

Fenômenos de Transporte III

Aula 12

Prof. Gerônimo

Determinação do diâmetro da torre de recheio

Na determinação do diâmetro de uma torre de absorção recheada e irrigada por uma determinada vazão de líquido, existe um limite superior para a vazão de gás de alimentação. A velocidade do gás correspondente a este limite é chamada de *velocidade de inundação (Flooding)*. A *velocidade de inundação* está com $\Delta P/z$ entre 2,0 e 3,0 in H₂O/ft recheio.

- ◆ A queda de pressão ao longo da coluna ($\Delta P/z$) depende da velocidade ou fluxo do gás (Figura 1);
- ◆ Com o aumento da velocidade do gás, ocorre o retardamento ao escoamento do líquido em contracorrente;
- ◆ O líquido começa a ficar retido na coluna diminuindo a área da seção da coluna disponível ao fluxo do gás;
- ◆ O aumento contínuo do fluxo de gás conduzirá à inundação da coluna;
- ◆ O fluxo do gás deve estar entre 40-80% da velocidade de inundação para que isto não ocorra.

Perdas de carga em colunas de enchimento

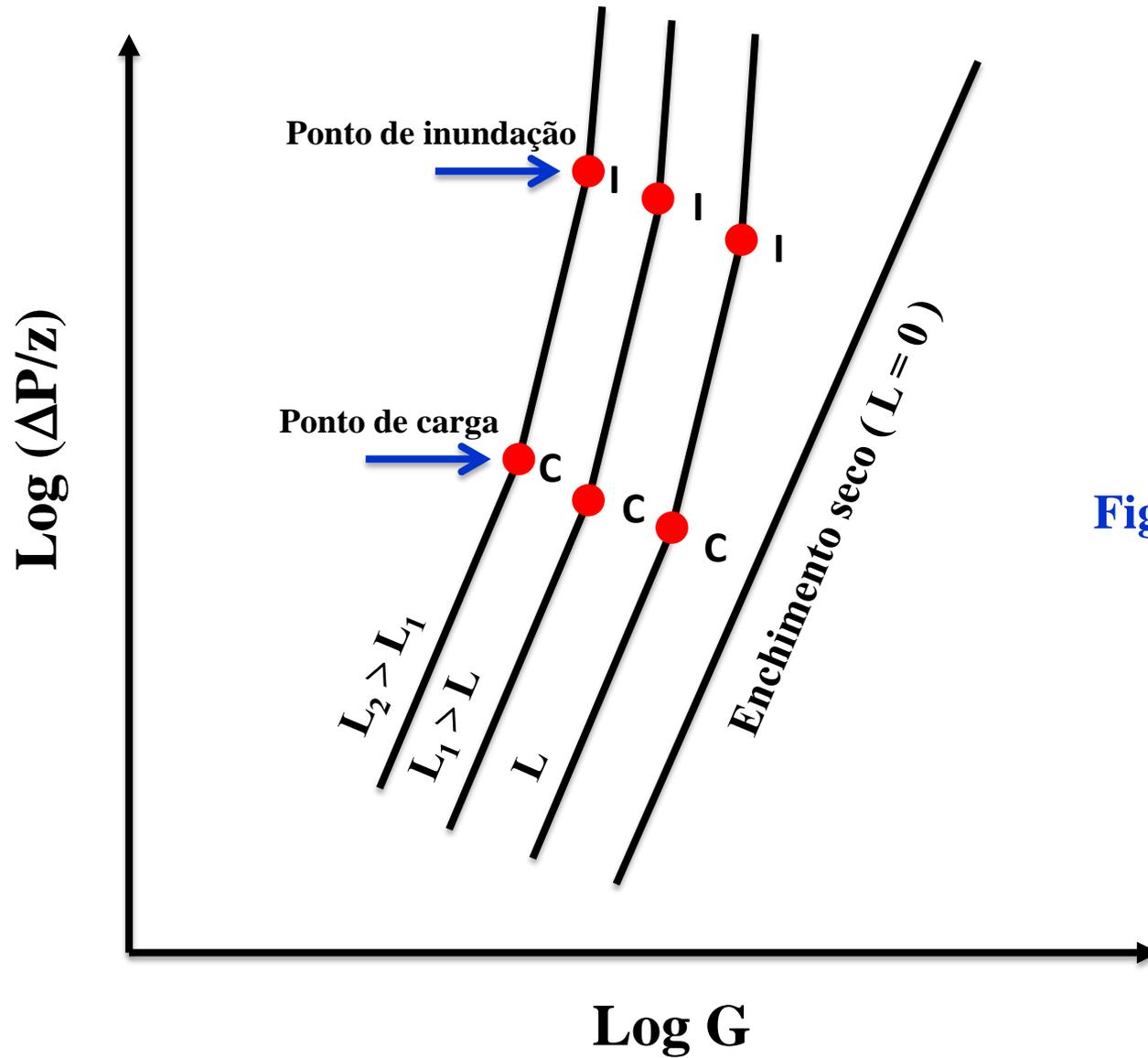


Figura 1

Perdas de carga em colunas de enchimento

Para um dado valor de G , a perda de carga é maior quando se alimenta líquido do que no caso de enchimento seco porque uma parte da seção disponível para escoamento do gás é agora ocupada pelo líquido que desce pelo enchimento. Se a vazão de líquido for mantida constante, verifica-se que a perda de carga continua variando aproximadamente com a potência 1,8 da vazão de gás. Para outras vazões de líquido, outras retas serão obtidas, cada uma com coeficiente angular da ordem de 1,8, como indica a Figura 1.

