



## PROGRAMA DIDÁTICO PARA O CÁLCULO DE COLUNAS DE RECHEIO

Oswaldo C. Motta Lima – [oswaldo@deq.uem.br](mailto:oswaldo@deq.uem.br)

José Miguel Muller – [jmu@deq.uem.br](mailto:jmu@deq.uem.br)

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química

Av. Colombo 5790, Bl. D-90

Tel.: (0xx44) 261-4759 ; Fax: (0xx44) 263-3440

87020-900 – Maringá, PR

Daniel. F. Poppi – [daniel@dori.com.br](mailto:daniel@dori.com.br)

Engenheiro Químico – DORI Ind. & Com. de Prod. Alimentícios Ltda.

**Resumo:** Colunas de recheio são utilizadas industrialmente em processos de separação e purificação de gases, sendo, por isso, parte importante do currículo de Operações Unitárias em Engenharia Química. Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e implementação de um programa computacional didático para o cálculo e a análise deste tipo de coluna em processos de absorção, possibilitando a determinação do diâmetro e da espessura da parede da coluna e da altura e da perda de carga total do recheio. Para permitir uma fácil interação e utilização pelo usuário, e sua aplicação em sala de aula, foi desenvolvida uma interface visual amigável para o programa, simplificando o processo de entrada de dados e obtenção de seus resultados finais. Como exemplo, o programa foi testado na absorção de amônia com água a 25 °C, a partir de uma corrente gasosa constituída por ar, hidrogênio, amônia e nitrogênio, para diferentes pressões de trabalho. A utilização do programa permitiu a fácil visualização do efeito da pressão de operação nas variáveis citadas acima, envolvidas no dimensionamento da coluna. Sendo assim, o programa desenvolvido se mostra uma ferramenta útil na análise de problemas envolvendo a absorção de gases em colunas de recheio.

**Palavras-chave:** Programa didático, Absorção, Coluna de recheio, Torres recheadas

### 1. INTRODUÇÃO

Colunas de recheio (ou de enchimento, ou torres recheadas) são amplamente utilizadas na indústria, em processos de separação, purificação e tratamento de gases, sendo, por isso, parte importante do currículo de Operações Unitárias em Engenharia Química.

O princípio da operação unitária em questão, Absorção, é bastante simples, e baseia-se na transferência de um componente de uma mistura gasosa para um líquido absorvente (solvente seletivo), devido à solubilidade entre ambos e à diferença de concentração entre as fases envolvidas. Para que isto ocorra, é importante que o solvente e a mistura original entrem em contato por um tempo suficiente para que ocorra a absorção da substância que se deseja separar. Deste modo, e tendo em vista a grande diferença de densidade entre as fases líquida e gasosa, se faz necessária a utilização de algum meio ou dispositivo de contato que obrigue as fases a interagirem adequadamente, de modo que o processo de absorção atinja os resultados esperados.

Dentro deste contexto, são normalmente utilizados industrialmente dois tipos de colunas (torres) de absorção: colunas de pratos, semelhantes às tradicionalmente utilizadas em destilação ; e as que possuem no seu interior um leito (recheio) de um material sólido inerte por onde as fases percolam - colunas de recheio (torres recheadas) - Figura 1, sendo este tipo de coluna escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

Apesar do princípio da absorção ser simples, existem dificuldades no dimensionamento/ cálculo das colunas, normalmente relacionadas à solução dos balanços de massa e energia, principalmente quando da operação não-isotérmica e/ou da ocorrência de reação química no sistema.

Assim, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e posterior implementação de um programa computacional didático com interface amigável para o cálculo e a análise deste tipo de coluna, em processos de absorção em condições isotérmicas, desprezando-se o calor de solução e sem a presença de reação química.

