

USO DE AQUECIMENTO DISTRIBUIDO EM UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO: EFEITO DA PERTURBAÇÃO NA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO

Leandro O. Werle¹ (UFSC), Cintia Marangoni² (UFSC), Fernanda R. Steinmacher³ (UFSC), Pedro H.H. de Araújo⁴ (UFSC), Ricardo. A. F. Machado⁵ (UFSC), C. Sayer⁶ (UFSC).

^{1,2,3,4,5,6} Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Santa Catarina – Laboratório de Controle de Processos – Centro Tecnológico. Campus Universitário, C.P. 476 – CEP: 88010-970 – Florianópolis – SC – Brasil. Telefone: (xx-48) 3721-9454 – Fax: (xx-48) 3721-9454. E-mail: leandro@enq.ufsc.br

Mudanças das condições de mercado e operação das plantas petroquímicas em condições limites tornam extremamente difícil a manutenção dos processos envolvidos nestas plantas nos pontos de máxima lucratividade. Colunas de destilação requerem sistemas de controle ajustados para rejeitar rapidamente perturbações em virtude dos volumes processados e dos custos operacionais envolvidos. Entretanto, o comportamento não-linear apresentado pelas colunas de destilação, associado ao acoplamento das variáveis, restrições na operação, constantes de tempo elevadas e a presença de atraso na resposta geram transientes elevados quando o processo é perturbado, mesmo com um sistema de controle bem ajustado. Normalmente o controle das colunas de destilação é realizado de forma centralizada na base e no topo. Em trabalhos anteriores do grupo foi proposta e implementada uma estratégia de controle distribuído através de resistências elétricas acionadas por variadores de potência nos pratos de uma coluna de destilação instrumentada com protocolo Foundation *fielbus* visando a minimização dos transientes de operação. Nestes trabalhos foi verificado o efeito do controle distribuído na partida da operação e na rejeição de perturbações na temperatura e na composição da corrente de alimentação. No presente trabalho é avaliado o efeito do controle distribuído, através da resistência elétrica situada em um prato intermediário da coluna, quando é aplicada uma perturbação na vazão de alimentação em experimentos realizados com a mistura etanol-água. Perturbações na carga, como por exemplo, na vazão da alimentação, são transmitidas ao longo de toda a coluna gerando um transiente muito longo. A comparação dos resultados do experimento com controle distribuído (base, topo e segundo prato da coluna) com os resultados de um experimento análogo realizado com a abordagem convencional (controle na base e topo da coluna) mostrou que o controle distribuído levou a um comportamento menos oscilatório, manteve as variáveis controladas mais próximas dos valores desejados após a introdução da perturbação e reduziu o tempo de transição. Adicionalmente, foi realizada uma avaliação energética sendo observado que a carga térmica total requerida do processo foi praticamente a mesma para as duas configurações. As hipóteses simplificadoras adotadas na avaliação energética foram corroboradas através de simulações com *software* comercial Hysys.Process[®], verificando-se boa concordância. Com base nos resultados obtidos concluiu-se que a introdução do aquecimento distribuído é uma alternativa viável para melhorar o desempenho do processo.

Palavras chave: coluna de destilação, aquecimento distribuído, transientes.

1. INTRODUÇÃO

O controle de colunas de destilação é normalmente realizado centralizado na base, no topo e nas retiradas laterais, gerando um elevado tempo de transição quando o processo é perturbado.

Este trabalho propõe um estudo de uma nova abordagem de controle baseada em ação distribuída com aquecimentos em pontos intermediários de uma coluna de destilação. Essa configuração diferenciada em controle de processos foi implementada em uma unidade piloto de destilação por Marangoni (2005). No entanto, no presente foram realizadas modificações na planta, como por exemplo, o controle da temperatura da corrente de alimentação, modificações na geometria do módulo de topo de retangular para cônica e aumento da capacidade do tanque acumulador, gerando maior estabilidade da corrente de refluxo.

Através destas novas condições de operação verificar-se-á se ocorre melhoria no processo com minimização de transientes, quando aplicada uma perturbação na vazão da corrente de alimentação. Em relação ao gasto energético, o interesse não está em realizar uma otimização, mas sim, verificar a necessidade energética requerida e a distribuição de energia para as duas configurações estudadas.

O controle distribuído visa à utilização de pontos de aquecimentos intermediários com a finalidade de controlar o perfil de separação mantendo as variáveis nos valores de referência com a possibilidade de menor gasto energético.

A configuração com uso de controle distribuído da coluna é uma alteração simples e consiste apenas no aquecimento local de pratos da coluna, através de resistências que têm o fornecimento de calor controlado por

meio de um variador de potência. Marangoni (2005) foi a pioneira neste estudo, utilizando pontos de aquecimento intermediários com a finalidade de controle do perfil de temperatura.

