

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESTILAÇÃO EXTRATIVA POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA

NORILER, Dirceu^{*}; DUARTE, Elis Regina^{**}; BARROS, António André Chivanga^{***}

Resumo

A destilação consiste na separação de misturas de substâncias voláteis miscíveis nos seus componentes individuais ou em grupos de componentes, exceto para misturas azeotrópicas ou misturas cuja curva de equilíbrio se situa próximo da diagonal, em um diagrama de equilíbrio líquido-vapor. Para estas misturas, os custos do projeto da coluna são elevados e é quase impossível obter componentes puros por meio da destilação convencional. Por isso, são empregados os processos de destilação extrativa ou destilação azeotrópica cujo objetivo é o de modificar as volatilidades relativas da mistura original mediante a adição de um componente estranho à mistura. O objetivo deste trabalho é de avaliar a influência da razão de refluxo (RR), a relação solvente/alimentação (S/F) e a eficiência de transferência de massa sobre a pureza do componente mais volátil no topo de uma coluna (X_D) de destilação extrativa. Para a execução deste trabalho, foi utilizado um simulador comercial (PRO II) usado nas indústrias petroquímicas para avaliar processos químicos reais, baseado nas técnicas de simulação numérica. Empregou-se a mistura etanol/água, avaliando-se o etileno glicol, o trietileno glicol, o tetraetileno glicol, a morfolina e a glicerina como solventes alternativos para a obtenção de álcool anidro. Registrou-se similaridade no comportamento do etileno glicol quando comparado com o trietileno glicol e o tetraetileno glicol quanto à capacidade de recuperação do etanol no topo da coluna. Para estes solventes existe uma faixa da RR e S/F que permite a obtenção de alta pureza do etanol no destilado. A morfolina se mostrou pouco habilitada para a separação da mistura proposta, pois os valores da pureza do destilado são dificilmente alcançados. Para a glicerina, constata-se que grandes concentrações do etanol no topo da coluna são possíveis mediante baixa razão de refluxo e valores reduzidos da relação S/F, ocasionada pelas características físicas desse componente. Pode-se concluir que cada solvente modifica diferentemente o ponto de azeotropia

^{*} Professor Doutor do Departamento de Engenharia Química da Universidade Regional de Blumenau; dmoriler@furb.br

^{**} Professora Doutora de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* de Ponta Grossa; elisdu@yahoo.com.br

^{***} Professor Doutor do Departamento de Engenharia Química da Universidade Regional de Blumenau; chivanga_barros@furb.br

e proporciona a capacidade de separação dependente da razão de refluxo e da relação dos fluxos de alimentação utilizados nesse processo.

Palavras-Chave: Solventes. Processos de separação. Azeotropia.

Evaluation parameters of extractive distillation for numerical simulation

Abstract

Distillation is the separation of mixtures of volatile substances miscible in their individual components or groups of components except for mixtures or azeotropes whose equilibrium curve is situated close to the diagonal diagram of a vapor-liquid equilibrium. To these mixtures, the project costs are high and the column is impossible to obtain pure components by conventional distillation. For this reason processes are employed extractive distillation or azeotropic distillation whose purpose is to modify the relative volatilities of the original mixture by adding a component to the mixture odd. The objective of this study is to evaluate the influence of reflux ratio (RR), the solvent/feed (S/F) and mass transfer efficiency on the purity of the more volatile component at the top of a column (XD) extractive distillation. For the execution of this work, we used a commercial simulator (PRO II) used in the petrochemical industry to assess actual chemical processes based on numerical simulation techniques. We applied the ethanol/water mixture and it was evaluated as ethylene glycol, triethylene glycol, tetraethylene glycol, glycerine and morpholine as alternative solvents to obtain anhydrous alcohol. Enrolled similarity in behavior when compared to ethylene glycol triethylene glycol and tetraethylene glycol as the ability to recover ethanol from the column top. To these solvents exists a range of RR and S/F that allows obtaining high purity ethanol in the distillate. The morpholine showed little enabled separation of the mixture proposal, since the values of the distillate purity is hardly achieved. For the glycerin appears that high concentrations of ethanol in the top of the column is possible using lower reflux ratio and low values of S/F, caused by the physical characteristics of this component. It can be concluded that unlike the each solvent change point and azeotroping provides the capability of separation depends on the reflux ratio and the ratio of the feed streams used in this process.

Keywords: Solvents. Separation processes. Azeotropy.

1 INTRODUÇÃO

A pureza dos produtos do topo em uma coluna de destilação extrativa é fortemente influenciada pela geometria do fluxo, oriunda do dimensionamento da coluna; pela intensidade da mistura das fases ou correntes de produtos; e, principalmente, pelo tipo do solvente usado. Nesses processos, ocorre a transferência de massa e calor da fase líquida para a fase vapor e vice-versa e a intensidade de contato entre as fases no equipamento de separação não é suficiente para caracterizar o equilíbrio termodinâmico. Por isso, a velocidade de transferência de massa interfacial controla o grau de afastamento em relação ao equilíbrio de fases, o qual reflete no fenômeno de difusão molecular, acoplado ao fluxo convectivo turbulento de transferência de calor, principalmente quando

as temperaturas de alimentação são elevadas. É necessário considerar as velocidades de transferência de calor para se ponderar o afastamento do sistema em relação ao equilíbrio térmico, assim como os efeitos de transferência de massa. A transferência difusional de massa do componente em uma mistura binária na fase líquida ou vapor deve ocorrer na direção da diminuição da pressão parcial ou da concentração do componente.

As condições hidrodinâmicas na fase e as difusividades do solvente interagem entre si de forma a se determinar os coeficientes de transferência de massa entre as fases. Estes coeficientes são definidos como função da velocidade de transferência do componente em uma determinada mistura por meio da interface.