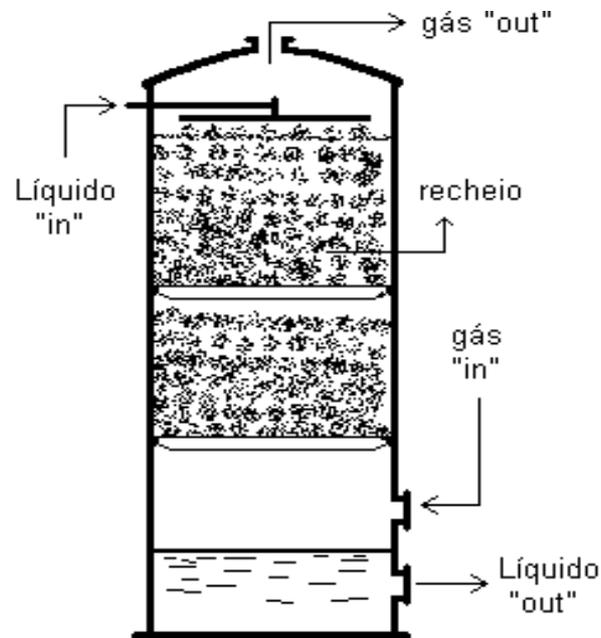


Figura 1 - Coluna de recheio (torre recheada) para absorção de gases

## 2. PROGRAMA

### 2.1 Equacionamento do problema

A literatura de Engenharia Química e, mais especificamente, a relacionada com a operação unitária de Absorção, tem apresentado alguns trabalhos sobre o desenvolvimento de modelos e programas computacionais para o cálculo de colunas de recheio, sendo a grande maioria oriunda da análise de sistemas isotérmicos.

Dentre esses, podem ser citados os de NGUYEN (1978) e PANCUSKA (1980), para o cálculo do diâmetro da coluna, baseados nos trabalhos de SHERWOOD et al. (1938), LOBO et al. (1941), ZENZ e ECKERT (1961) e HESS (1979). Entretanto, estes modelos não permitem o cálculo da altura e da perda de carga total do recheio e da espessura da parede da coluna. Além disso, consideram como conhecida a vazão mássica de líquido por área da seção reta da



coluna, o que normalmente não ocorre, WEYNE (1988), já que, normalmente, se dispõe da vazão total de líquido/solvente a ser utilizada, seja como dado do problema, seja calculada a partir dos balanços de massa da coluna.

Em outro trabalho mais recente, LENZI et al. (2001), foi desenvolvido um programa com interface amigável ao usuário (linguagem DELPHI) para o cálculo da altura do recheio de colunas de absorção operando isotermicamente, sendo, entretanto, necessário o conhecimento prévio do diâmetro da coluna.

Em função das limitações discutidas acima, e da relevância do conhecimento das variáveis citadas no projeto/análise de colunas de recheio, procurou-se desenvolver, neste trabalho, um programa baseado na metodologia proposta por WEYNE (1988) e que permite o cálculo dessas importantes variáveis. O equacionamento do problema, conforme proposto por aquele autor, segue, de forma resumida, os passos mostrados a seguir, deixando a apresentação das equações utilizadas para o trabalho original, tendo em vista as características que envolvem um congresso como o COBENGE 2003.

### ***Diâmetro da coluna***

O cálculo do diâmetro da coluna foi estruturado a partir das condições de afogamento da coluna (“flooding”), sendo utilizada a equação de CHEN (1961) desenvolvida a partir dos trabalhos de LOBO et al. (1941) e ZENZ e ECKERT (1961), e modificada por WEYNE (1998). Esta equação, associada a uma equação proposta por NGUYEN (1978), levam ao diâmetro da coluna a partir da vazão mássica de gás alimentado e das vazões de gás total e por área da seção reta da coluna na condição de “flooding”.

### ***Altura do recheio***

Para o cálculo da altura do recheio foi utilizada a equação apresentada por WEYNE (1988) e originalmente proposta por ECKERT (1961).

### ***Perda de carga do recheio***

Para o cálculo da perda de carga total do recheio foi utilizada inicialmente uma equação proposta em PETERS e TIMMERHAUS (1981) para a perda de carga por altura de recheio, sendo a perda de carga total calculada em seguida a partir da sua altura prevista.

### ***Espessura da parede da coluna***

O cálculo da espessura da parede da coluna foi estruturado conforme WEYNE (1988), segundo normas da ASME (American Society of Mechanical Engineers - Rules for Construction of Pressure Vessels, 1968 Edition).