A aplicação deste método consiste em uma nova abordagem e uma inovação em tecnologia de controle de processos petroquímicos. Para fundamentação desta nova proposta um dos itens importantes e que este trabalho visa desenvolver é a avaliação energética, com isso pretende-se contribuir para a composição desta nova abordagem de controle.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Refinarias apresentam como característica mudanças freqüentes na origem e na condição térmica da carga processada e a operação de colunas de destilação com elevados gradientes de temperatura (Speight, 1999). Perturbações na vazão da alimentação de colunas de destilação também podem ocorrer, em virtude da demanda a ser processada dependendo das condições de mercado, ou ainda, mais freqüentemente, decorrentes das oscilações de processos que antecedem seu processamento.

O estado estacionário de uma coluna, considerando uma eficiência de pratos constante, está diretamente relacionado com a vazão da carga (Riggs, 1998). Portanto, a manipulação das razões das variáveis com a carga (relação vapor/carga e refluxo/carga), ao invés do uso direto das variáveis manipuladas, é um meio efetivo de controlar distúrbios na vazão de entrada.

A formação de transientes em uma coluna de destilação ocorre quando o processo é perturbado e as características deste limitam a eficiência do sistema de controle ou quando um fator externo induz a modificação do ponto de operação da unidade. O comportamento dinâmico de processos de destilação é lento. Apesar do atraso e da constante de tempo serem pequenos para cada prato (na ordem de segundos), a dinâmica da coluna toda é lenta e dependendo das características das unidades pode variar na ordem de horas. A separação é realizada em estágios e quando o processo é perturbado são exercidas mudanças em cada prato conferindo um novo ponto de equilíbrio. Esse comportamento é propagado por toda a coluna pelas fases líquida e vapor. E o resultado final consiste em um tempo de resposta muito elevado (Shinskey, 1996).

Um sistema de controle bem projetado e ajustado não é suficiente para eliminar os transientes de operação de uma coluna de destilação uma vez que esta é uma característica intrínseca ao processo. Um aspecto que contribui para tal situação consiste na centralização do controle nas variáveis da base e do topo da coluna. Com isso existe a propagação da ação corretiva por toda a unidade gerando um período de transição com produção fora da especificação desejada.

Técnicas propondo novas configurações, tais como a aplicação de colunas de destilação de múltiplo-efeito (Pinto, 1987) e estudos com aquecimento em pratos intermediários, do ponto de vista da destilação diabática (Rivero, 2002; Bjorn, *et al.*, 2002), objetivam a economia energética da coluna. Adicionalmente, colunas presentes no refino de petróleo utilizando refluxos circulantes (Marangoni, 2005), para promover melhor separação, mas em ambas as aplicações não são usadas como parte da malha de controle.

3. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em uma unidade piloto instrumentada com protocolo de comunicação digital *fieldbus* e processando uma mistura de etanol-água, em virtude do baixo custo e disponibilidade destes componentes e também devido à baixa viscosidade e facilidade de limpeza que esta oferece.

Foram ajustados controladores PID para as malhas da temperatura da base e do último prato, caracterizando o controle convencional. Comparou-se o desempenho desta configuração com a abordagem distribuída (controle na base, no topo – com o mesmo ajuste que o convencional – e em pratos ao longo da coluna).

3.1 Unidade Experimental

A unidade piloto de destilação, ilustrada na Figura 1, foi construída em módulos onde cada um representa um estágio de equilíbrio. A unidade opera em regime contínuo e, para tanto, existe um tanque (pulmão), que contém a alimentação do processo. A coluna possui 13 estágios de equilíbrio, construída em módulos com 0,15 m de altura e 0,20 m de diâmetro. Os pratos são perfurados (diâmetro de 0,006 m, com passo triangular). Os valores da altura e comprimento do vertedouro são 0,03 e 0,10 m, respectivamente. Cada módulo possui um ponto para medição de temperatura, um para a coleta de amostra e um terceiro para a adaptação do aquecimento distribuído. Este último foi realizado por meio de resistências elétricas com potência de até 3,5 kW cada.

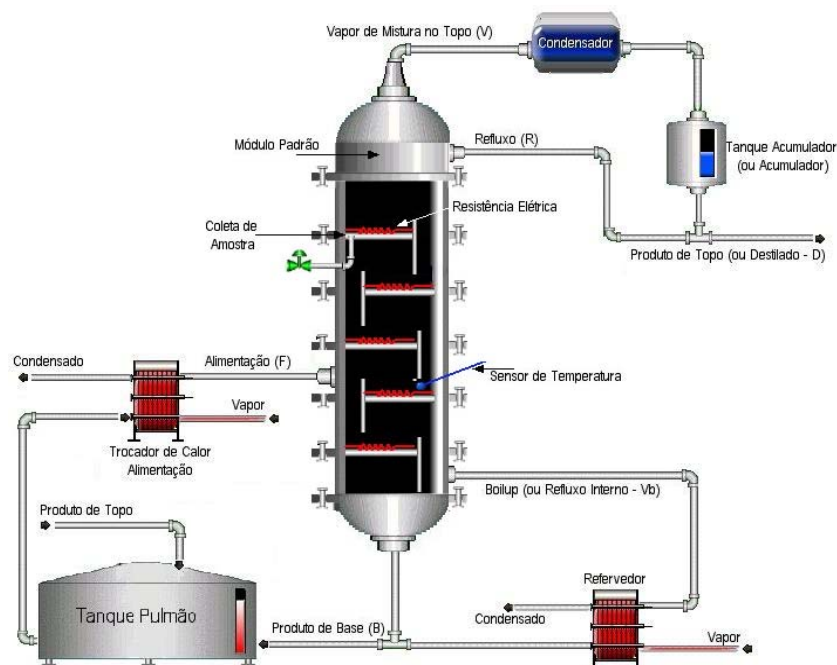


Figura 1. Ilustração esquemática dos equipamentos da unidade piloto de destilação.