A destilação extrativa é um processo de separação utilizado quando ocorre a formação de azeotropia (GIL et al., 2009; RODRIGUEZ; PEREIRO, 2009) ou quando a volatilidade relativa da mistura se aproxima do valor unitário. É utilizada para diferentes processos, conforme Segovia-Hernández e Ibarra-Sánchez (2010). Essa modalidade de destilação se fundamenta na adição de uma substância estranha à mistura original, cuja função é modificar a curva de equilíbrio líquido-vapor. Nesses processos são empregadas duas colunas: a primeira, para quebrar o ponto de azeotropia, mediante a adição do solvente, e, na segunda, este é recuperado. Em geral, o componente com menor ponto de ebulição é recuperado no topo da coluna e o componente com maior ponto de ebulição é coletado no fundo, juntamente com o solvente, e direcionado para a segunda coluna. O solvente utilizado nesse processo, como agente extrativo, é geralmente um composto de baixa pressão, de vapor facilmente recuperado por destilação convencional na segunda coluna.

Um sistema comumente empregado na indústria brasileira é a mistura etanol/água para a obtenção do álcool anidro adicionado na gasolina para o aumento da octanagem. O etanol é também considerado um combustível alternativo, com diminuição de poluentes (RAVAGNANI et al., 2010).

Reinehr (1987) estudou sobre o comportamento termodinâmico da mistura etanol/água e observou que à pressão atmosférica, esse sistema apresenta um azeótropo em fração molar de 0,894 do etanol. Industrialmente é utilizado o etilenoglicol como solvente para a quebra do ponto de azeotropia formado pela mistura. Neste trabalho é proposta a avaliação paramétrica dos processos de destilação extrativa, visto que parâmetros como RR, S/F e eficiência têm influência direta sobre o grau da pureza do destilado e podem determinar a viabilidade da utilização, ou não, dos solventes em tais processos. Parâmetros físicos como densidade ao longo da coluna e facilidade de recuperação do solvente são, também, avaliados.

2 CONCEITOS TEÓRICOS

2.1 AZEOTROPIA

De acordo com Ahón e Medeiros (1996), uma mistura azeotrópica é definida como aquela na qual as composições da fase líquida e da fase vapor, em equilíbrio, são iguais. Para classificar as misturas azeotrópicas, do ponto de vista termodinâmico, é fundamental examinar os desvios em relação à Lei de Raoult (MELO, 1998). Para o equilíbrio líquido-vapor (ELV), a constante de equilíbrio (K_i) da espécie i é definida conforme a Equação (1),

$$K_i = \frac{Y_i}{X_i} = \frac{\gamma_i^L \cdot f_i^L}{\phi_i^V \cdot P} \quad (1)$$

em que Y_i e X_i são as frações molares das espécies i nas fases vapor e líquida, respectivamente, em equilíbrio. O grau de não idealidade é expresso pelo coeficiente de atividade (γ_i^L), para a fase líquida, e pelo coeficiente de fugacidade (ϕ_i^V) para a fase vapor; f_i^L é a fugacidade da espécie i na fase líquida. Quando se trabalha com pressões baixas $\phi_i^V = 1$ e $\gamma_i^L = P_i^{Sat}$. Nessas condições a Equação (1) passa a ser escrita conforme a Equação (2),

$$K_i = \frac{Y_i}{X_i} = \gamma_i^L \cdot \frac{P_i^{Sat}}{P} \quad (2)$$

em que P_i^{Sat} é a pressão de vapor da espécie i . O desvio em relação à Lei de Raoult não é suficiente para caracterizar a ocorrência de um azeótropo. Por isso, Melo (1998) observou que o comportamento azeotrópico pode ser obtido pelas interações moleculares de dois ou mais componentes da mistura.

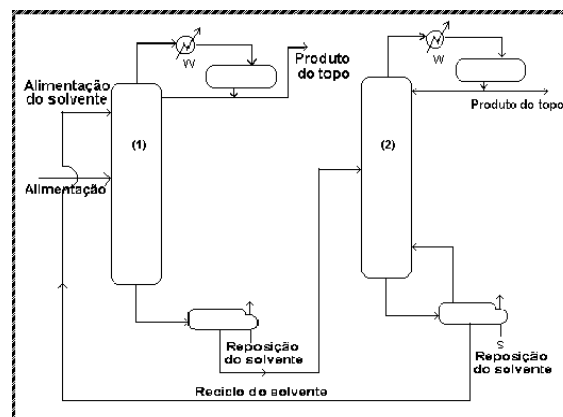
2.2 DESTILAÇÃO EXTRATIVA

Essa operação é muito utilizada quando as volatilidades relativas se aproximam do valor unitário ou quando os métodos convencionais requerem grandes quantidades de energia e elevado número de pratos para a separação desejada, o que eleva os custos de operação.

A destilação extrativa, bem como a destilação azeotrópica, é baseada na adição de um componente estranho à mistura original. Pescarini (1999) observou que o terceiro componente tem como objetivo alterar a volatilidade relativa dos componentes originais da mistura. O componente mais leve é removido no topo, enquanto o solvente e o componente intermediário são recolhidos na base da coluna. Porém, segundo Telis (1990) e Brito, Maciel e Meirelles (1997), existem casos em que a volatilidade é revertida, de modo que o componente obtido no topo da coluna é o de menor pressão de vapor.

Para Pescarini (1999), a instalação típica de uma unidade de destilação extrativa envolve duas colunas com correntes de reciclo do solvente, como descrito na Figura (1).

Figura 1 – Unidade de destilação extrativa



Fonte: os autores.

2.3 ESCOLHA DO SOLVENTE

Para Telis (1990), a volatilidade relativa de uma mistura pode ser alterada por meio dos coeficientes de atividade que, por sua vez, são muito sensíveis às mudanças na composição da fase líquida e altamente influenciados pela presença de um terceiro componente.

Para Melo (1998), os componentes propostos como solventes devem ter alto ponto de ebulição e não devem formar novos pontos de azeotropia com a mistura original. Outro parâmetro de grande relevância é a seletividade do solvente com um dos componentes da mistura original. O Esquema 1 mostra a estratégia adotada para a escolha dos solventes analisados neste trabalho (NORILER; DUARTE E BARROS, 2009).