Para cada valor de L , se a vazão G for aumentando progressivamente, um certo ponto C será atingido, a partir do qual a perda de carga começa a variar rapidamente com G . Esse ponto é chamado *ponto de carga*, sendo notado apenas por uma quebra na reta que representa $\Delta P/z$ em função de G para L fixo.

Se a vazão de gás continuar aumentando, a retenção de líquido será cada vez maior e uma segunda quebra aparece na curva. É o *ponto de inundação*. Agora uma série de alterações podem ser observadas:

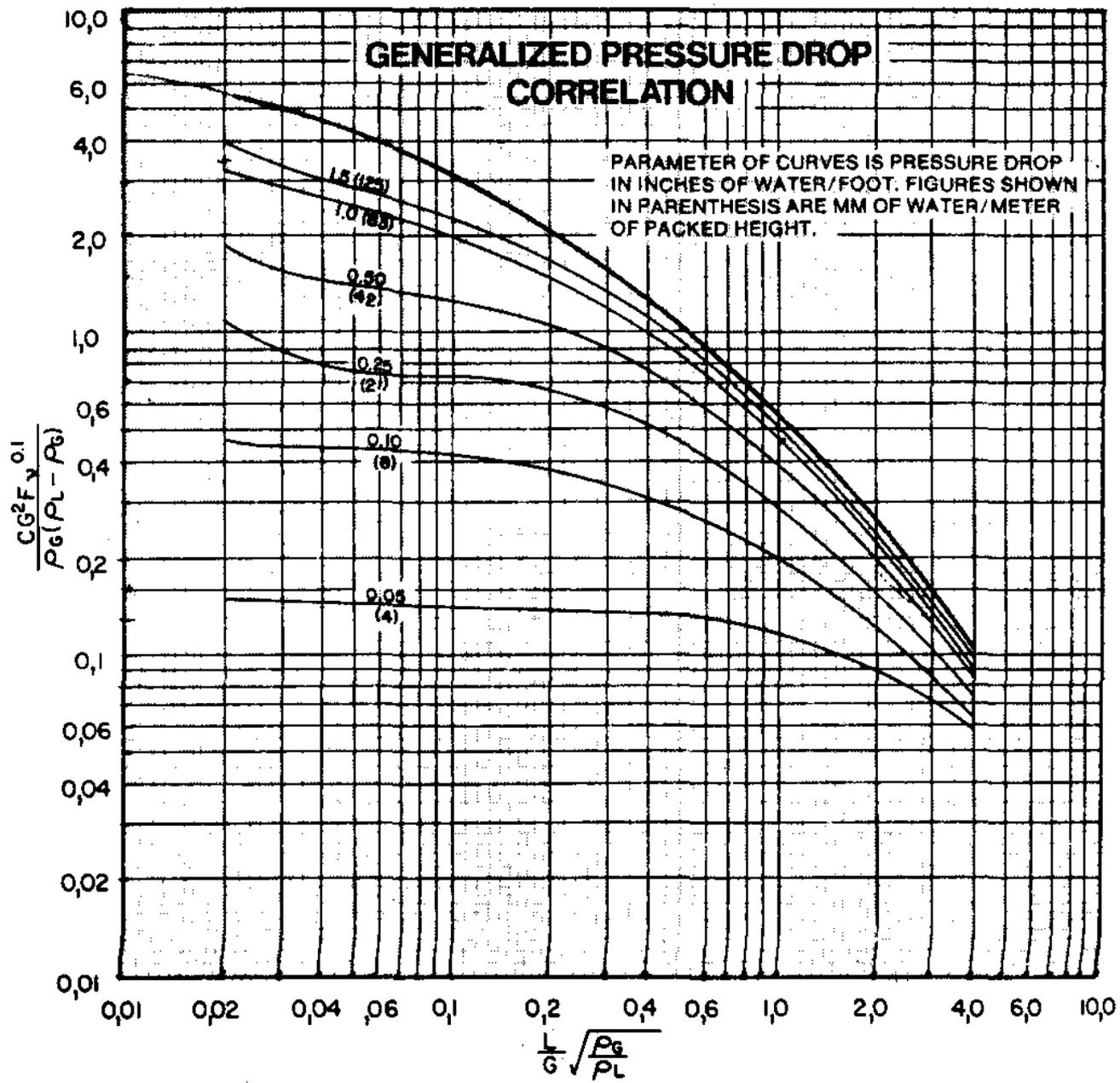
- 1º) uma camada de líquido, através da qual o gás borbulha, pode aparecer no topo do enchimento;
- 2º) o líquido pode encher totalmente a torre e a situação se altera totalmente, pois o gás, que era uma fase contínua, passa a borbulhar através do líquido que então constituía a fase contínua;
- 3º) bolsas de espuma podem subir pelo enchimento.