A alimentação foi realizada no prato 4 (quatro), sendo o refeedor o estágio 0 (zero). Os controladores de potência existentes na unidade, destinados ao controle do nível de energia entregue a resistência, podem ser acionados através do sistema supervisório.

3.2 Sistema de Controle

A configuração das malhas de controle implementadas na unidade experimental foram definidas por Marangoni *et al.* (2005), com base nos estudos de Nooraii *et al.* (1999). Foram definidas as seguintes malhas:

1. Controle do nível da base através da manipulação da vazão da corrente de produto de fundo;
2. Controle do nível do acumulador através da manipulação da vazão do produto de topo;
3. Controle da vazão da alimentação através da manipulação da vazão desta mesma corrente;
4. Controle da temperatura de alimentação através da manipulação da vazão de fluido no trocador de calor deste estágio;
5. Controle da temperatura do último prato através da manipulação da vazão de refluxo;
6. Controle da temperatura do refeedor através da manipulação da vazão de vapor no trocador de calor do estágio;
7. Controle da temperatura de estágios pré-definidos da coluna através da manipulação da potência dissipada na resistência elétrica no prato.

Todas as malhas são instrumentadas em *fieldbus*, acrescidas da aquisição e indicação das vazões das correntes de base e topo e das pressões nestes mesmos estágios. O ajuste dos controladores descentralizados e também a estimativa inicial do controle multivariável foram realizados por Marangoni (2005) e Pasetti (2005) os quais aplicaram os métodos de Cohen-Coon, ITAE e Ziegler-Nichols (Seborg *et al.*, 1989).

Em relação a implementação do controle distribuído, o mesmo foi realizado com a utilização de um prato intermediário, o prato 2. Conforme estudo de sensibilidade dos pratos, realizado por Marangoni (2005), onde foram utilizadas e avaliadas metodologias como: pratos sucessivos, simetria de sensibilidade e máxima sensibilidade.

3.3 Procedimento Experimental

A condução dos experimentos para a comparação entre o controle convencional e o controle distribuído foi realizada através da aplicação de uma perturbação na vazão da corrente de alimentação, sendo calculadas as energias térmicas envolvidas no processo, para comparar os desempenhos das duas configurações.

Os experimentos foram conduzidos com composições volumétricas iniciais de álcool etílico na alimentação em torno de 10% (vv), a temperatura da alimentação foi controlada para entrar em torno de 92°C, a vazão de

alimentação foi de 300 L.h⁻¹ e as pressões da base e do topo variaram em torno de 1,25 e 0,25 bar, respectivamente. Medidas de composição foram efetuadas durante os experimentos. Para tanto amostras foram retiradas dos produtos de base e topo e a quantidade de álcool presente nas mesmas foi quantificada através de um densímetro do tipo Gay-Lussac para álcoois.

3.4 Balanço de Energia e Simulações

O calor inserido pelo refeedor, que não pode ser obtido diretamente a partir de dados experimentais, pois a unidade não possui sensores adequados para medição da vazão de vapor, foi calculado através de um balanço de energia para a configuração convencional e para a configuração distribuída antes e após a realização da perturbação. Desprezando as perdas para o ambiente externo, a energia requerida pelo refeedor é dada por:

$$Q_b = (Q_c + Q_d + Q_f) - (Q_r + Q_a) \quad (1)$$

onde Q_b é o calor fornecido à base pelo refeedor, Q_c é o calor retirado pelo condensador, Q_d e Q_f são, respectivamente, os calores que saem da coluna pelas correntes de destilado e de produto de fundo, Q_r é calor adicionado pela resistência elétrica e Q_a é o calor que entra na coluna pela corrente da alimentação.

Adicionalmente, para elucidar efeitos que não podem ser determinados experimentalmente, foram realizadas simulações no estado estacionário com o uso do *software* comercial Hysys.Process®, utilizando relações termodinâmicas baseadas no modelo *UNIQUAC*. Os resultados das simulações foram comparados com dados experimentais.

4. RESULTADOS

Por meio da aplicação da perturbação do tipo degrau na vazão da alimentação foi possível caracterizar a dinâmica da coluna, obtendo-se parâmetros como os tempos de resposta, atrasos e ganhos, para as duas configurações avaliadas. A perturbação realizada na vazão da alimentação para aplicação das duas abordagens de controle foi um degrau positivo com amplitude de 150 L/h, ou seja, alterou-se o valor do *set point* desta corrente de 300 para 450 L/h, conforme ilustrado na Figura 2. Os resultados são apresentados através de um conjunto de gráficos das principais malhas de controle da coluna de destilação.