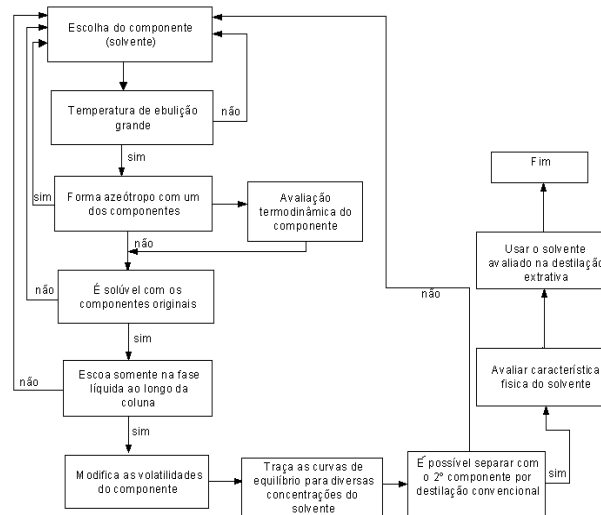
Utilizando-se a estratégia descrita na Figura 1, definem-se os solventes relacionados na Tabela 1 para a análise da viabilidade e da aplicabilidade nos processos de separação por destilação extrativa.

Tabela 1 – Solventes selecionados

Solvente	Temperatura de Ebulição
Etileno Glicol	470.40 K
Trietileno Glicol	561.50 K
Tetraetileno Glicol	588.57 K
Morfolina	401.40 K
Glicerina	563.15 K

Fonte: os autores.

Esquema 1 – Estratégia adotada para a escolha do solvente



Fonte: os autores.

2.4 CONCEITO DA EFICIÊNCIA

Soares et al. (2001) afirmam que todos os conceitos de eficiência utilizados nos processos convencionais são empregados na destilação extrativa, porém, existe a ausência de dados reais de eficiência para esse tipo de processo. Murphree (1925) definiu a eficiência de estágio, relacionando o

comportamento de um estágio real e ideal, mediante o grau de contato entre as fases líquida e vapor, de acordo com as expressões presentes nas Equações 3 e 4.

$$\eta_{i,j}^M = \frac{y_{i,j} - y_{i+1,j}}{y_{i,j}^* - y_{i+1,j}} \quad (3)$$

$$\eta_{i,j}^M = \frac{x_{i,j} - x_{i+1,j}}{x_{i,j} - x_{i+1,j}^*} \quad (4)$$

Brunello e Song (1991) e Barros e Maciel (1999) descreveram as dificuldades relacionadas ao estudo e a avaliação da eficiência, destacando-se:

- a) O número de variáveis envolvidas;
- b) a complexidade no estudo dos problemas de transferência de massa e calor;
- c) a falta de dados reais sobre eficiência na literatura;
- d) dificuldades em trabalhos experimentais;
- e) dificuldades na ampliação de escala;
- f) variação da eficiência para cada prato ao longo da coluna;
- g) valores distintos da eficiência ao longo da coluna de destilação, entre outras.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados, baseados na metodologia descrita no Esquema 1, alguns solventes alternativos de acordo com a Tabela 1. Selecionados os solventes, usou-se o simulador comercial PRO II[®] para a coleta de dados para uma análise posterior. Os parâmetros de projeto e de operação da coluna foram ajustados para atender às especificações de cada solvente.

Na execução deste trabalho, as frações molares de alimentação principal se situaram próximas do ponto de azeotropia.

3.1 NOMENCLATURA

- K_i: Constante de equilíbrio para o componente i.
Y_i e X_i: Frações molares na fase vapor e líquida do componente i.
iL: Coeficiente de atividade para a fase líquida do componente i.
f_{iL}: Fugacidade do líquido puro da espécie i.
iV: Coeficiente de fugacidade para a fase vapor do componente i.
P: pressão.
i,jMV: Eficiência do prato i para o componente j, na fase vapor.
i,jML: Eficiência do prato i para o componente j, na fase líquida.
Y_{i,j}: Fração molar que deixa o prato i para o componente j na fase vapor.

$X_{i,j}$: Fração molar que deixa o prato i para o componente j na fase líquida.

$Y_{i+1,j}$: Fração molar que deixa o prato $i+1$ para o componente j na fase vapor.

$X_{i+1,j}$: Fração molar que deixa o prato $i+1$ para o componente j na fase vapor.

$Y_{i,j}^*$: Fração molar que deixa o prato i para o componente j na fase vapor em equilíbrio com a fase líquida.

$X_{i,j}^*$: Fração molar que deixa o prato i para o componente j na fase líquida em equilíbrio com a fase vapor.

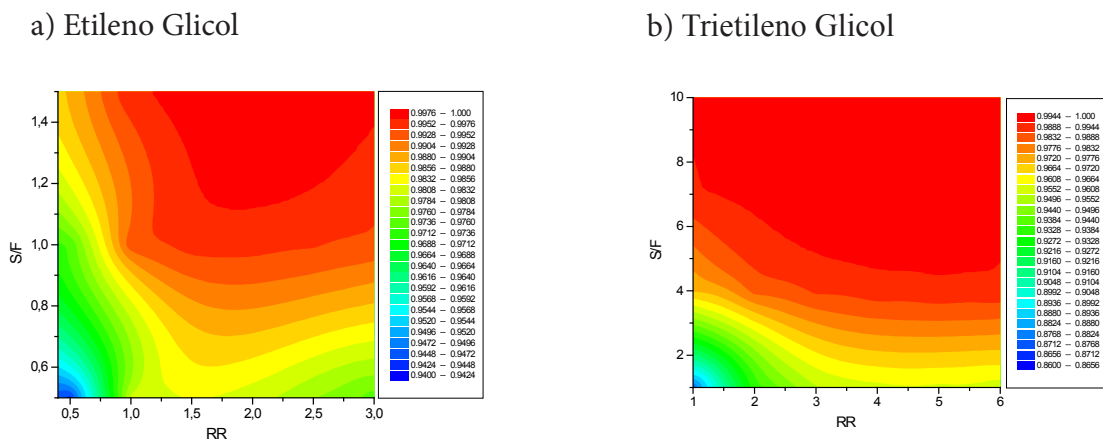
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

