diferentes valores de x_D ;
- 2 Marcar os N estágios especificados para cada linha de operação;
- 3 Para cada instante, usar os pares x_D e x_W para calcular $1/(x_D - x_W)$ e resolver a eq. de Rayleigh;
- 4 Seguir o procedimento até atingir o objetivo da operação: determinar D_f , $x_{D,f}$, $x_{W,f}$, ou ainda t_f .
Obs.: O refeedor conta como um estágio de equilíbrio.



Destilação Batelada por Estágios

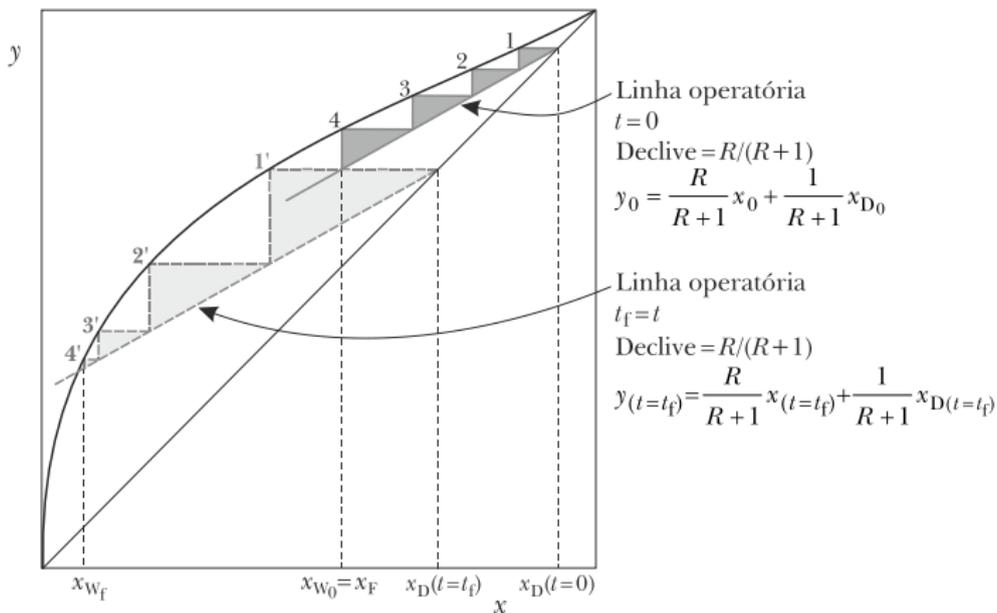


Figura 6: Representação de destilação batelada por estágios com R constante pelo método de McCabe-Thiele.



Fonte: Azevedo & Alves (2013).

Destilação Batelada por Estágios

Método (Gráfico) de McCabe-Thiele

(b) Operação a x_D constante: (Passo-a-passo)

- 1 Traçar várias linhas de operação a partir de um único x_D com diferentes inclinações $R/(R + 1)$;
- 2 Marcar os N estágios especificados para cada linha de operação e encontrar x_W ;
- 3 Seguir o procedimento até x_W atingir o valor desejado: x_F relativo a R_0 ou $x_{W,f}$ relativo a R_f .
Obs.: O refeedor conta como um estágio de equilíbrio.



Destilação Batelada por Estágios

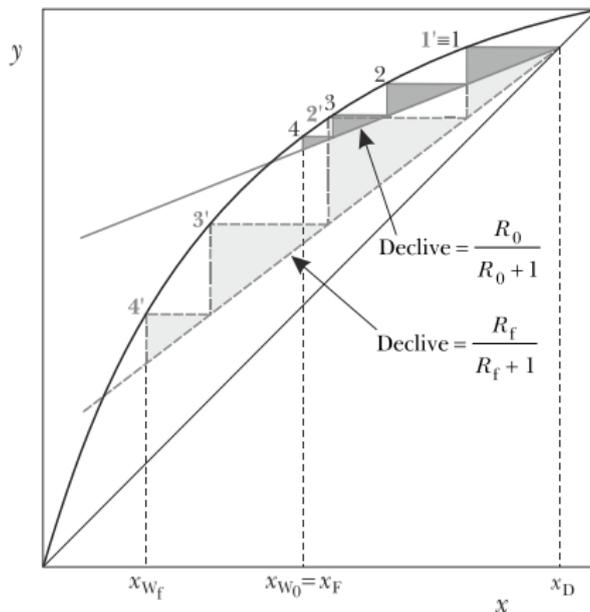


Figura 7: Representação de destilação batelada por estágios com x_D constante pelo método de McCabe-Thiele.

Fonte: Azevedo & Alves (2013).

Referências

- AZEVEDO, E. G.; ALVES, A. M. **Destilação Descontínua**. In: _____. (Org.). *Engenharia de Processos de Separação*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2013, p. 259-297.
- DUTTA, B. K. **Batch Distillation**. In: _____. (Org.). *Principles of Mass Transfer and Separation Process*. New Delhi: Prentice Hall of India, 2007, p. 353-359.
- GEANKOPLIS, C. J. **Simple Batch or Differential Distillation**. In: _____. (Org.). *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)*. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003, p. 702-704.



Referências

- HENLEY, E. J.; SEADER, J. D.; ROPER, D. K. **Batch Distillation**. In: _____. (Org.). *Separation Process Principles*. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011, p. 514-519.
- McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Batch Distillation**. In: _____. (Org.). *Unit Operations of Chemical Engineering*. 7. ed. Boston: McGraw-Hill, 2005, p. 724-727.
- WANKAT, P. C. **Batch Distillation**. In: _____. (Org.). *Separation Process Engineering Includes Mass Transfer Analysis*. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2012, p. 327-354.