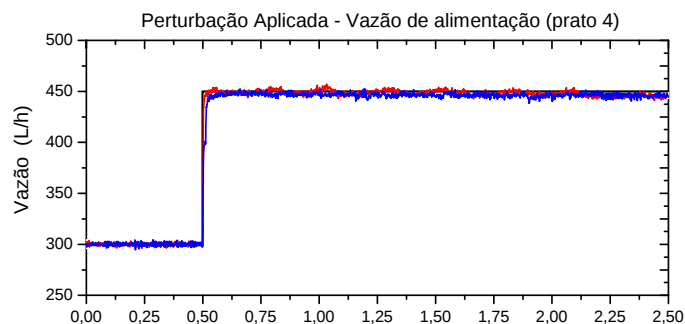


Figura 2. Perturbações na vazão de alimentação para a comparação entre o controle convencional (—), e o controle distribuído aplicado no prato 2 (—).

Nas Tabelas 1 e 2 é apresentada a caracterização do sistema antes e após a perturbação para a configuração com ação distribuída e para a convencional. Na configuração de controle distribuído, se observa maior produção de produto de topo, em relação a convencional, deflagrando a vantagem da distribuição de calor.

Tabela 1. Caracterização do sistema no estado estacionário antes e depois de aplicar a perturbação na vazão da alimentação com a configuração convencional.

Correntes	X_{et} (v v)		Vazão (L/h)		T (°C)	
	Antes	Após	antes	após	antes	após
Alimentação	0,10	0,10	300,00	450,00	90,50	91,50
Produto de fundo	0,05	0,06	287,00	436,00	94,50	94,00
Produto de topo	0,86	0,85	13,00	14,00	74,90	75,00

Tabela 2. Caracterização do sistema no estado estacionário antes e depois de aplicar a perturbação na vazão da alimentação com a configuração com ação distribuída aplicada no prato 2.

Correntes	X_{el} (v v)		Vazão (L/h)		T (°C)	
	Antes	Após	antes	após	antes	após
Alimentação	0,09	0,095	300,00	450,00	90,40	90,50
Produto de fundo	0,05	0,06	285,00	435,00	94,00	93,50
Produto de topo	0,855	0,85	14,50	15,00	75,45	76,65

Através da análise dos resultados apresentados na Figura 3, comparando-se os perfis de temperatura entre as duas configurações, observa-se que a ação distribuída apresenta sempre um perfil com temperaturas superiores, pois mantém vazões internas de vapor mais altas, decorrentes do acionamento da resistência elétrica.

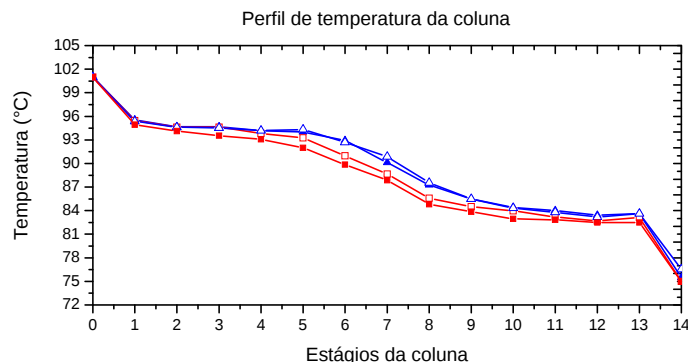


Figura 3. Perfil de temperatura da coluna na perturbação na vazão da alimentação para controle convencional antes (---□---) e depois (---△---) da perturbação e controle distribuído antes (---□---) e depois (---△---).

A perturbação na vazão da alimentação afeta de forma mais acentuada a vazão de vapor que ascende os pratos no interior da coluna e conseqüentemente seu equilíbrio. Neste tipo de perturbação a malha de controle afetada imediatamente é o nível da base, pois a condensação de grande parte da fase vapor se propaga em cascata no interior da coluna.

No controle convencional em um primeiro momento o nível da base da coluna aumenta demasiadamente, como pode ser observado na Figura 4.