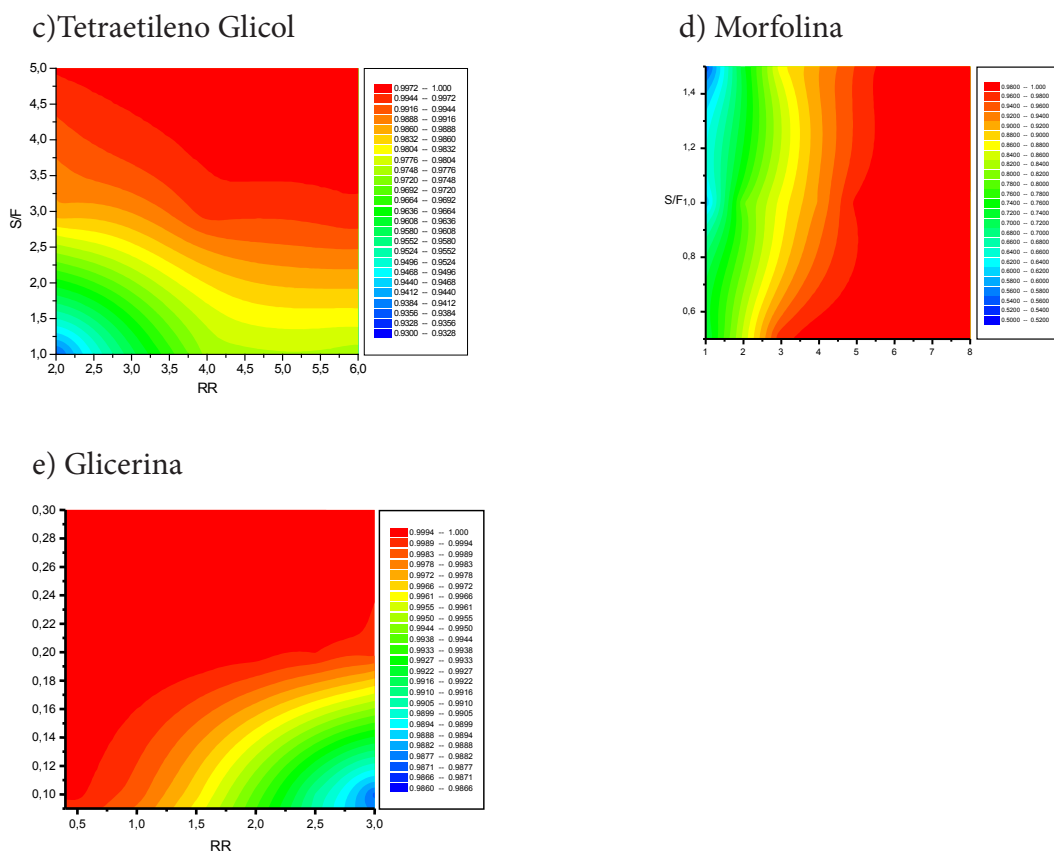
4.1 PUREZA EM DECORRÊNCIA DA RR E S/F

Neste estudo, procurou-se identificar os pontos de mínimo e máximo de concentração em decorrência da variação de RR e S/F com a eficiência global da coluna mantida em 100%. Os Gráficos 1a, 1b, 1c, 1d e 1e descrevem a relação desses parâmetros para todos os solventes estudados.

Para os solventes como etileno glicol, trietileno glicol e tetraetileno glicol, Gráficos 1a, 1b e 1c, o comportamento se assemelha, embora com faixas de operação distintas, cujo ponto de mínima concentração se localiza nas regiões de baixa RR e S/F, enquanto os valores máximos de concentração se encontram nas regiões de elevada RR e baixa S/F. O comportamento da morfolina, Gráfico 1d, mostra-se diferenciado cujos valores de mínimo são obtidos com baixa RR e elevada relação S/F, enquanto o máximo está presente na região de RR alto e quaisquer valores de S/F dentro da faixa de operação da coluna. Para a glicerina, Gráfico 1e, a região de mínimo foi reduzida, situando-se na região de alta RR e baixa relação S/F. Nesse caso, a região de máximo foi incrementada, considerando RR baixa e S/F baixa e para S/F a partir de 0,18 e qualquer RR dentro da faixa de operação.

Gráfico 1 – Variação de X_p com RR e S/F com eficiência 100%





Fonte: os autores.

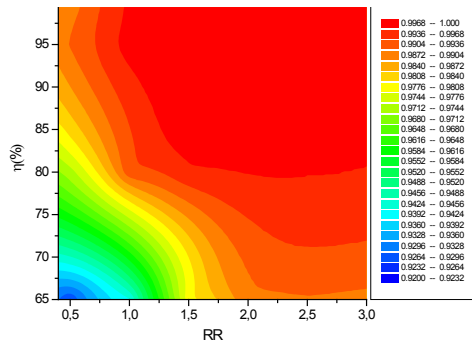
4.2 COMPORTAMENTO DA PUREZA EM DECORRÊNCIA DE RR E EFICIÊNCIA

Nesta seção, avaliou-se o comportamento da pureza do destilado em decorrência da razão de refluxo (RR) e da eficiência. Para todos os casos, observou-se que, com o aumento da eficiência, aumenta a pureza do destilado, como mostram os Gráficos 2a, 2b, 2c, 2d e 2e. O comportamento do etileno glicol, trietileno glicol e tetraetileno glicol, Gráficos 2a, 2b e 2c, como na seção anterior, foi similar com o ponto de mínimo obtido em RR baixa e eficiência alta e ponto de máximo obtido com RR baixa e eficiência baixa. Percebeu-se, porém, que para o trietileno glicol e o tetraetileno glicol, Gráficos 2b e 2c, as regiões de máximo são bastante reduzidas limitando, assim, a utilização de tais solventes. Já para a morfolina, Gráfico 2d, a região de mínimo estende-se para qualquer eficiência quando a RR é baixa e a região de máximo expande-se para qualquer eficiência quando a RR é alta. No caso da glicerina, Gráfico 2d, encontra-se o ponto de mínimo com RR alta e eficiência baixa e o ponto de máximo com eficiência alta e RR baixa.

