

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Uso de software comercial para estudo das variáveis da fase vapor de um processo de destilação quando utilizada uma nova estratégia de controle

AUTORES:

Iaçaã G. B. Parisotto, Diogo L. de Oliveira, Leandro O. Werle, Cintia Marangoni e Ricardo A. F. Machado

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

Uso de software comercial para estudo das variáveis da fase vapor de um processo de destilação quando utilizada uma nova estratégia de controle

Abstract

A new strategy of control distributed in plates of distillation columns has been proposed as an alternative to the conventional method to reduce the time of transition when the process is disturbed. The objective of this study is to assess the reached steady state when two control approaches are used: conventional and distributed. Differences in behavior of variables such as temperature, flow and composition were studied in both phases: liquid and vapor. Experimental trials were performed with ethanol-water mixture by disrupting the flow of feed. The results obtained with the conventional approach and distributed were used to validate simulations of these experiments in the commercial simulator Aspen Hysys[®]. The simulations allowed evaluating the internal variables of the column, especially of vapor. It was verified that the distribution of heat between reboiler and plates not significantly affect the steady state on the control system. It is considered that the proposed strategy is feasible and reduces the time of transition when the process of distillation is disturbed.

Introdução

A destilação é o processo de separação mais utilizado na indústria química, com grande aplicação na área petroquímica. Seu principal objetivo é separar um composto do volume de uma mistura para agregação de valor ao produto final. O valor dos produtos depende exclusivamente de sua qualidade (pureza). Isto torna o controle da qualidade uma das tarefas mais importantes na operação de uma coluna de destilação. Os três objetivos, qualidade, rentabilidade e produção estão interconectados.

O controle de um processo de destilação é normalmente realizado de forma centralizada nos pontos extremos (base e topo) da coluna, o que gera um período (transiente) com produção fora da especificação quando o processo é perturbado. Mesmo com um sistema de controle bem ajustado, esta transição existe devido as características intrínsecas ao processo. Marangoni e Machado (2007) propuseram uma nova abordagem de controle que consiste na introdução de aquecimentos distribuídos nos pratos. Esta nova proposta distribuída é baseada nos estudos de colunas de destilação diabática que objetivam a economia energética (e não o sistema de controle), conforme descrito em Schaller *et al.* (2001) e Björn *et al.* (2002). Nestes trabalhos o aquecimento intermediário da coluna, foi realizado utilizando trocadores de calor sequenciais em cada prato, em oposição das colunas adiabáticas clássicas.

Em estudos preliminares, Marangoni e Machado (2007) verificaram a redução no tempo de transição para perturbações nas variáveis de alimentação da coluna. Werle (2007) corroborou estes resultados e também comprovou que existe a distribuição do calor entre os pratos e o refeedor, não havendo alteração no fornecimento global de energia à coluna quando utilizada a estratégia distribuída. Dessa forma, como parte do estudo da nova proposta de controle é necessário avaliar se a introdução de um ponto de aquecimento altera determinadas variáveis como as vazões internas da coluna. Neste sentido, objetivo deste trabalho é avaliar o estado estacionário alcançado quando duas abordagens de controle são utilizadas: convencional e distribuída. Para tanto foram estudadas as diferenças de comportamento de variáveis como temperatura, vazões e composição em ambas as fases: líquida e vapor. Simulações utilizando o *software* Hysys[®] foram realizadas e permitiram avaliar outras variáveis, que não haviam sido estudadas experimentalmente, como a composição da fase vapor, por exemplo.

Metodologia

O trabalho foi dividido em três etapas distintas. Em um primeiro momento foram realizados ensaios experimentais visando à validação das simulações. Na sequência, simulações computacionais foram realizadas utilizando-se o *software* comercial Hysys®. Por fim, com as simulações validadas, foi possível a realização de um estudo aprofundado dos resultados e avaliação das variáveis que não foram avaliadas experimentalmente. O foco nesta parte do estudo foi na fase vapor.

Ensaio Experimentais - Os ensaios foram realizados em uma coluna de destilação com 13 pratos perfurados. O processo opera de forma contínua sendo alimentado a uma vazão de 300 L.h⁻¹ no quarto prato (segundo da parte inferior para superior) com uma mistura de etanol e água, com composição de etanol de 15% (base volumétrica).