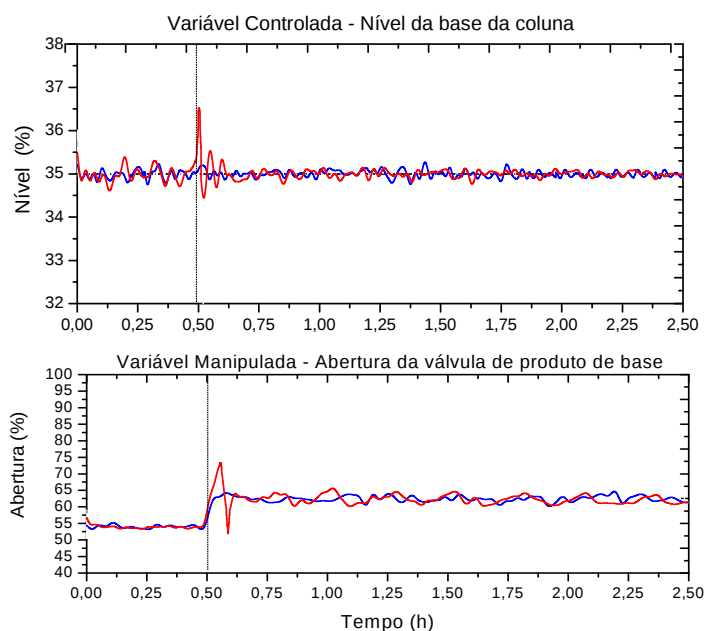


Figura 4. Resposta da malha de controle do nível da base no momento da aplicação da perturbação na vazão da alimentação, controle convencional (—) e controle distribuído aplicado no prato 2 (—).

A adição de energia no prato 2, acarreta em uma maior vaporização do líquido da alimentação quando em contato com a resistência aquecida, resultando em uma menor perturbação do nível de líquido da base, com isso conclui-se que a fase vapor no interior da coluna é prejudicada menos com o uso do aquecimento distribuído. Esse fato pode ser explicado pela maior vaporização do líquido da alimentação quando em contato com a resistência aquecida.

Na malha de controle da temperatura do refeedor (Figura 5) observa-se o decréscimo da temperatura da base para as duas situações, porém observa-se que o mesmo foi maior no controle convencional se comparado com o controle distribuído aplicado no prato 2. Em função disso, para retornar ao valor de referência foi necessário uma abertura inicial maior da válvula de vapor para o controle convencional.

O resultado obtido no controle da temperatura da base, com melhor desempenho do controle distribuído quando comparado com a configuração convencional, também pode ser explicado pela contribuição da resistência à formação da fase vapor.

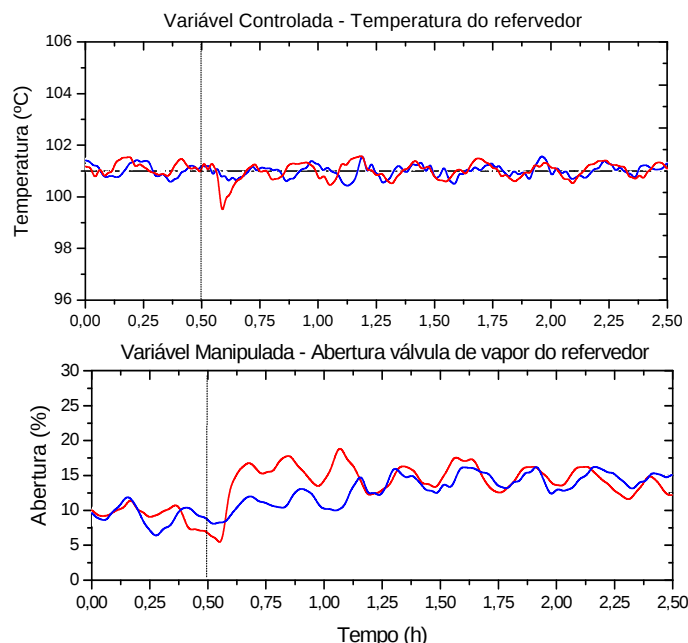


Figura 5. Resposta da malha de controle da temperatura do refeedor em relação a perturbação na vazão da alimentação na comparação entre o controle convencional (—), e o controle distribuído aplicado no prato 2 (—).

Da mesma forma que na seção de esgotamento, a seção de retificação é afetada pela perturbação da vazão de alimentação em função do decréscimo do perfil de temperatura. Pela análise da Figura 6, verifica-se o efeito da perturbação na temperatura do último estágio. O decréscimo da temperatura ocorreu apenas na configuração convencional, decorrente da redução da fase vapor observada ao longo da coluna.

Outro fator importante a ser destacado na Figura 6 é o comportamento diferente da válvula de refluxo no controle de temperatura do prato 13. Em função do aumento da potência dissipada pela resistência, no momento da perturbação na vazão, ocorreu um pequeno aumento do perfil de temperatura, suficiente para manter a abertura da válvula em patamares superiores, conseqüentemente promovendo maior vazão de refluxo.