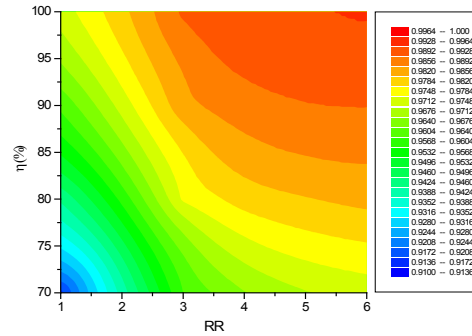
Esse item é muito importante para a escolha de um solvente, pois em processos reais, observa-se que há uma grande variação da eficiência ao longo da coluna. Assim, é muito importante conhecer o comportamento da coluna em tais condições de operação, relacionando simultaneamente os parâmetros avaliados em tal item.

Gráfico 2 – Variação de X_D com RR e Eficiência

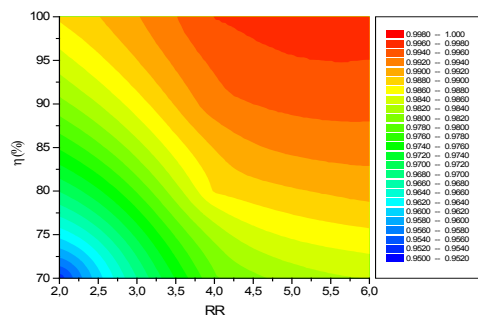
a) Etileno Glicol (S/F=1,50)



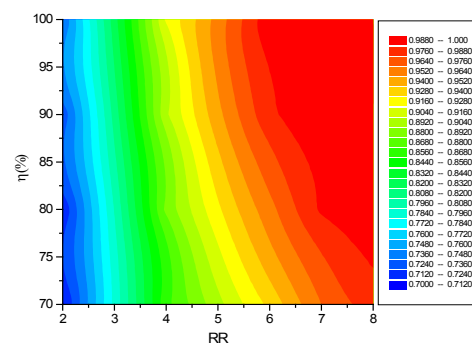
b) Trietileno Glicol (S/F=4,00)



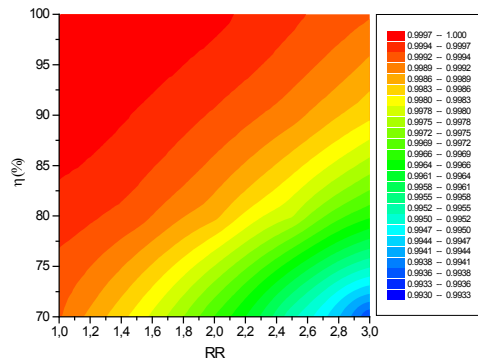
c) Tetraetileno Glicol (S/F=3,00)



d) Morfolina (S/F=1,50)



e) Glicerina (S/F=0,20)



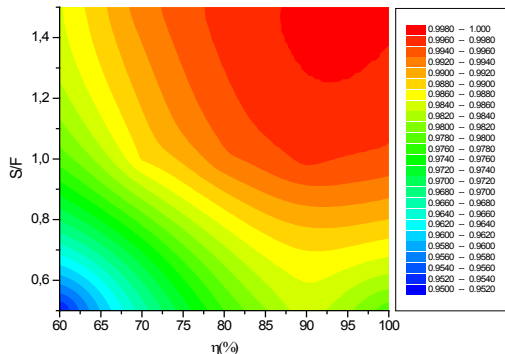
Fonte: os autores.

4.3 VARIAÇÃO DA PUREZA COM S/F E EFICIÊNCIA

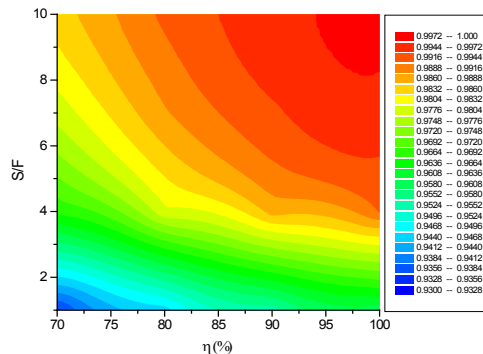
Para essa avaliação, percebeu-se uma semelhança em todos os casos estudados, como se observa nos Gráficos 3a, 3b, 3c, 3d e 3e onde o ponto de mínimo é obtido para eficiências baixas e S/F baixo, e ponto de máximo determinado para eficiências altas e S/F baixos. Para a morfolina, Gráfico 3d, observou-se um segundo ponto de mínimo em eficiência baixa e S/F alto. A glicerina, Gráfico 3e, apresentou uma região de máximo mais abrangente que os demais solventes.

Gráfico 3 – Variação de X_D com S/F e Eficiência

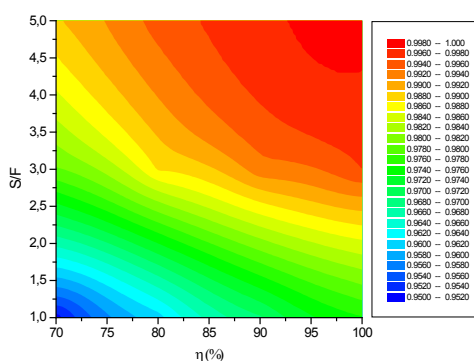
a) Etileno Glicol (RR=2,00)



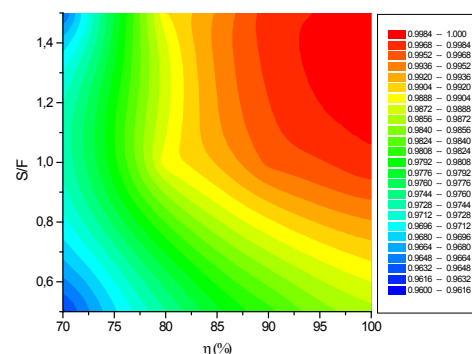
b) Trietilen Glicol (RR=4,00)



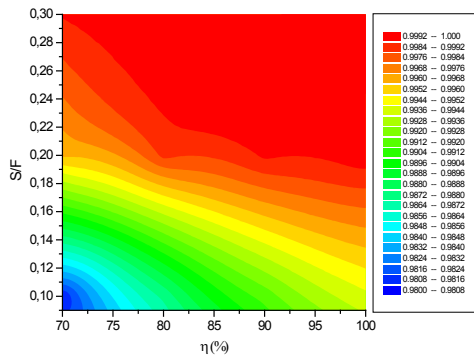
c) Tetraetilen Glicol (RR=4,00)



d) Morfolina (RR=7,00)



e) Glicerina (RR=2,00)



Fonte: os autores.