Determinação do diâmetro da torre de recheio

O fluxo ou velocidade de inundação pode ainda ser obtida por meio gráfico baseada na correlação de *Sherwood*. Neste gráfico, a abscissa é calculada à partir dos fluxos de processo (líquido e gás) e a ordenada à partir do ponto de inundação correspondente.

O fluxo de operação para o gás, em princípio, deve ser calculada pela otimização da torre. É comum, em função da experiência do projetista, utilizar-se o critério de arbitrar uma certa porcentagem do fluxo de inundação para o fluxo de operação do gás. Isto porque, para vários sistemas este fluxo calculado excede o fluxo de inundação.

À seguir, é apresentado o gráfico da correlação de *Sherwood*.



Perda de carga

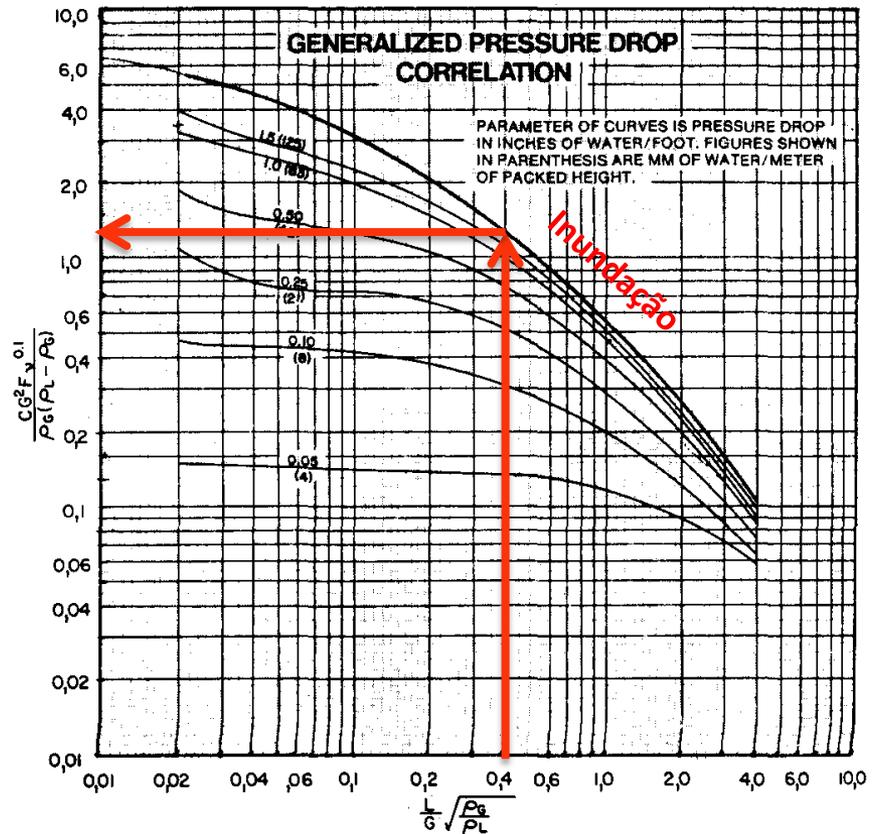
$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\text{in de H}_2\text{O}}{\text{ft de recheio}}$$

Abscissa : $\frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$

Ordenada : $\frac{C G^2 F_v^{0,1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)}$

Dois importantes parâmetros podem ser determinados a partir da figura:

- (A) O diâmetro da coluna ou torre (D_T);
- (B) A queda de pressão por unidade de altura de enchimento ($\Delta P/z$).



$\Delta P/z$ depende: vazão, densidade, viscosidade do líquido e do gás e do tipo de enchimento

$$\text{Abcissa : } \frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$$

$$\text{Ordenada : } \frac{C G^2 F v^{0,1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)}$$

Propriedades	Símbolos	Unidade Inglesa	Unidade Métrica
Fluxo do gás	G	Lbs/ft ² .s	Kg/m ² .s
Fluxo do líquido	L	Lbs/ft ² .s	Kg/m ² .s
Densidade do gás	ρ_G	Lbs/ft ³	Kg/m ³
Densidade do líquido	ρ_L	Lbs/ft ³	Kg/m ³
Viscosidade cinemática do líquido	$v = \mu/\rho$	Centistokes	Centistokes
Fator de conversão	C	1,0	10,764
Fator de recheio	F	Tabelado	Tabelado

1 Centistokes (cSt) = 0,01 cm²/s

1 Centipoise (cP) = 0,01 Poise (P) = 0,01 g/cm.s = 0,001 kg/m.s

1 g/cm³ = 62,4278 lbs/ft³

Caracterização do recheio - o recheio é caracterizado pelo diâmetro nominal (d), área específica (a) e porosidade (ϵ). É representado por F na tabela a seguir:

Fator de Recheio (F)

Packing Factors $\sim a/\epsilon^3$ (ft^{-1})
(DUMPED PACKING)