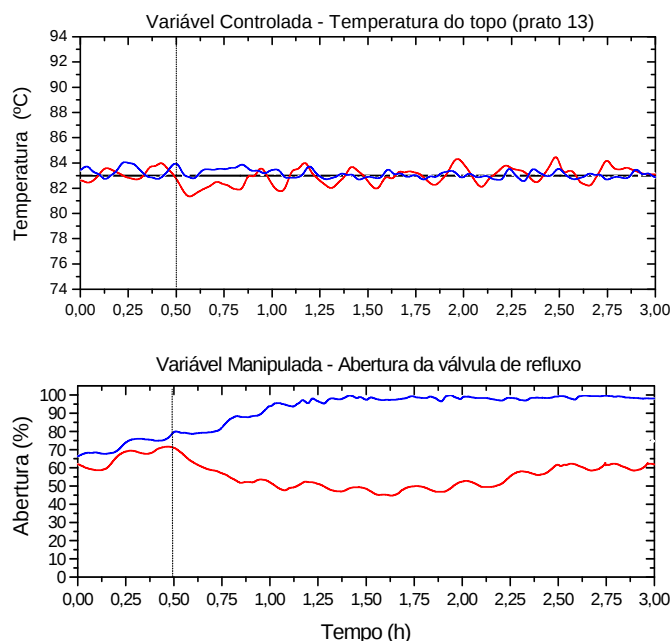


Figura 6. Resposta da malha de controle da temperatura do último estágio em relação a perturbação na vazão da alimentação na comparação entre o controle convencional (—), e o controle distribuído aplicado no prato 2 (—).

Os perfis das temperaturas do prato 2 são ilustrados na Figura 7, onde se observa que, logo após a perturbação, ocorre um decréscimo da temperatura do prato 2, para ambas as configurações. Verifica-se que na ação distribuída esse efeito foi mínimo, devido ao fornecimento instantâneo de energia através da resistência elétrica, diferentemente do que ocorre quando se utiliza a configuração convencional, onde ocorreu um decréscimo de temperatura de aproximadamente 3°C. Além disso, observou-se que com a resistência R2 a temperatura do prato apresenta um comportamento menos oscilatório, devido à ação de controle.

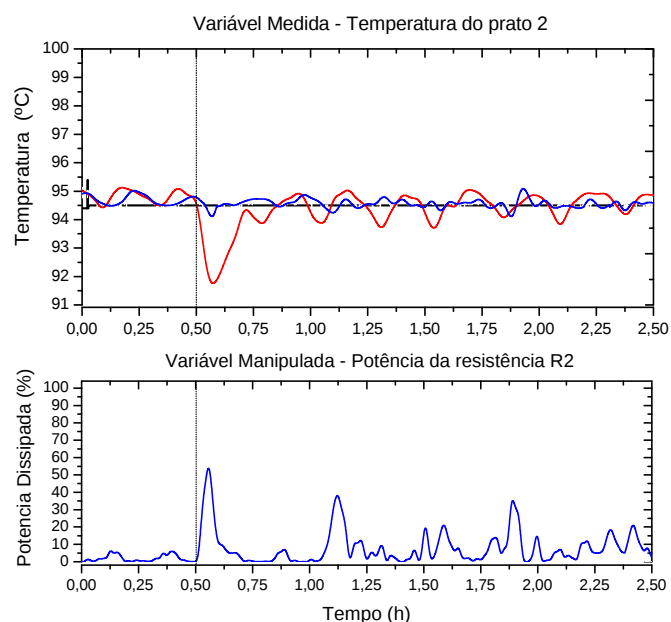


Figura 7. Efeito da perturbação na vazão de alimentação no controle da temperatura do prato 2 com controle distribuído no prato 2 (—) e sem ação de controle para o caso convencional (—).

De forma geral, o controle distribuído apresentou um desempenho melhor em comparação com o controle convencional. O comportamento das variáveis tornou-se menos oscilatório e os controladores mantiveram as

variáveis controladas mais próximas dos valores desejados após a perturbação, para todas as malhas de controle que foram afetadas pela perturbação.

Os resultados encontrados nos cálculos das energias térmicas envolvidas nas correntes, antes e após a realização da perturbação na vazão da alimentação calculados através do balanço global de energia são apresentados na Figura 8.

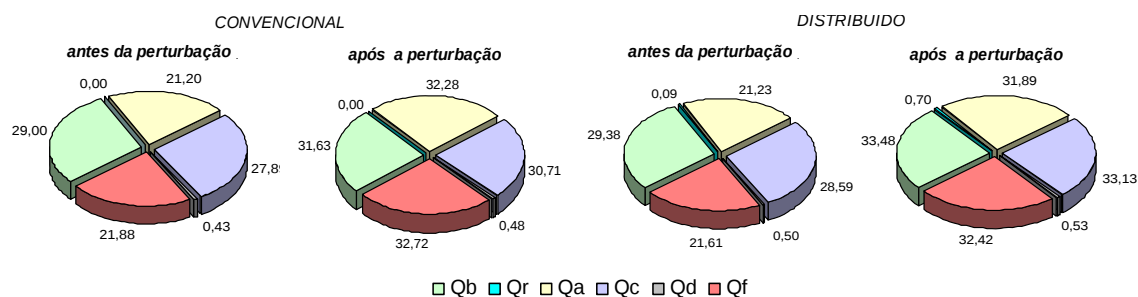


Figura 8. Energias térmicas das correntes e da resistência (kW) calculados em estado estacionário antes e após a perturbação da vazão da alimentação para a configuração convencional e distribuída.