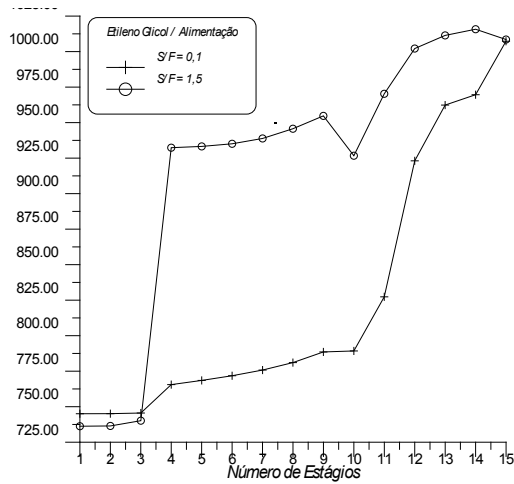
4.4 COMPORTAMENTO DA DENSIDADE DO FLUIDO NA COLUNA

Fazendo uma análise do comportamento da densidade do fluido ao longo da coluna de destilação extrativa, percebeu-se uma variação semelhante entre os solventes, Gráfico 4a, 4b, 4c, 4d e 4e, em que a densidade no topo da coluna se aproxima da densidade do álcool e sofre um aumento brusco no ponto de adição do solvente; assim cresce gradativamente até o fundo da coluna. Nas Gráficos 4a, 4b, 4c e 4d, ocorre uma queda na densidade em razão do aumento da temperatura na região próxima ao refeedor, variando a densidade do fluido. Esse fenômeno não ocorre com a glicerina, Gráfico 4e, pois a

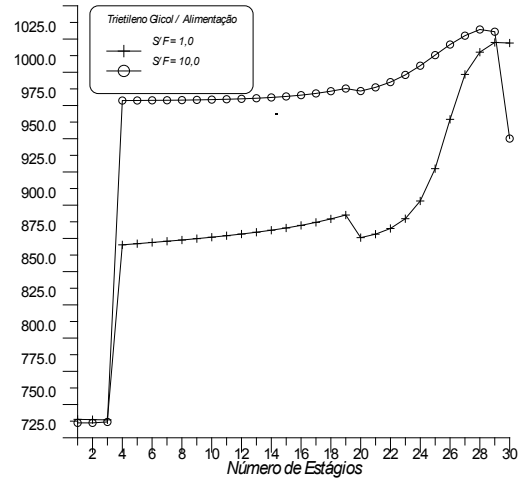
quantidade de glicerina na coluna é muito baixa, assim não exerce muita influência na elevação do ponto de ebulição da mistura, e, conseqüentemente, a temperatura não chega a afetar a densidade daquela.