Uma coluna de destilação operando com aquecimento distribuído é ilustrada, de forma simplificada na Figura 1b. O controle distribuído se difere do controle convencional pelo fato de haver também aquecimento nos pratos (resistências elétricas). Assim, o controle convencional (Figura 1a) é composto pela manutenção das temperaturas da base e do último estágio no valor desejado, manipulando-se a carga térmica no refeedor e a vazão de refluxo, respectivamente. O controle distribuído é composto por estas duas malhas, acrescido do controle da temperatura do estágio 2 que é mantido constante manipulando-se a potência de uma resistência elétrica disposta sobre o prato. A opção de utilizar o controle distribuído aplicado somente no segundo prato é devido ao fato deste ser considerado um dos mais sensíveis, segundo análise de sensibilidade, realizada por Marangoni (2005).

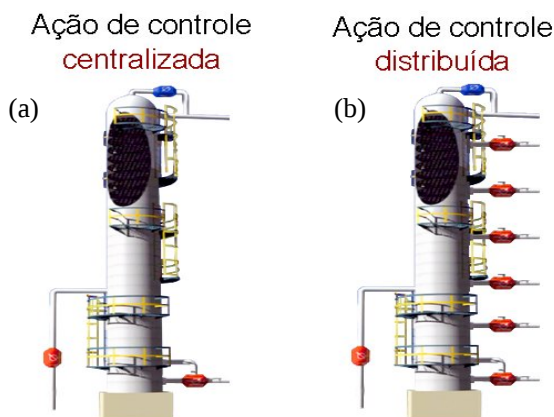


Figura 1. Configuração de uma coluna hipotética

Para a comparação entre os dois sistemas de controle, foi introduzida uma perturbação do tipo degrau na vazão de alimentação. O valor da vazão foi aumentado de 300 para 450 L.h⁻¹. Este tipo de perturbação é uma das que mais ocorre em um sistema de destilação.

Simulações - As simulações do processo foram realizadas no *software* comercial Hysys®. Este *software* dispõe de ferramentas para a estimativa de propriedades físicas, equilíbrio fase-vapor, calor, balanço de massa e simulação de muitos tipos de equipamentos da indústria química. Este recurso foi utilizado para avaliar variáveis que não foram estudadas experimentalmente, devido a dificuldade de obtê-las, como a composição da fase vapor, por exemplo. Na Figura 2 é ilustrada a tela de uma das simulações.

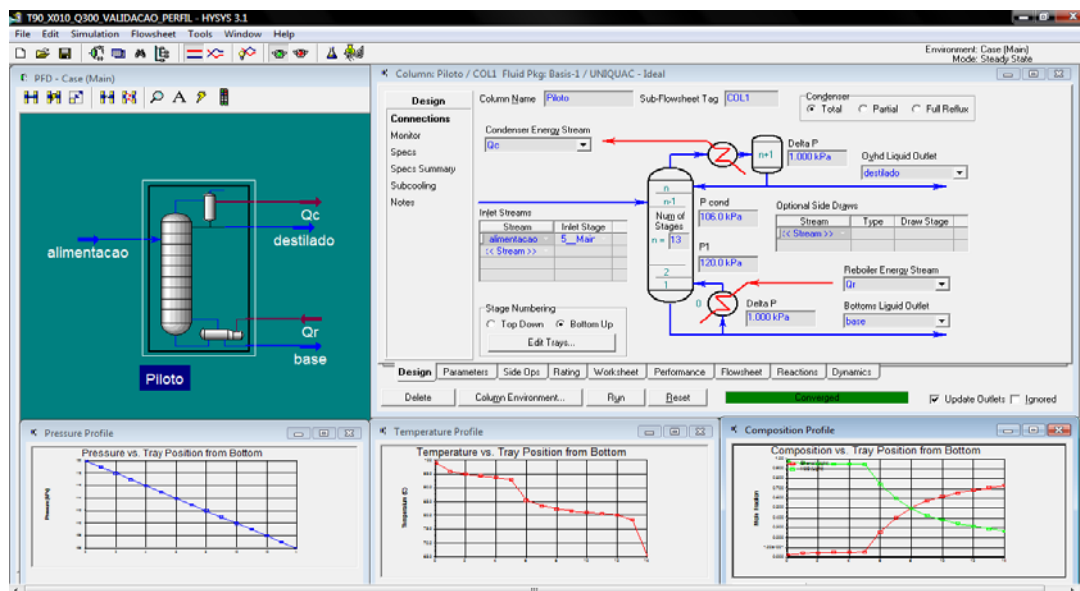


Figura 2. Interface do programa Hysys[®] utilizado para realizar as simulações do processo.

