

ESTUDO DA ETAPA DE AQUECIMENTO NA PARTIDA DE UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO COMPARANDO OS EFEITOS DA AÇÃO DISTRIBUÍDA DE CALOR COM A CONVENCIONAL

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

Colunas de destilação apresentam um elevado período de transição até o estado estacionário ser atingido, este período pode levar desde horas até dias dependendo das características construtivas e operacionais. Tal período compreende a partida da operação de destilação, que representa uma das etapas mais complexas deste processo. A não linearidade do processo associada a histerese das válvulas de controle e o acoplamento das variáveis contribuem para elevar a complexidade da operação e do seu controle de forma adequada para que seja possível minimizar tais transientes. Aplicando um procedimento de partida adequado com o uso de aquecimento distribuído nos pratos aumenta-se a flexibilidade de operação e reduz-se o tempo da fase de aquecimento da coluna, essa ação mais descentralizada proporciona, conseqüentemente, uma redução dos custos operacionais envolvidos. A literatura técnica disponível apresenta poucos relatos de estudos sistemáticos sobre estratégias para a redução do tempo de transição na partida de unidades de destilação. Visando a redução deste transiente, este trabalho propõe o uso de uma alimentação de calor distribuída ao longo da coluna durante a sua partida. Para validar a estratégia proposta utilizou-se uma unidade de destilação construída de forma modular, sendo cada módulo composto de um prato perfurado com passo triangular contendo uma resistência elétrica com 3,5kW de potência e um Pt100. A resistência elétrica permite que seja alimentado calor ao longo da coluna de acordo com o perfil de aquecimento desejado. A unidade foi instrumentada com sensores e válvulas inteligentes, utilizando-se o protocolo *fieldbus* e operada através de um sistema supervisão. Nos experimentos conduzidos neste trabalho a coluna foi configurada com 13 pratos, com alimentação no quarto prato, sendo a vazão de alimentação utilizada de 300 L.h⁻¹ de uma mistura de etanol e água em uma composição de 15% em volume de etanol e com temperatura inicial de 25°C e final de 75°C. Inicialmente a coluna foi operada da forma convencional, com fornecimento de calor apenas no refeedor. No experimento seguinte foi fornecido calor em um ponto intermediário, segundo prato, através do acionamento da resistência com 50% de sua capacidade, sendo a outra fonte de calor, o refeedor na base da coluna. A comparação entre as duas formas de operação permitiu concluir que a temperatura de cada prato na seção de esgotamento aumenta a uma taxa maior quando se utilizam as resistências. Portanto, o aquecimento distribuído permitiu que as temperaturas da alimentação, acumulador, topo e base da coluna, atingissem o regime permanente em intervalos de tempos inferiores aos do processo convencional. Através da realização de medições de composição dos produtos de fundo e topo mostrou-se que o estado estacionário atingido em ambos os casos foi o mesmo. Desta forma, os resultados obtidos e a análise do comportamento dinâmico da fase de aquecimento da coluna indicam que o uso de um sistema de aquecimento que atua de forma distribuída, através de resistências elétricas nos pratos da coluna, resultou na redução do tempo de partida do processo, principalmente, o tempo da etapa de aquecimento inicial.

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

1. INTRODUÇÃO

O custo energético empregado em sistemas de destilação geralmente é muito elevado e a etapa de partida tem uma contribuição grande neste custo, com isso existe uma preocupação quanto à otimização dessas quantidades empregadas visando a redução desse transiente e o melhor aproveitamento dessa energia.

Muitos processos contínuos de destilação se caracterizam pela necessidade freqüente de paradas/partidas. Dependendo das características construtivas e operacionais, a partida (*startup*) de uma coluna de destilação pode apresentar um elevado período de transição até que atinja o estado estacionário.

A natureza de transição, elevado tempo morto, associada à histerese das válvulas de controle e o acoplamento das variáveis contribuem para elevar a complexidade da operação e do seu controle de forma adequada para que seja possível minimizar tais transientes. Segundo Wozny e Li (2004), em virtude de todas essas dificuldades a partida de uma coluna de destilação pode ser considerada uma das operações mais difíceis na indústria química.

De acordo com Ruiz *et al.* (1988), problemas hidráulicos e mecânicos também são comuns na partida de uma unidade de destilação, estes últimos estão relacionados com a ocupação completa do líquido no *downcomer* e do vapor nas perfurações dos pratos, o aumento da pressão do líquido acumulado no prato (*holdup*), dentre outros. Por estes motivos, o ajuste das vazões é muito importante e deve ser cuidadosamente realizado.