## **2.2 Programa computacional**

Tendo em vista a metodologia discutida no item anterior (item 2.1), foi elaborado um programa originalmente em linguagem BASIC, de modo a permitir, não só o cálculo do diâmetro da coluna, como, também, o da espessura da sua parede, e o cálculo da altura e da perda de carga total do recheio.

Para proporcionar uma fácil interação e utilização pelo usuário, bem como sua aplicação em sala de aula, foi desenvolvida uma interface visual amigável para o programa (VISUAL BASIC), simplificando, não só o processo de entrada de dados, como, também, a obtenção dos resultados finais.

A Figura 1 mostra a tela de abertura (apresentação) do programa. Já na Figura 2, é mostrada a tela de entrada dos dados necessários para os cálculos de dimensionamento ou de análise de condições operacionais da coluna.

Pode-se observar que as variáveis envolvidas na Figura 2 já trazem as respectivas unidades de trabalho, escolhidas de acordo com as equações e a metodologia originalmente proposta por WEYNE (1988). Desta forma, torna-se importante que o usuário não deixe de adequar seus dados a essas unidades, para que possa alcançar os resultados desejados.

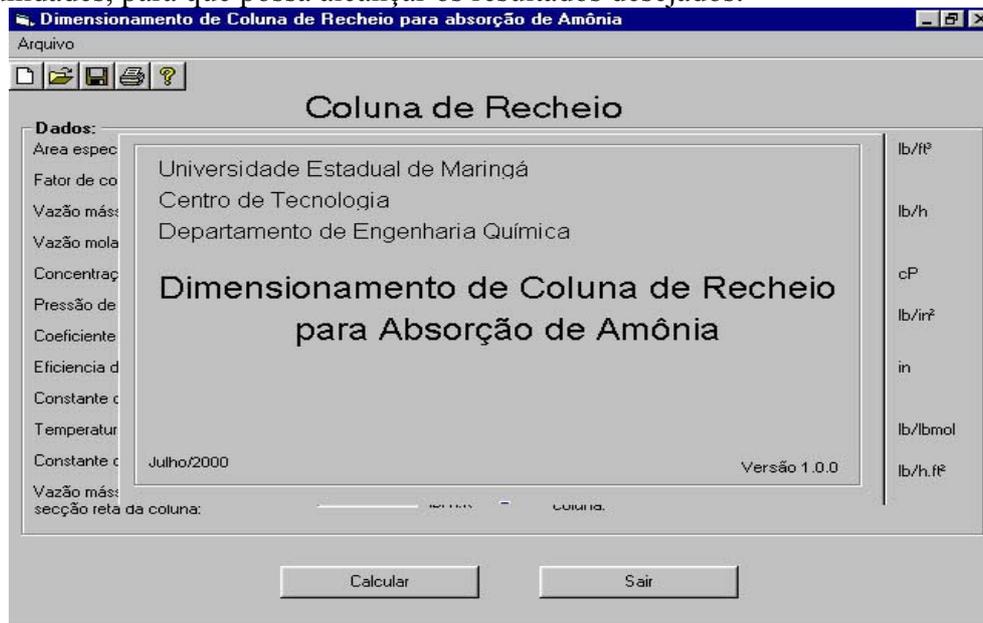


Figura 1 - Tela de abertura do programa para absorção de gases

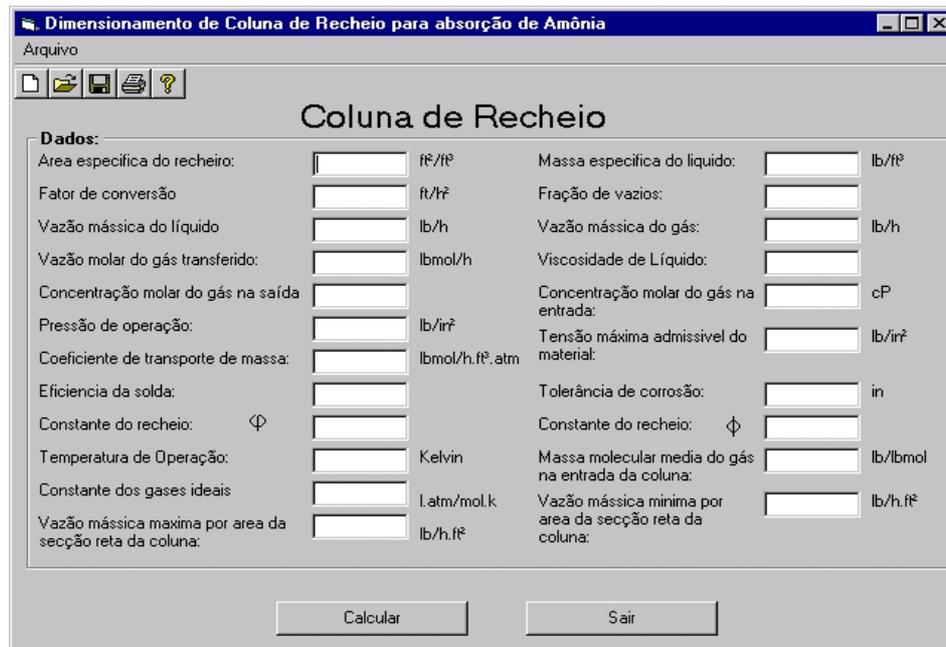


Figura 2 - Tela de entrada do programa para absorção de gases

### 3. RESULTADOS

Como exemplo, o programa desenvolvido foi testado na absorção de amônia com água a 25°C, em 4 pressões de operação: 1, 2, 5 e 10 bar (14,23; 28,46; 71,15 e 142,30 lbf/in<sup>2</sup>), a partir de uma corrente gasosa constituída por ar, nitrogênio, amônia e hidrogênio, WEYNE (1988), Figura 3. Os dados resultantes do balanço de massa global da coluna são mostrados na Tabela 1.

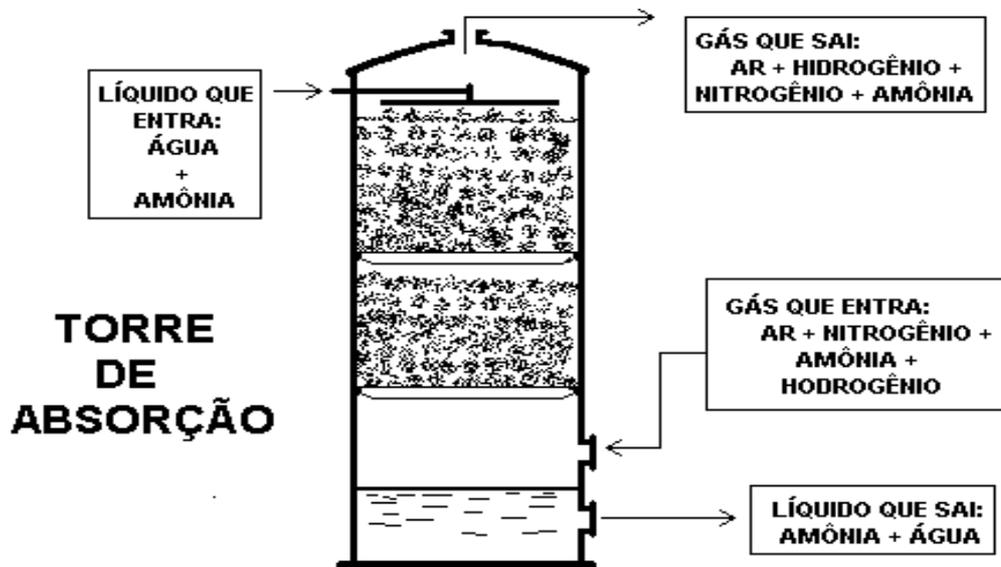


Figura 3 - Exemplo: Coluna de absorção de amônia

Tabela 1 – Balanço de massa global da coluna

Correntes		Componentes					Total
		Ar	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
Gás "in"	% massa	21,78	8,65	57,26	12,31	—	100
	kg/h	2178	865	5726	1231	—	10.000,0
Líquid o "in"	% massa	—	3,8	—	—	96,2	100
	kg/h	—	380	—	—	9620	10.000,0
Gás "out"	% massa	23,83	0,05	62,65	13,47	—	100
	kg/h	2178	5	5726	1231	—	9140,0
Líquid o "out"	% massa	—	11,42	—	—	88,58	100
	kg/h	—	1240	—	—	9620	10.860,0