As simulações foram realizadas tendo como base nos experimentos realizados na coluna de destilação piloto. As condições de operação da coluna utilizadas nas simulações são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores das condições de operação da coluna.

Parâmetros	Convencional Antes da perturbação	Convencional Após a perturbação	Distribuído Antes da perturbação	Distribuído Antes da perturbação
Vazão Vol. [m^3/h]	0,300	0,450	0,300	0,450
X_{etanol} volume [%]	0,100	0,100	0,090	0,090
Temperatura [$^{\circ}C$]	90,50	91,50	90,40	90,50
Refluxo [m^3/h]	0,110	0,115	0,111	0,130
Razão de Refluxo (R/D)	8,460	8,210	7,660	8,670

Resultados e Discussão

Foram realizados experimentos com a unidade operando com o sistema de controle no modo convencional (malhas de controle na base e no topo) e no distribuído (malhas de controle na base, topo e prato 2). Os dados experimentais de temperatura, nos dois casos, foram utilizados para validar as simulações, conforme ilustrado na Figura 3, que apresenta o perfil de temperatura no estado estacionário tanto para o controle distribuído quanto para o convencional antes e após a perturbação.

A comparação entre os perfis de temperatura obtidos a partir dos resultados experimentais e simulados indica um perfil com temperaturas um pouco mais elevadas no experimento do que na simulação. Porém o comportamento foi muito similar também após a perturbação, com perfis ligeiramente superiores nas duas simulações, em relação ao estado estacionário inicial.

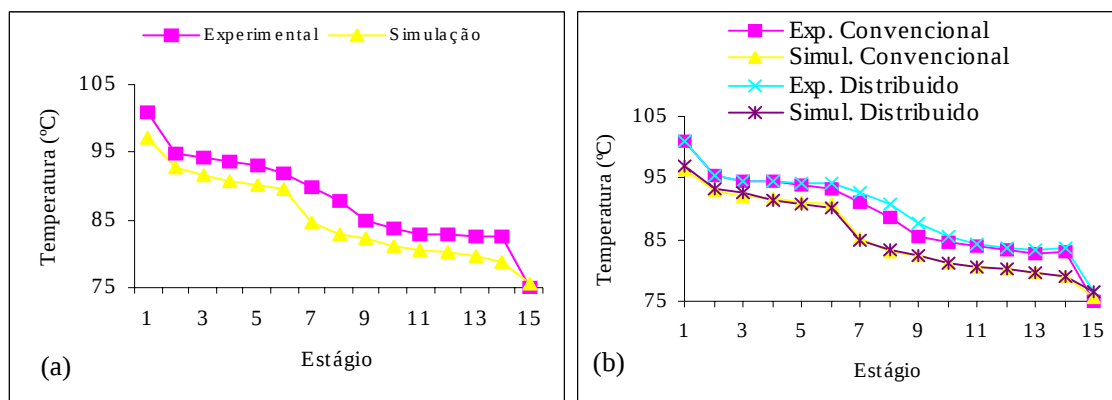


Figura 3. Perfil de temperatura no estado estacionário experimental e simulado, (a) antes da perturbação e (b) após, aplicando-se o controle convencional e distribuído

O erro da simulação com relação aos resultados experimentais foi avaliado por meio da Equação 1 e obteve-se o valor médio de 3,34%. Este valor é considerado inexpressivo, levando a conclusão de que as simulações representam adequadamente os resultados experimentais.