Packing Type	Mat'l.	Nominal Packing Size (Inches)										
		¼	⅜	½	⅝	¾	1 or #1	1¼	1½	2 or #2	3	3½ or #3
Hy-Pak™	Metal						43			18		15
Super Intalox® Saddles	Ceramic						60			30		
Super Intalox Saddles	Plastic						33			21		16
Pall Rings	Plastic				97		52		40	24		16
Pall Rings	Metal				70		48		33	20		16
Intalox® Saddles	Ceramic	725	330	200		145	92		52	40	22	
Raschig Rings	Ceramic	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65	37	
Raschig Rings	⅜" metal	700	390	300	170	155	115					
Raschig Rings	⅜" metal			410	290	220	137	110	83	57	32	
Berl Saddles*	Ceramic	900		240		170	110		65	45		

Packing factors determined with an air-water system in 30" I.D. tower.

*Data by Leva

Correlação empírica para a queda de pressão em leitos molhados

Quando a operação da torre está abaixo da região de retenção dinâmica de líquido, Leva (1953) propõe a utilização da seguinte correlação:

$$\frac{\Delta P}{z} = \gamma(10)^{\Phi L/\rho_L} \left(\frac{G^2}{\rho_G} \right)$$

Leva, M. *Tower Packing and Packed Tower Desing*. U.S. Stoneware, Akron, Ohio, 1953

Leva, M. *Chem. Eng. Progr. Symp. Ser.*, 50(10), 51-59, 1954

ΔP = variação de pressão, lbf/ft² (Psf)

z = altura do recheio, ft

Φ, γ = constantes para cada tipo de recheio (Tabela)

L = vazão mássica superficial da água, lb/h.ft²

ρ_L = massa específica da água, lb/ft³

Tabela: Constantes para queda de pressão em torre de recheios

Tipo de Recheio	$\gamma \times 10^8$	$\Phi \times 10^3$	L (lb/h.ft²)
Anéis Raschig			
½ in	139	7,2	300 – 9.000
¾ in	33	4,5	2.000 – 11.000
1 in	32	4,3	400 – 27.000
1 ½ in	12	4,0	700 – 18.000
2 in	11	2,3	700 – 22.000
Selas Berl			
½ in	60	3,4	300 – 14.000
¾ in	24	3,0	400 – 14.000
1 in	16	3,0	700 – 29.000
1 ½ in	8	2,3	700 – 22.000
Selas Intalox			
1 in	12	2,8	2.500 – 14.000
1 ½ in	6	2,3	2.500 – 14.000

Fonte: Leva, M. *Chem. Eng. Progr. Symp. Ser.*, 50(10), 51-59, 1954

Obtenção do ponto de operação a partir da correlação de *Sherwood* (gráfico):

- 1- Determinar a abscissa a partir das condições de topo ou de fundo da torre;**
- 2- Localizar no gráfico o ponto de inundação (*flooding*);**
- 3- Determinar a ordenada e daí G_I (fluxo de inundação);**
- 4- Calcular G_{op} arbitrando um percentual do *fluxo de inundação* (varia entre 40 e 80% dependendo do sistema);**

$$G_{op} = (0,4 \text{ a } 0,8)G_I$$

- 5- Com G_{op} calcula-se o diâmetro da torre:**

$$D_T = \sqrt{\frac{4 \times \text{Vazão mássica do gás}}{\pi G_{op}}}$$

Exemplo 07: Determinar o diâmetro e a altura de recheio de uma coluna de absorção a ser instalada numa destilaria autônoma de álcool (capacidade para 100.000 litros de álcool por dia) junto às dornas de fermentação com o objetivo de recuperar o álcool arrastado pelo CO₂ (1,5% em volume de etanol) através da lavagem com água em uma coluna de recheio. A recuperação de etanol deve ser de 99%. Deseja-se saber também a potência do soprador em Watts (W).

Dados:

- Condições de operação da coluna: 35 °C e 1 atm (760mmHg);
- Vazão molar de gás (CO₂ + etanol) na alimentação: 90 kmol/h;
- Consumo de água: 30% maior que a mínima;
- Velocidade do gás na coluna: 80% da velocidade de inundação;
- Recheio: Anéis *Pall* de 2 in (plástico);
- Relação de equilíbrio a 35 °C: $Y = 1,15X$
- Altura de uma unidade de transferência: $AUT = 2,0 + 0,9m(G_S/L_S)_{op}$ (ft);
- Densidade do álcool hidratado: $\rho_{\text{álcool}} = 0,8089$ g/cm³ a 35 °C

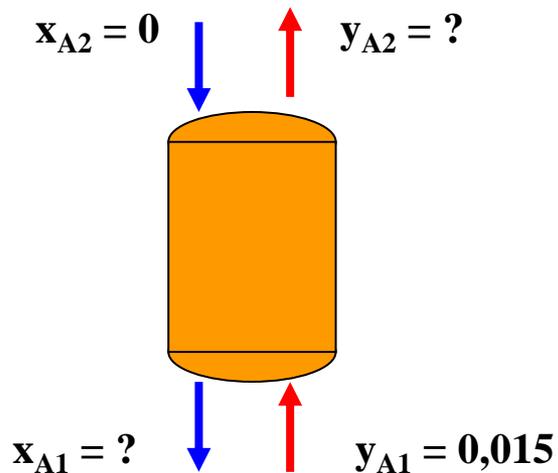
Solução:

$G = 90 \text{ kgmol/h (CO}_2 + \text{etanol)}$

$R = 99 \%$ de etanol

$y_{A1} = 0,015$

$x_{A1} = 0$



$$Y_{A_1} = \frac{y_{A_1}}{1 - y_{A_1}} = \frac{0,015}{1 - 0,015}$$

$$Y_{A_1} = 1,523 \times 10^{-2}$$

$$\text{Recuperação} = \left(\frac{Y_{A_1} - Y_{A_2}}{Y_{A_1}} \right) 100\%$$

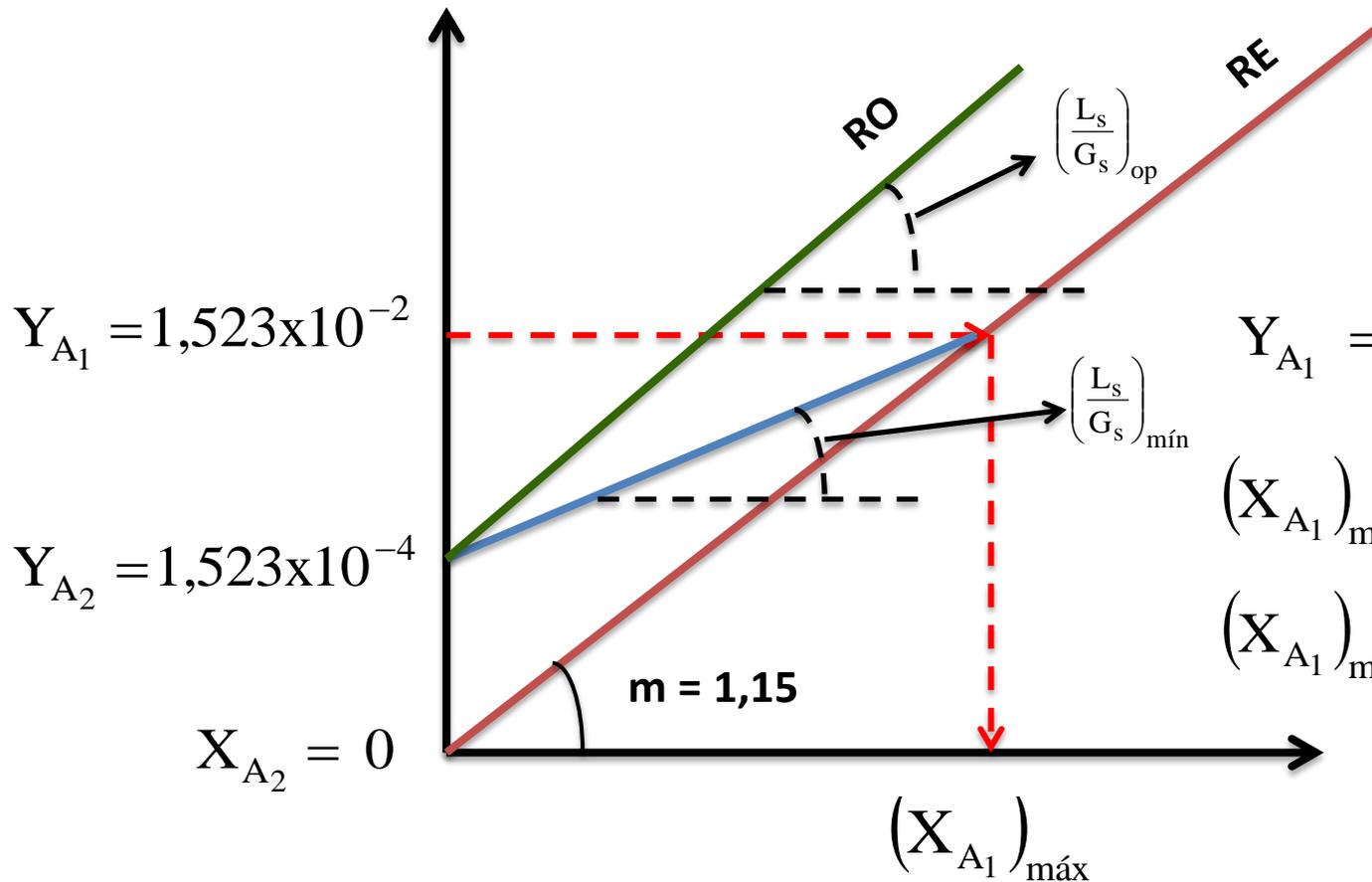
$$99\% = \left(\frac{0,01523 - Y_{A_2}}{0,01523} \right) 100\%$$

$$Y_{A_2} = 1,523 \times 10^{-4}$$

$$y_{A_2} = \frac{Y_{A_2}}{1 + Y_{A_2}} = \frac{1,523 \times 10^{-4}}{1 + 1,523 \times 10^{-4}}$$