Gráfico 4 – Variação da densidade

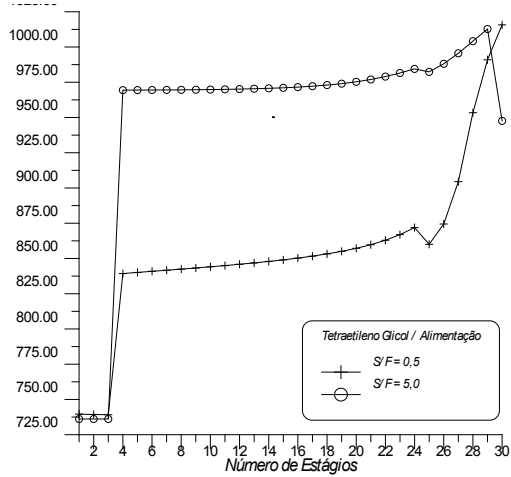
a) Etileno Glicol



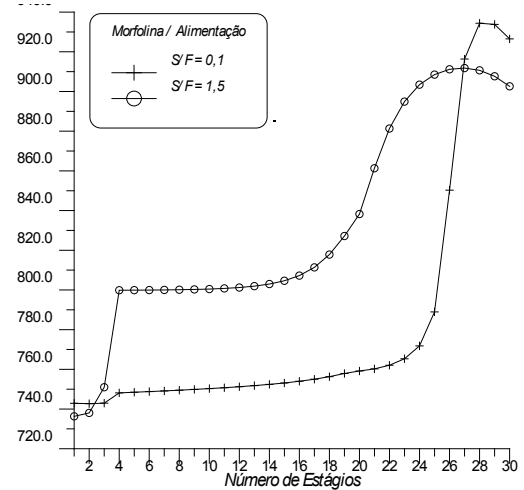
b) Trietileno Glicol



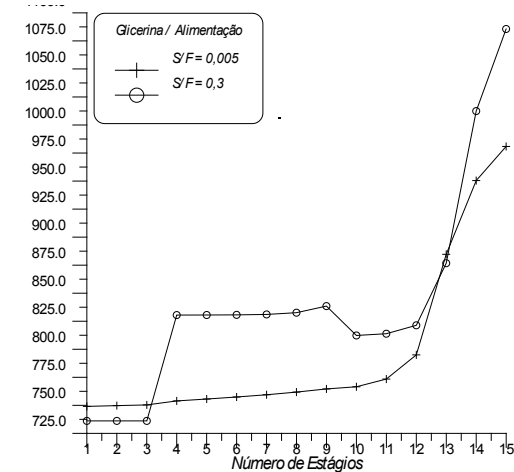
c) Tetraetileno Glicol



d) Morfolina



e) Glicerina



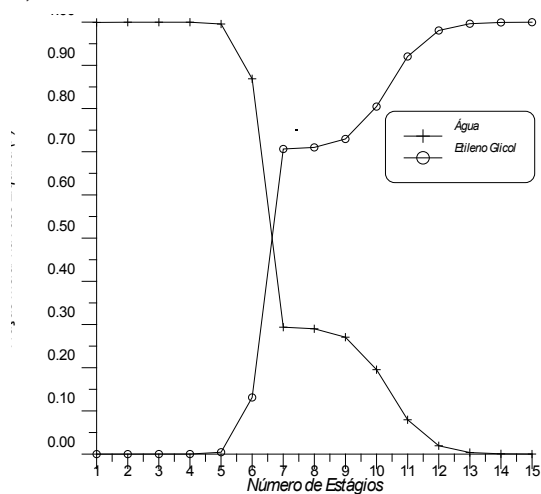
Fonte: os autores.

4.5 AVALIAÇÃO DA SEPARAÇÃO DO SOLVENTE NA SEGUNDA COLUNA

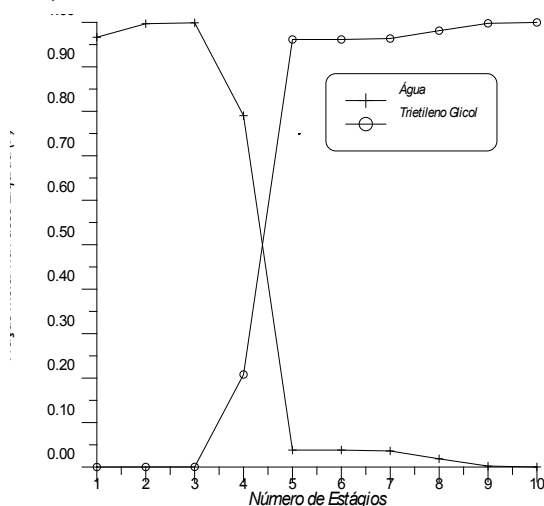
Nesta seção avaliou-se a dificuldade na recuperação do solvente na segunda coluna. Os Gráficos 5a, 5b, 5c, 5d e 5e mostram os perfis de concentração ao longo da segunda coluna. Pode-se observar que o número de pratos necessários para a separação é variado. Para que a concentração do solvente seja alto para a morfolina, Gráfico 5d, o número de pratos é muito grande, gerando, assim, um alto custo de operação. Já para os demais solventes, o número de pratos foi similar. Para o trietileno glicol, tetra etileno e morfolina, Gráficos 5b, 5c e 5d, não se alcançou a pureza desejada do solvente.

Gráfico 5 – Perfil de concentração na segunda coluna

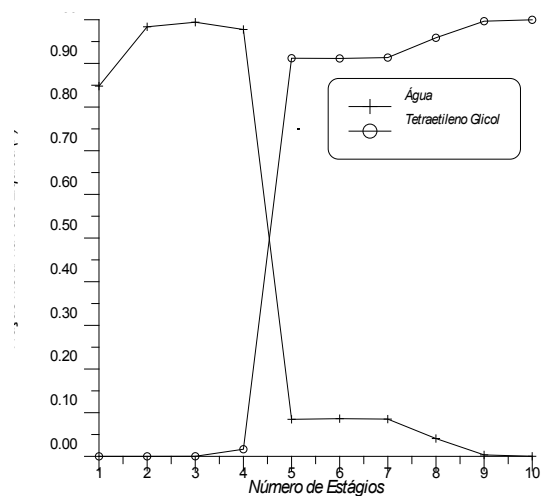
a) Etileno Glicol



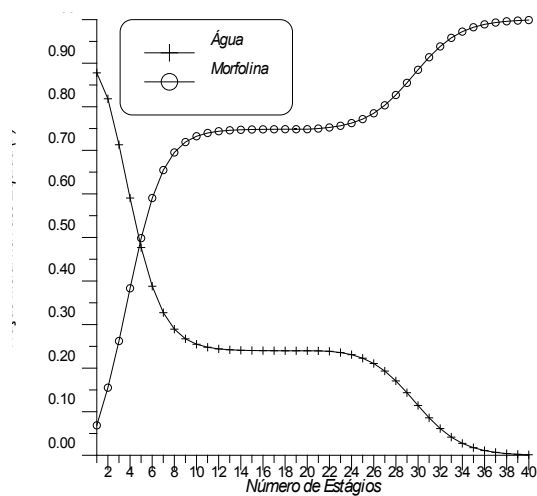
b) Trietileno Glicol

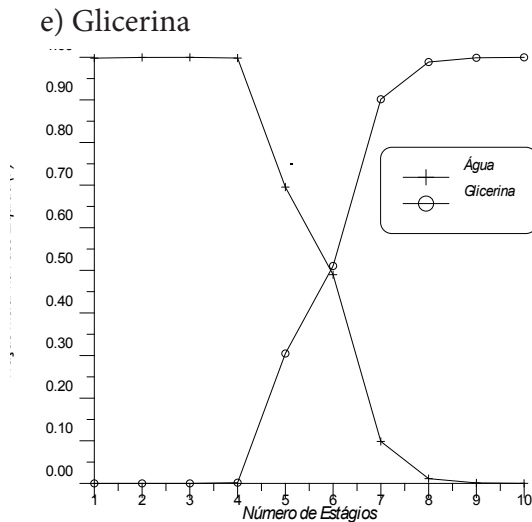


c) Tetraetileno Glicol



d) Morfolina





Fonte: os autores.