Observando os valores absolutos de energias encontrados para as correntes se constata que para a configuração com ação distribuída a quantidade de calor fornecida após a perturbação na vazão da alimentação foi um pouco maior. A maior carga térmica fornecida à coluna na configuração distribuída, principalmente após a perturbação, é decorrente da maior quantidade de refluxo nesta configuração, fato que é confirmado através dos resultados ilustrados na Figura 6. Em função disto, na abordagem distribuída o refeedor contribuiu com um aumento de 4,1 kW, valor superior aos 2,63 kW da configuração convencional.

Na Tabela 3 são apresentados valores da carga térmica total fornecida à coluna, pela sua análise verifica-se que houve um incremento de energia após a perturbação, que foi de 27,3% para a configuração convencional e 30,3% para a configuração com ação distribuída.

Tabela 3. Carga térmica total* fornecida à coluna antes e após a perturbação na vazão da alimentação.

	Carga térmica total (kW)	
	antes da perturbação	depois da perturbação
Controle convencional	50,20	63,91
Controle distribuído	50,70	66,07

*Carga térmica total adicionada = Soma da energia térmica da alimentação, refeedor e resistência.

A comparação entre os perfis de temperatura obtidos experimentalmente e os obtidos através de simulações no Hysys® é apresentada na Figura 9. A comparação indica um perfil similar, com temperaturas ligeiramente superiores na simulação do que no experimento com a configuração convencional. Os valores encontrados para as correntes antes e após a perturbação na vazão da alimentação, tanto em termos de vazões, composições e carga térmica, assemelham-se muito aos valores dos experimentos, conforme mostrado na Tabela 4.

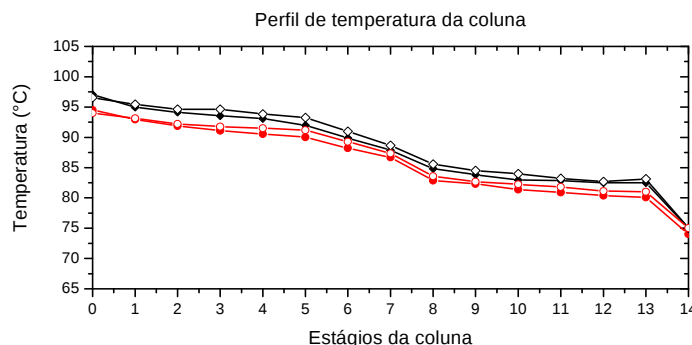


Figura 9. Comparação entre o perfil de temperatura experimental para controle convencional (---■---) antes e depois (---□---) da perturbação na vazão da alimentação e na simulação realizada com Hysys antes (---●---) e depois (---○---) convencional.

Tabela 4. Comparação entre os valores obtidos experimentalmente e através das simulações, para controle convencional, aplicado antes e após a perturbação na vazão da alimentação.

Parâmetros	Hysys [®]		Experimental	
	antes	após	antes	após
Q_b (kW)	29,97	33,92	28,99 ¹	31,625 ¹
Q_c (kW)	28,02	31,58	27,88 ²	30,71 ²
X_{et} base (v v)	0,066	0,074	0,05	0,060
X_{et} topo (v v)	0,886	0,894	0,860	0,850
T_b (°C)	97,08	96,55	94,50	94,00
T_{dest} (°C)	73,68	75,50	74,90	75,00
Vazão Refluxo (L/h)	104,00	119,94	110,00	115,00
Vazão Destilado (L/h)	12,00	14,00	13,00	14,00

¹ Calculado a partir do balanço de energia e dados experimentais.

² Calculado a partir de dados experimentais.

As simulações serviram para confirmar alguns efeitos esperados no interior da coluna, os quais não podem ser determinados experimentalmente, como por exemplo, o perfil de fração e vazão volumétrica. Adicionalmente, os resultados das simulações apresentaram boa concordância com os resultados experimentais, os quais consistem na principal contribuição deste trabalho.

5. CONCLUSÃO

Quando avaliada a abordagem distribuída de controle em relação à convencional para uma perturbação na vazão de alimentação, verificou-se a redução no tempo de transição da coluna; o controle tornou-se menos oscilatório na maioria das malhas; houve redução das oscilações na variável controlada e retorno ao ponto de operação, com rejeição da perturbação aplicada.

A distribuição de calor apresentou melhor desempenho dos controladores e manteve vazões de refluxo maiores (situação mais otimizada), quando comparada com a configuração convencional. Com isso, observou-se que a perturbação introduzida é rapidamente rejeitada quando utilizada a abordagem proposta neste estudo.

Os resultados das simulações com *software* comercial Hysys[®] apresentaram boa concordância com os valores encontrados experimentalmente.

Assim, a introdução de aquecimento distribuído ao longo da coluna mostrou-se como uma opção válida para a redução de transientes, possibilitando uma dinâmica mais rápida e menores volumes processados fora dos parâmetros de qualidade pré-definidos, acarretando desta forma, menor consumo energético com reprocessamento ou mesmo com a degradação de alguns produtos. Com isso conclui-se que pontos de ação distribuídos podem ser utilizados para o controle do processo e, por conseguinte promover a minimização dos transientes de uma unidade industrial.