$$y_{A_2} = 1,5228 \times 10^{-4}$$

Relação de equilíbrio a 35°C e 1 atm: $Y = 1,15X$



$$Y_{A1} = 1,15X_{A1}$$

$$(X_{A1})_{\text{m\u00e1x}} = \frac{Y_{A1}}{1,15} = \frac{0,01523}{1,15}$$

$$(X_{A1})_{\text{m\u00e1x}} = 1,324 \times 10^{-2}$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{mín}} = \frac{Y_{A_1} - Y_{A_2}}{X_{A_1} - X_{A_2}}$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{mín}} = \frac{1,523 \times 10^{-2} - 1,523 \times 10^{-4}}{1,324 \times 10^{-2} - 0}$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{mín}} = 1,139$$

O consumo de água é 30% maior do que o mínimo:

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{op}} = 1,3 \left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{mín}} = (1,3)(1,139)$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{op}} = 1,481$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{op}} = \frac{Y_{A_1} - Y_{A_2}}{X_{A_1} - X_{A_2}}$$

$$1,481 = \frac{1,523 \times 10^{-2} - 1,523 \times 10^{-4}}{X_{A_1} - 0}$$

$$1,481(X_{A_1}) = 1,508 \times 10^{-2}$$

$$1,481X_{A_1} = 1,508 \times 10^{-2}$$

$$X_{A_1} = 1,02 \times 10^{-2}$$

$$X_{A_1} = \frac{X_{A_1}}{1 + X_{A_1}} = \frac{1,02 \times 10^{-2}}{1 + 1,02 \times 10^{-2}}$$

$$X_{A_1} = 0,0101$$

$y_{A_1} = 0,015$	$x_{A_1} = 0,0101$
$y_{A_2} = 1,5228 \times 10^{-4}$	$x_{A_2} = 0$

Cálculo da altura da unidade de transporte (AUT)

$$\text{AUT} = 2,0 + 0,9\text{m} \left(\frac{G_s}{L_s} \right)_{\text{op}}$$

$$\text{AUT} = 2,0 + 0,9(1,15) \left(\frac{1}{1,481} \right)_{\text{op}}$$

$$\text{AUT} = 2,699 \text{ ft}$$

$$A = \frac{L_s}{mG_s} = \frac{1,481}{1,15} = 1,288$$

Cálculo do número de unidades de transporte (NUT)

$$\text{NUT} = \frac{1}{(1-1/A)} \ln \left[\frac{Y_{A_1} - mX_{A_2}}{Y_{A_2} - mX_{A_2}} (1-1/A) + 1/A \right]$$

$$\text{NUT} = \frac{1}{(1-1/1,288)} \ln \left[\frac{1,523 \times 10^{-2} - (1,15)(0)}{1,523 \times 10^{-4} - (1,15)(0)} (1-1/1,288) + 1/1,288 \right]$$

$$\text{NUT} = 4,472 \ln [(100)(0,2236) + 0,7764]$$

$$\text{NUT} = 4,472 \ln [23,1364]$$

$$\text{NUT} = 14,05$$

Cálculo da altura da torre (z)

$$z = (\text{AUT})(\text{NUT}) = (2,699\text{ft})(14,05)$$

$$z = 37,92 \text{ ft}$$

$$z = 11,56 \text{ m}$$

Propriedades físico-químicas do gás e do líquido

$$\bar{M}_{G_1} = y_{\text{CO}_2} M_{\text{CO}_2} + y_{\text{Etanol}} M_{\text{Etanol}}$$

$$\bar{M}_{G_1} = (1 - 0,015)(44\text{kg/kmol}) + (0,015)(46\text{kg/kmol})$$

$$\bar{M}_{G_1} = 44,03 \text{ kg/kmol}$$

$$\bar{M}_{G_2} = y_{\text{CO}_2} M_{\text{CO}_2} + y_{\text{Etanol}} M_{\text{Etanol}}$$

$$\bar{M}_{G_2} = (1 - 0,00015228)(44\text{kg/kmol}) + (0,00015228)(46\text{kg/kmol})$$

$$\bar{M}_{G_2} = 44,0 \text{ kg/kmol}$$

$$G_1 = 90 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = \frac{90 \text{ kmol}}{3600 \text{ s}} = 0,025 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_1' = G_1 \bar{M}_{G_1} = 0,025 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} 44,03 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$G_1' = 1,10075 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G_s = (1 - y_{A_1}) G_1 = (1 - 0,015) 0,025 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_s = 0,02463 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_s = (1 - y_{A_2}) G_2$$

$$G_2 = \frac{G_s}{(1 - y_{A_2})} = \frac{0,02463 \text{ kmol}}{(1 - 1,5228 \times 10^{-4}) \text{ s}}$$

$$G_2 = 0,02463 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_2' = G_2 \bar{M}_{G_2} = 0,02463 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} 44,0 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$G_2' = 1,08372 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G = \frac{G_1' + G_2'}{2} = \frac{1,10075 + 1,08372}{2} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G = 1,09224 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{op}} = 1,481 \rightarrow L_s = 1,481 G_s$$