5 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos e nas análises aqui apresentadas, pode-se concluir que:

- Os solventes selecionados modificaram acentuadamente as curvas de equilíbrio líquido-vapor e se adequaram para a destilação extrativa. Nessas avaliações, percebeu-se que a utilização do trietileno glicol e do tetraetileno glicol é mais deficiente pois a alta pureza do componente mais volátil no destilado somente é possível mediante grandes valores na concentração do solvente, e, conseqüentemente, na relação S/F, parâmetros que aumentam os custos de operação na primeira coluna da unidade de destilação extrativa;
- três solventes tiveram resultados satisfatórios, destacando-se o etilenoglicol, a morfolina e a glicerina, que se comportaram de forma desejável e podem ser utilizados como agentes extrativos com custos de processo reduzidos;
- relacionando os dados de concentração (X_D) com os dados da relação S/F, pode-se estimar o valor ideal para a vazão de solvente necessário para a separação especificada na destilação extrativa;
- cada solvente utilizado proporciona capacidade de separação diferenciada e altas purezas são possíveis mediante elevados valores da eficiência global de transferência de massa utilizada na coluna de destilação;
- o simulador PRO II representa perfeitamente os dados reais para os processos de destilação extrativa, que foi evidenciado quando os dados simulados foram comparados com os dados experimentais obtidos por Meirelles, Weiss, Herfurth (1992);
- a correlação da eficiência desenvolvida por Barros e Maciel é altamente representativa dos modelos de transferência de massa e calor envolvidos nos processos de separação por destilação extrativa e representa com alta precisão o comportamento real de processos industriais;

- g) três solventes tiveram resultados satisfatórios, destacando-se o etileno glicol, a morfolina e a glicerina que se comportaram de forma desejável e podem ser utilizados como agentes extrativos com custos de processo reduzidos;
- h) relacionando os dados de concentração (X_D) com os dados da relação S/F, pode-se estimar o valor ideal para a vazão de solvente necessário para a separação especificada na destilação extrativa;
- i) cada solvente utilizado proporciona capacidade de separação diferenciada e altas purezas são possíveis mediante elevados valores da eficiência global de transferência de massa utilizada na coluna de destilação;
- j) a morfolina demonstrou dificuldade de recuperação na segunda coluna elevando os custos de operação.

REFERÊNCIAS

AHÓN, V. R.; MEDEIROS, S. L. Projeto de Colunas de Destilação Azeotrópica Homogênea. In: CONGRESSO BRASILEIRO de ENG. QUÍMICA, 11., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio De Janeiro: ABEQ, 1996. v. 1.

BARROS, A. A. C.; MACIEL, M. R. W. New Efficiency Correlation to Evaluate the Extractive Distillation Processes. In: CONFERENCE ON PROCESS INTEGRATION, MODELING AND OPTIMIZATION FOR ENERGY SAVING AND POLLUTION REDUTION, 2., 1999, Budapest. **Anais...** Budapest, 1999.

BONILLO, F. L.; NOLLA, M.; CASTELLS, F. Prediccion de Eficacias en Platos de Destilacion. **Revista: Ingeniería química**, Madrid, v. 21, n. 241, p. 219-225, 1991.

BRITO, R. P.; MACIEL, M. R. W.; MEIRELLES, A. J. New Extractive Distillation Configuration for Separating Binary Azeotropic Mixtures. **The First European Congress on Chemical Engineering**, Florence, p. 4-7, may, 1997.

BRUNELLO, G.; SONG, T. W. Eficiência de Destilação: Uma Revisão. **Caderno de Engenharia Química**, v. 4, n. 1, 1991.

GIL, I. D. et al. Extractive distillation of acetone/methanol mixture using water as entrainer. **Ind. Eng. Chem. Res.** v. 48, p. 4858, 2009.

KING, C. J. **Separation Processes**. 2. ed. New Yourk: Mac Graw Hill Inc. 1980.

LECAT, M. L'azeoroisme, Donnes Experimentales. **Bibliographie, Bruxelles**, 1918.

MEIRELLES, A.; WEISS, S.; HERFURTH, H. Ethanol dehydration by extractive distillation. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.56, p.181-188, 1992.

MELO, C. N. D. **Simulação e Otimização do Processo de Destilação Extrativa com Intergração Energética para Produção do Etanol Anidro**. 1998. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)–Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 1998.

MURPHREE, E. V. Rectifying column calculations with particular reference to n component mixtures. **Ind. Eng. Chem.**, V. 17, p. 747-750, 1925

NORILER, D.; DUARTE, E. R.; BARROS, A. A. C. Proposição de Solventes Alternativos para os processos de Destilação Extrativa. **Petro & Química**, v. 31, p. 39-45, 2009.

PESCARINI, M. R. **Desenvolvimento do Modelo Dinâmico de Estágios de não Equilíbrio e Simulação de Colunas de Destilação Convencional e Extrativa**. 1999. 394 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999. 394p.

RAVAGNANI, M. A. S. S. et al. Anhydrous ethanol production by extractive distillation. A solvent case study. **Process Safety and Env. Protection**, v. 88, p. 67-73, 2010.

REINEHR, E. L. **Desenvolvimento e Estudo de Uma Coluna de Pratos Perfurados Sem Vertedores**. 1987. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987.

RODRIGUEZ A.; PEREIRO, A. Effective extraction in packet column of ethanol from the azeotropic mixture+hexano with na ionic liquid as solvent. **Chem. Eng. Journal**, v. 158, p. 80-85, 2009.

SEGOVIA-HERNÁNDEZ J. G.; IBARRA-SÁNCHEZ, J. J. Reducing energy consumption and CO2 emissions in extractive distillation: Part II. Dynamic behaviour. **Chem Eng. Res. And Design**, v. 88, p. 135-145, 2010.

SOARES, C. et al. Validations of the Nonequilibrium Stage Model and of New Efficiency Correlation for non Ideal Distilation Process through Simulated and Experimental data. **Computers and Chemical Engineering**, v. 9, p. 321-326, 2001.

TELIS, V. R. N. **Estudo de Transferência de Massa na Destilação Extrativa; Sistema Etanol-Água e Etileno Glicol**. 1990. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

WEISS, S.; ARLT, R. On the Modelling of Mass Transfer in extractive distillation. **Chemical Engineering Process**, v. 21, p. 107-113, 1987.

Recebido em 21 de junho de 2012
Aceito em 21 de agosto de 2012