A coluna será construída em aço, com tensão permissível de 12500 lbf/in<sup>2</sup>, eficiência de solda de 100% e tolerância de corrosão de 0,125 in, sendo utilizado um recheio de anéis de Raschig de 1 in. Os dados do recheio e outros dados de entrada do programa foram extraídos de WEYNE (1988), sendo mostrados diretamente na sua tela de entrada, Figura 4.

Os resultados do dimensionamento para a pressão de 1 bar (14,23 lbf/in<sup>2</sup>) podem ser visualizados na tela de resultados, Figura 5. Para as demais, os dados de entrada são os mesmos, mudando-se apenas o valor da pressão de operação.

**Dimensionamento de Coluna de Recheio para absorção de Amônia**

Arquivo

**Coluna de Recheio**

**Dados:**

Area específica do recheio:	58	ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup>	Massa específica do líquido:	62.2	lb/ft <sup>3</sup>
Fator de conversão	417000000	ft/h <sup>2</sup>	Fração de vazios:	0.73	
Vazão mássica do líquido	23024	lb/h	Vazão mássica do gás:	21126	lb/h
Vazão molar do gás transferido:	161	lbmol/h	Viscosidade de Líquido:	0.9	
Concentração molar do gás na saída	0.000336		Concentração molar do gás na entrada:	0.055	cP
Pressão de operação:	14.23	lb/in <sup>2</sup>	Tensão máxima admissível do material:	12500	lb/in <sup>2</sup>
Coefficiente de transporte de massa:	11.8	lbmol/h.ft <sup>2</sup> .atm	Tolerância de corrosão:	0.125	in
Eficiência da solda:	1		Constante do recheio: $\phi$	0.0043	
Constante do recheio: $\phi$	0.00000032		Massa molecular média do gás na entrada da coluna:	10.81	lb/lbmol
Temperatura de Operação:	298	Kelvin	Vazão mássica mínima por area da secção reta da coluna:	400	lb/h.ft <sup>2</sup>
Constante dos gases ideais	0.082	l.atm/mol.k			
Vazão mássica máxima por area da secção reta da coluna:	27000	lb/h.ft <sup>2</sup>			

Calculador      Sair

Figura 4 - Exemplo: Dados de entrada do programa para absorção de amônia - pressão: 1 bar

**Dimensionamento de Coluna de Recheio para absorção de Amônia**

Arquivo

**Coluna de Recheio**

**Dados:**

Area específica do recheio:	58	ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup>	Massa específica do líquido:	62.2	lb/ft <sup>3</sup>
Fator de conversão	417000000	ft/h <sup>2</sup>	Fração de vazios:	0.73	
Vazão mássica do líquido	23024	lb/h	Vazão mássica do gás:	21126	lb/h
Vazão molar do gás transferido:	161	lbmol/h			
Concentração molar do gás na saída	0.000336				cP
Pressão de operação:	14.23	lb/in <sup>2</sup>			lb/in <sup>2</sup>
Coefficiente de transporte de massa:	11.8	lbmol/h.ft <sup>2</sup> .atm			in
Eficiência da solda:	1				3
Constante do recheio: $\phi$	0.00000032				lb/lbmol
Temperatura de Operação:	298	Kelvin			lb/h.ft <sup>2</sup>
Constante dos gases ideais	0.082	l.atm/mol.k			
Vazão mássica máxima por area da secção reta da coluna:	27000	lb/h.ft <sup>2</sup>			

**Resultados**

**Resultados dos Cálculos:**

Diametro da coluna (metros) =	2.2071
Altura da coluna (metros) =	9.5963
Espessura da parede (mm) =	3.2848
Perda de Carga Total (cm água) =	228.9307

OK

Calculador      Sair

Figura 5 - Exemplo: Resultados do programa para absorção de amônia - pressão: 1 bar



Os resultados obtidos no dimensionamento da coluna para as 4 pressões escolhidas, podem ser vistos na Tabela 2. Estes resultados são coerentes (WEYNE, 1988), e se mostram de acordo com dependência esperada das variáveis estudadas com a pressão de operação.