6. 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.

7. REFERÊNCIAS

- BJÖRN, I.N.; GRÉN, U.; SVENSON, F. Simulation and experimental study of intermediate heat exchange in a sieve tray distillation column. **Computers & Chemical Engineering**, v. 26, p. 499-505, 2002.
- JIMENEZ, E. S.; SALAMON, P.; RIVERO, R.; RENDON, C.; HOFFMANN, K.H.; SCHALLER, M.; ANDRESEN, B. Optimization of diabatic distillation column with sequential heat exchangers. **Industrial Engineering Chemical Research**, v. 43, p. 7566-7571, 2004.
- MARANGONI, C. **Implementação de uma Estratégia de Controle com Ação Distribuída em uma Coluna de Destilação**. Tese. (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Química e Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2005.
- NOORAI, A.; FIGUEROA, J. Process, identification, uncertainty characterisation and robustness analysis of a pilot scale distillation column. **Journal of Process Control**, v.9, n 3, p.247-264, 1999.
- PASETTI, G. **Instrumentação, Controle e Supervisão de uma Coluna de Destilação Piloto Utilizando Tecnologia Foundation Fieldbus**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2005.

- PINTO, L.T. **Aplicação de Colunas de Múltiplo-Efeito na Destilação do Sistema Etanol-Água. Economia de Energia.** Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Produção). UFSC, Florianópolis, 1987.
- RIVERO, R. Application of the exergy concept in the petroleum refining and petrochemical industry. **Energy Conversion and Management**, v. 43, p. 1199-1220, 2002
- RIGGS, J. B. Improve Distillation Column Control, **Chemical Engineering Process**, October, p. 31-47, 1998.
- SAUAR, R.; RIVERO, R.; KJELSTRUP, S.; LIEN, K.M. Diabatic column optimization compared to isoforce columns. **Energy Conversion and Management**, v. 38, p. 1777-1783, 1997.
- SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICAMP, D. A. **Process Dynamics and Control**, John Wiley & Sons, Singapore, 1989.
- SHINSKEY, F. G. **Process Control System – Application, Design and Tuning**, McGraw-Hill Book Company, 1996.
- SPEIGHT, J. G. **The chemistry and technology of petroleum**, Marcel Dekker, 3ªed, New York, 918p. 1999.

PAPER TITLE

USE OF DISTRIBUTED HEATING IN A DISTILLATION COLUMN: EFFECT OF THE DISTURBANCE ON THE FEEDING FLOW RATE

Leandro O. Werle¹ (UFSC), Cintia Marangoni² (UFSC), Fernanda R. Steinmacher³ (UFSC), Pedro H.H de Araújo⁴ (UFSC), Ricardo. A. F. Machado⁵ (UFSC), C. Sayer⁶ (UFSC).

Chemical Engineering Department – Federal University of Santa Catarina – Technological Center
University Campus, Mail Box 476 – ZIP Code 88010-970 Florianópolis – SC – Brazil
Phone Number: 55-48-3721-9454 Fax: 55-48-3721-9454. E-mail: leandro@enq.ufsc.br

Changes of market conditions and the operation of industrial plants at limit conditions, make extremely difficult the maintenance of the processes involved in these plants at the points of maximal profitability. Due to the processed volumes and to the involved operational costs distillation columns require control systems adjusted to reject disturbances quickly. However, the non-linear behavior presented by the distillation columns, associated to the variable coupling, operation restrictions, high time constants and the presence of a delay in the response generates high transients when the process is disturbed, even with a well adjusted control system. The control of distillation columns is usually carried out in a centralized way at the bottom and top variables, increasing then the response time. In previous works of this group it was proposed and implemented a distributed control strategy through electric resistances started by potency variators on the trays of a distillation column scored with protocol Foundation *fielbus* seeking the minimization of the operation transient. In these works the effect of the distributed control was verified in the startup of the operation and in the rejection of disturbances on the temperature and on the composition of the feeding stream. In the present work the effect of the distributed control is evaluated, through the electric resistance located on an intermediate tray of the column, when a disturbance is applied on the feeding flow in experiments carried out with the ethanol-water mixture. Disturbances on the load, for example, on the feeding flow, are transmitted along the whole column generating a very long transient. The comparison of the experiment results with the distributed control (bottom, top and second tray of the column) and the results of a similar experiment carried out with the conventional approach (applied at the bottom and top of the column) showed that the distributed control led to a less oscillatory behavior, kept the controlled variables closer to the desired values after the disturbance introduction and reduced the transition time. In addition, an energy evaluation was carried out being observed that the total thermal requested load of the process was practically the same for the two configurations. The simplifier hypotheses adopted in the energy evaluation were corroborated through simulations with the commercial software Hysys.Process®, a good agreement was observed. With this, it was verified that the introduction of intermediate heating points is a viable alternative in order to improve the process performance.

Key words: distillation column, distributed heating, transients.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.