$$Erro = \frac{|(T_{EXP} - T_{SIM})|}{T_{EXP}} \times 100 \quad (1)$$

Na Figura 4 são apresentados os perfis das frações volumétricas de etanol e água em todos os estágios da coluna. Conforme esperado, observa-se o incremento (aproximadamente 60%) da fração de etanol a partir do quinto prato devido ao enriquecimento proporcionado pela sessão de retificação. Neste caso, não foi avaliada a eficiência de separação pois o objetivo do trabalho consiste apenas em avaliar as variáveis internas quando aplicada a nova estratégia de controle. Além disso, o mesmo grau de separação é utilizado em ambos os casos. A análise da figura mostra que os valores da composição ao longo dos pratos são muito próximos tanto para antes quanto depois da perturbação. Isso sugere que a perturbação na vazão de alimentação não afeta as frações volumétricas quando é aplicado o controle distribuído. Este fato já havia sido comprovado experimentalmente, porém apenas para as composições da base e do topo.

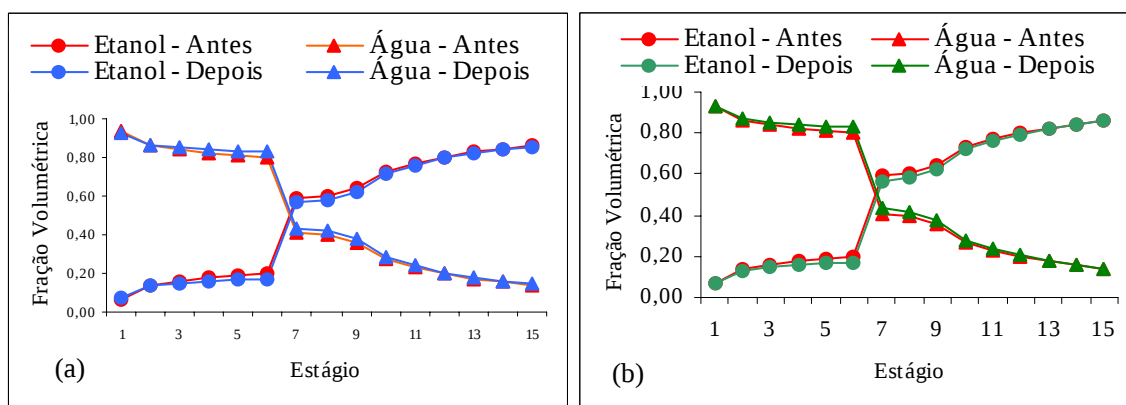


Figura 4. Comparação dos perfis de composição entre o estado estacionário antes e depois da perturbação para o controle (a) convencional e (b) distribuído.

Na tabela 2 é apresentada a caracterização do sistema antes e após a perturbação para as duas configurações estudadas.

Tabela 2. Comparação entre os estados antes e após a perturbação.

Parametros	Antes da Perturbacao		Após a perturbacao	
	Estado Estacionario Inicial	Convencional	Distribuido	
Q_b (kW)	32,89	34,83	38,75	
Q_c (kW)	30,94	32,50	36,50	
Q_r (kW)	-	-	0,70	
Vazão Refluxo (L/h)	110,00	115,00	130,00	
Vazão Destilado (L/h)	13,00	14,00	15,00	

Q_b = energia no refeedor; Q_c = energia removida no condensador; Q_r = energia fornecida ao prato

Observando os valores de energia, verifica-se maior quantidade de energia térmica fornecida à coluna no controle distribuído do que no convencional, aproximadamente 11%. Este fato ocorre por haver maior quantidade de refluxo nesta configuração. Verificou-se, também, um incremento na vazão de produto de topo quando utilizado o controle distribuído, o qual se atribuiu à introdução do calor fornecido no prato. Estes incrementos foram observados experimentalmente.

Os perfis das vazões volumétricas são mostrados na figura 5. Observa-se maior quantidade de líquido nos pratos acima da alimentação, após a perturbação, para as duas configurações de controle. Este aumento é causado pelo acréscimo na vazão de refluxo de 5 L.h⁻¹ (abordagem convencional) para 19 L.h⁻¹ (abordagem distribuída). Esta quantidade é maior na abordagem distribuída devido à introdução da fonte de calor no segundo prato que gera maior quantidade de fase vapor no interior da coluna.