$$G_s = 0,02463 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$L_s = 1,481 \left(0,02463 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right)$$

$$L_s = 0,03648 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$L_s = (1 - x_{A_2}) L_2$$

$$L_2 = \frac{L_s}{(1 - x_{A_2})} = \frac{0,03648 \text{ kmol}}{(1 - 0) \text{ s}}$$

$$L_2 = 0,03648 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$L_2' = L_2 \bar{M}_{L_2} = 0,03648 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$L_2' = 0,65664 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$L_s = (1 - x_{A_1})L_1$$

$$L_1 = \frac{L_s}{(1 - x_{A_1})} = \frac{0,03648 \text{ kmol}}{(1 - 0,0101) \text{ s}}$$

$$L_1 = 0,03685 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$L'_1 = L_1 \bar{M}_{L_1}$$

$$L'_1 = L_1 [(1 - x_{A_1})M_{\text{H}_2\text{O}} + x_{A_1}M_{\text{Etanol}}]$$

$$L'_1 = 0,03685 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} [(1 - 0,0101)18 + (0,0101)46] \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$L'_1 = 0,67372 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$L = \frac{L'_1 + L'_2}{2} = \left(\frac{0,67372 + 0,65664}{2} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$L = 0,66518 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\rho_{G_1} = \frac{P \cdot \bar{M}_{G_1}}{R \cdot T}$$

$$\rho_{G_1} = \frac{(1 \text{ atm})(44,03 \text{ g/gmol})}{(82,05 \text{ atm.cm}^3/\text{gmol.K})(308,15\text{K})}$$

$$\rho_{G_1} = 1,7414 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62,4278 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\rho_{G_1} = 0,1087 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\rho_{G_2} = \frac{P \cdot \bar{M}_{G_2}}{R \cdot T}$$

$$\rho_{G_2} = \frac{(1 \text{ atm})(44,0 \text{ g/gmol})}{(82,05 \text{ atm.cm}^3/\text{gmol.K})(308,15\text{K})}$$

$$\rho_{G_2} = 1,7403 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62,4278 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\rho_{G_2} = 0,1086 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\rho_G = \frac{\rho_{G_1} + \rho_{G_2}}{2} = 0,1087 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\rho_{H_2O} = 0,994061 \text{ g/cm}^3 \text{ a } 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{H_2O} = 62,0570 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\mu_{H_2O} = 0,775 \text{ cP} = 0,775 \times 0,01 \text{ g/cm.s}$$

$$\mu_{H_2O} = 7,75 \times 10^{-3} \text{ g/cm.s a } 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v_{H_2O} = \frac{\mu_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} = \frac{7,75 \times 10^{-3} \text{ g/cm.s}}{0,994061 \text{ g/cm}^3}$$

$$v_{H_2O} = 7,796 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ cSt} = 0,01 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$v_{H_2O} = 7,796 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$v_{H_2O} = 0,7796 \text{ cSt}$$

Cálculo da abscissa do gráfico de correlação de *Sherwood*

$$\frac{L}{G} = \frac{0,66518}{1,09224} = 0,60901$$

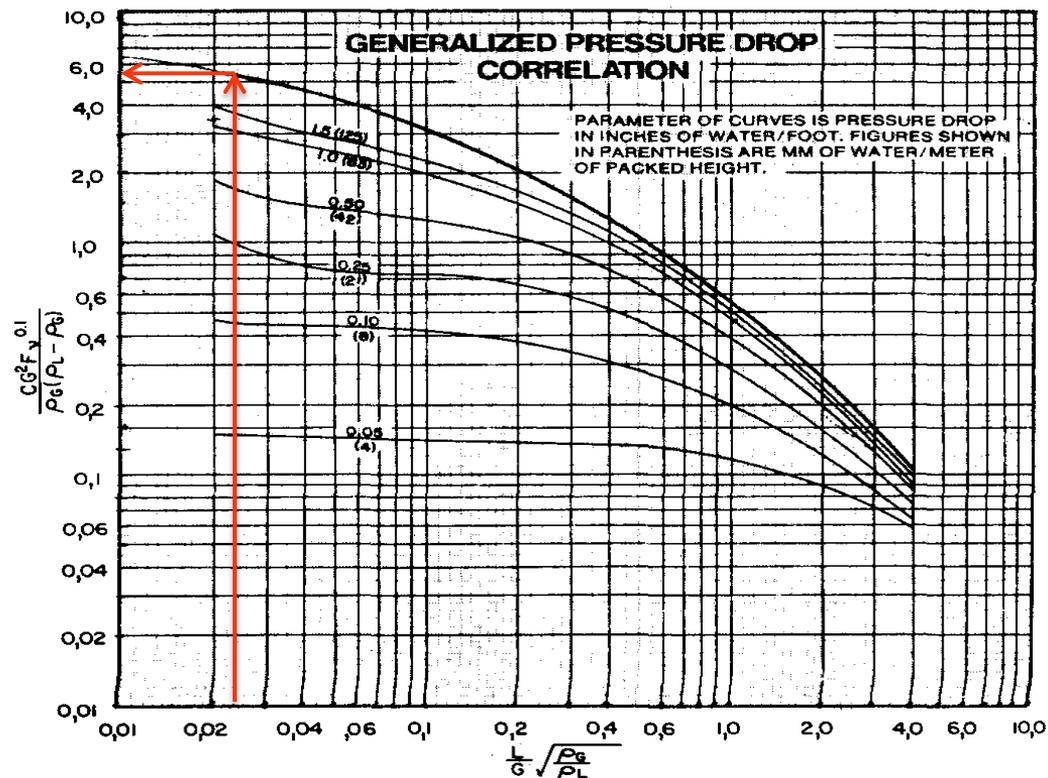
Abscissa: $\frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$