Tabela 2 - Resultados do dimensionamento da coluna de absorção

Dimensionamento da Coluna	Pressão de Operação (bar)			
	1,0	2,0	5,0	10,0
Diâmetro da Coluna (m)	2,2	1,9	1,6	1,4
Altura da Coluna - Recheio (m)	9,6	6,4	3,7	2,4
Espessura da Parede (mm)	3,3	3,4	3,6	4,6
Perda de Carga - Recheio (cm H <sub>2</sub> O)	228,9	142,1	74,1	44,7

Como se pode ver, a utilização do programa permitiu a fácil visualização do efeito da pressão de operação da coluna nas variáveis envolvidas no seu dimensionamento.

Com o intuito de torná-lo ainda mais ágil, estão sendo estudadas modificações que irão permitir uma melhor escolha pelo usuário das unidades de trabalho e a inclusão de um manual (“help”) “on-line” e de alertas para o caso de dados com inconsistências.

#### 4. CONCLUSÃO

O programa desenvolvido se mostra uma ferramenta didática útil, e de fácil manuseio, na análise de processos envolvendo a absorção de gases em colunas de recheio, principalmente se levarmos em conta o ganho de tempo em situações de sala de aula.

Além disso, traz a vantagem de admitir como valor conhecido a vazão mássica do líquido e não sua vazão por área da seção reta da coluna, podendo ser aplicado tanto no dimensionamento de colunas de recheio, quanto na análise de diferentes situações/modificações operacionais, agilizando o processo de comparação dos diversos resultados obtidos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, N.H. Equations for flooding rate in packed towers. **Ind. Eng. Chem.**, 53(6), 1961.

ECKERT, J.S. Design technics for sizing packed towers. **Chem. Eng. Progress**, 57(9), September, 1961.

HESS, M. Letter to Editor. **Chem. Eng.**, April 9, 1979.

LENZI, M.K. ; PEREIRA, N.C. ; MOTTA LIMA, O.C. Desenvolvimento de um programa computacional didático para o projeto de colunas de absorção. In: ENPROMER 1999, 8/9, 1999, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: UFSC, 2001. CD-ROM, T376.

NGUYEN, H.X. Program expedites packed-tower design. **Chem. Eng.**, November 20, 1978.

PANCUSKA, V.I. Calculator program for design packed towers. **Chem. Eng.**, May 5, 1980.

PETERS, M.S. ; TIMMERHAUS, K.D. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers**. 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw-Hill, 1980.



WEYNE, G.R.S. Dimensionamento de Colunas de Recheio para Absorção de Amônia. **REBEQ**, v. XI, n. 1, p. 25-33, 1988.

ZENZ, F.A. ; ECKERT, R.A. New chart for packed-tower flooding. **Petroleum Refiner**, February, 1961.

## **A DIDACTIC PROGRAM FOR THE CALCULUS OF PACKED TOWERS**

**Abstract:** *Packed towers are thoroughly used in industrial separation processes and gas purification, being, so, an important part of the Unit Operations curriculum in Chemical Engineering. Inside of this context, the objective of this work was the development and latter use of a didactic computational program with a friendly interface for the calculation of this type of columns in absorption processes, allowing the calculation of the diameter and the wall thickness of the column, and the height and the total pressure drop of the packing. To allow an easy interaction with its user, as well as its application in the classroom, a friendly visual interface was developed for the program, simplifying the process of data input and of final results output. As example, the program was tested in the ammonia absorption with water at 25 °C for different working pressures, starting from a gaseous current constituted by air, hydrogen, ammonia and nitrogen. The use of the program allowed an easier visualization of the operation pressure effect in the variables mentioned above, involved in the column design. Thus, the developed program shows to be a useful tool in the analysis of problems involving the absorption of gases in packed towers.*

**Key-words:** *Didactic Program, Absorption, Packed column, Packed tower*