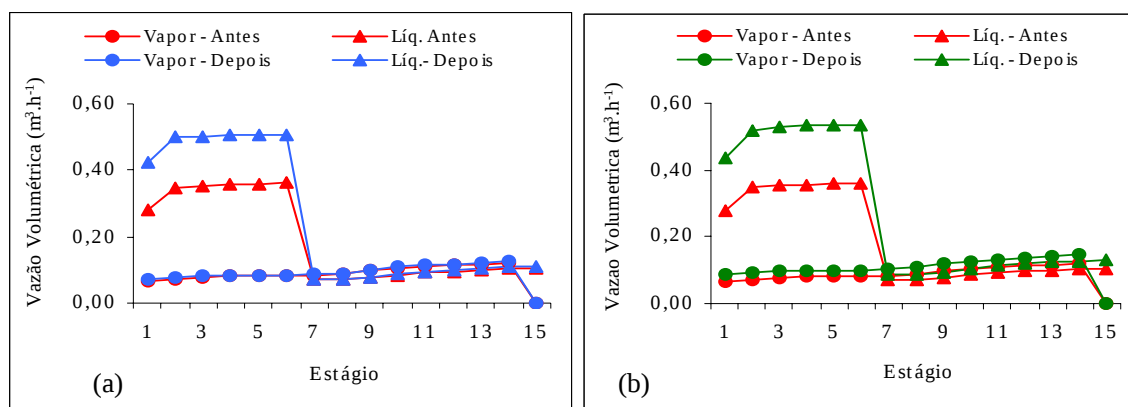


Figura 5. Perfis de vazão volumétrica antes e depois da perturbação para (a) o controle convencional e (b) para o controle distribuído

De fato, observa-se que a fase vapor é maior quando utilizada a abordagem distribuída. Este incremento é maior na seção de esgotamento para o aquecimento distribuído, devido à presença da resistência elétrica no segundo prato. Entretanto, esta diferença não se propaga na mesma magnitude para o restante da coluna, chegando, no estado estacionário, a um perfil de composição semelhante àquele obtido quando aplicado o controle convencional. De um modo geral, as variáveis analisadas nas simulações tanto com aquecimento distribuído como convencional tiveram o mesmo comportamento, variando de maneira semelhante e chegando a valores próximos.

Conclusões

Através da comparação dos estados estacionários obtidos com as duas estratégias de controle estudadas, observou-se pequenas diferenças no comportamento das variáveis do processo em virtude da distribuição de calor na coluna de destilação.

Porém, como os resultados das comparações foram muito próximos, concluiu-se que a distribuição do calor entre refeedor e prato não afeta o estado estacionário em relação ao sistema de controle convencional.

Sendo assim, com controle distribuído, é possível atingir praticamente o mesmo estado estacionário que o convencional, operando com parâmetros mais otimizados em relação a variáveis de processo, além de atingir o estado estacionário mais rapidamente em comparação com o sistema convencional, levando a minimização dos custos operacionais de um processo em larga escala.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis – ANP – e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-34-ANP/MCT e do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referências Bibliográficas

BJÖRN, I. N., GRÉN, U., SVENSON, F. Simulation and experimental study of intermediate heat exchange in a sieve tray distillation column. *Comp. Chem. Eng.*, v. 26, p 499-505, 2002.

CABALLERO, J. A. GROSMANN, I. E. Design of distillation sequences: from conventional to fully thermally coupled systems. *Comp. Chem. Eng.*: 28, 2307-2329, 2004.

MARANGONI, C. Implementação de uma Estratégia de Controle com Ação Distribuída em uma coluna de Destilação. (Doutorado em Engenharia Química). CPGENQ- Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

MARANGONI, C. MACHADO, R. A. F. Distillation tower with distributed control strategy: Feed temperature loads. *Chemical Engineering and Technology*. V 30, n 9, p 1292-1297, 2007.

SCHALLER, M. HOFFMANN, K. H.; SIRAGUSA, G.; SALAMON, P.; Andresen, B.; Numerically optimized performance of diabatic distillation columns. *Comp. Chem. Eng.*, v. 25, p 1537-1548, 2001.

WERLE, L. O. Minimização dos transientes através do Aquecimento Distribuído em uma Coluna de Destilação. (Dissertação), Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

ZHU, Y & LIU, X.G. Dynamics and control of high purity heat integrated distillation columns. *Ind. Eng. Chem. Res.*: 44, 8806-8814, 2005.