Abscissa: $0,60901 \sqrt{\frac{0,1087}{62,057}}$

Abscissa: 0,025

Ordenada: $\frac{C G_I^2 F v^{0,1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)}$

$$5,5 = \frac{C G_I^2 F v^{0,1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)}$$



Fator de recheio para anel *Pall* de plástico com diâmetro de 2in: **F = 24**

Packing Factors $\sim a/\epsilon^3$ (ft^{-1})
(DUMPED PACKING)

Packing Type	Mat'l.	Nominal Packing Size (Inches)												
		¼	⅜	½	¾	1	1 or #1	1¼	1½	2 or #2	3	3½ or #3		
Hy-Pak™	Metal						43					18		15
Super Intalox® Saddles	Ceramic						60					30		
Super Intalox Saddles	Plastic						33					21		16
Pall Rings	Plastic					97	52		40	24				16
Pall Rings	Metal					70	48		33	20				16
Intalox® Saddles	Ceramic	725	330	200		145	92		52	40	22			
Raschig Rings	Ceramic	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65	37			
Raschig Rings	½" metal	700	390	300	170	155	115							
Raschig Rings	⅜" metal			410	290	220	137	110	83	57	32			
Berl Saddles*	Ceramic	900		240		170	110		65	45				

Packing factors determined with an air-water system in 30" I.D. tower.
*Data by Leva

Boletim DC-11 da Norton Chemical Process Products

Fator de conversão em unidade inglesa: **C = 1**

$$\frac{C G_I^2 F v^{0,1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)} = 5,5$$

$$\frac{1,0 G_I^2 (24)(0,7796)^{0,1}}{0,1086 (62,057 - 0,1087)} = 5,5$$

$$3,4797 x G_I^2 = 5,5$$

$$G_I = 1,2572 \text{ lbm/ft}^2 \cdot \text{s}$$

A velocidade do gás é 80% da velocidade de inundação

$$G_{op} = 0,80G_I$$

$$G_{op} = 0,80(1,2572)$$

$$G_{op} = 1,006 \text{ lbm/ft}^2 \cdot \text{s}$$

Cálculo do diâmetro da torre

$$G = 90 \text{ kmol/h} \quad ; \quad \bar{M}_G = 44,03 \text{ kg/kmol}$$

$$G = 90 \text{ kmol/h} (44,03 \text{ kg/kmol})$$

$$G = 3962,7 \text{ kg/h} \quad ; \quad 1 \text{ kg} = 2,20462 \text{ lbm} \quad ; \quad 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$G = 2,4267 \text{ lbm/s} \text{ (vazão mássica do gás)}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4xG}{\pi G_{op}}} = \sqrt{\frac{4x2,4267 \text{ lbm/s}}{\pi 1,006 \text{ lbm/ft}^2 \cdot \text{s}}}$$

$$D_T = 1,75 \text{ ft} \quad ; \quad 1 \text{ ft} = 30,48 \text{ cm}$$

$$D_T = 53,0 \text{ cm}$$

$$D_T = 0,53 \text{ m}$$

Cálculo da potência do soprador

$$P_{\text{sop}} = \frac{\gamma_G Qz}{\eta}$$

P_{sop} = potência do soprador ($W = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$)

γ_G = peso específico médio do gás = $\rho_G \cdot g$ ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$)

ρ_G = densidade média do gás (kg/m^3)

$g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$

Q = vazão volumétrica do gás de alimentação (m^3/s)

z = altura do recheio da torre (m)

η = eficiência do soprador (adotar 75%)

$$\gamma_G = \rho_G \cdot g = (1,74 \text{ Kg}/\text{m}^3)(9,81 \text{ m}/\text{s}^2) \quad Q = \frac{G}{\rho_G} = \frac{3962,7 \text{ Kg}/\text{h}}{1,74 \text{ Kg}/\text{m}^3} = 2277,41 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\gamma_G = 17,07 \text{ Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$$

$$Q = 0,6326 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{\text{Soprador}} = \frac{\gamma_G Qz}{\eta} = \frac{(17,07 \text{ Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2)(0,6326 \text{ m}^3/\text{s})(11,56 \text{ m})}{0,75}$$

$$P_{\text{Soprador}} = 166 \text{ W}$$

Livro recomendado para projeto completo de torres de pratos e recheios