Desta forma, a etapa de partida requer prática e conhecimento do operador devido à diversidade de variáveis envolvidas no processo. A implementação de um procedimento adequado à partida da coluna de destilação permite maior rapidez no alcance do estado estacionário e, conseqüentemente, minimizará a produção de produtos fora da especificação, reduzindo gastos e melhorando a operação da unidade. A partir desta análise, o objetivo deste trabalho é reduzir o tempo necessário para realizar o aquecimento da coluna (fase de partida). Para tanto foi proposto um novo procedimento: a distribuição de calor ao longo da coluna.

A modificação proposta para a introdução de aquecimento intermediário vem ao encontro da necessidade das refinarias em otimizar seus processos e reduzir o gasto com energia, principalmente durante a partida da unidade ou durante transientes de operação, causados por perturbações. É uma alteração simples e consiste apenas no aquecimento local de pratos da coluna, através de resistências as quais terão o fornecimento de calor controlado por meio de um variador de potência.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Partida Convencional

O procedimento mais clássico indicado na literatura para uma partida convencional é o sugerido por Foust *et al.* (1982). Os passos consistem em injetar a alimentação na coluna, que é direcionada ao refeedor, sendo então vaporizada. Em seguida o vapor ascende até o condensador, onde retorna à coluna. A coluna opera em refluxo total durante um intervalo de tempo suficiente para que a composição do destilado se aproxime da composição desejada. Uma vez atingida a composição do destilado sob refluxo total, inicia-se a coleta do destilado e do produto de base, adicionando-se simultaneamente carga para completar o período de transição da operação.

Estudos com configurações alternativas de partida e operação de colunas de destilação também foram propostos, uma delas é a configuração invertida, proposta por Fieg e Wozny (1993), a qual consiste em retirada de produto de base e refluxo total. Sørensen e Skogestad (1996) ainda propuseram a inicialização da operação de partida com a utilização do componente leve devidamente destilado no condensador, proporcionando um refluxo no seu valor prescrito para que o estado estacionário seja alcançado mais rapidamente.

Steinmacher *et al.* (2004) realizaram estudos prévios da partida da unidade experimental usada neste trabalho, baseando-se no procedimento clássico descrito por Foust *et al.* (1982), porém, inserindo algumas alterações neste método, partida com líquido no tanque acumulador que já estava parcialmente preenchido com material na composição desejada, conforme proposto por Sørensen e Skogestad (1996) e também com retirada de produto de base desde o início, como descrito por Fieg e Wozny (1993). O procedimento de partida avaliado por Steinmacher *et al.* (2004) também foi adotado no presente trabalho e a descrição do método utilizado será detalhadamente descrito no item Procedimento Experimental.

2.2 Partida com Aquecimento Distribuído

O aquecimento distribuído de coluna é aplicado em processos de destilação diabática que objetivam a economia energética da coluna, conforme Agrawal e Herron (1998) e Björn *et al.* (2002). Esta configuração é ilustrada na Figura 1 que apresenta uma coluna hipotética sem e com aquecimento distribuído. O aquecimento intermediário da coluna, nos trabalhos de Agrawal e Herron (1998) e Björn *et al.* (2002), foi realizado utilizando trocadores de calor sequenciais em cada prato ao contrário das colunas adiabáticas clássicas, onde o calor somente é fornecido pelo refeedor e retirado pelo condensador.

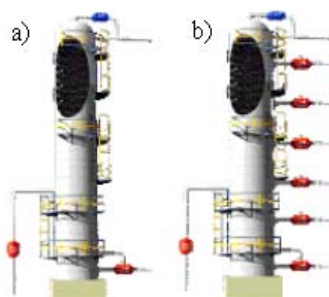


Figura 1. Configuração de uma coluna hipotética (a) convencional; (b) com aquecimento distribuído.

Marangoni (2005) desenvolveu e implementou, em um projeto anterior do grupo, uma proposta alternativa para a introdução de aquecimento distribuído, a qual foi adotada no presente trabalho. Nesta proposta alternativa foram utilizados pontos de aquecimento intermediários, através de resistências elétricas nos pratos da coluna, que têm o fornecimento de calor controlado por meio de um variador de potência, para minimizar os transientes gerados por perturbações comuns de colunas de destilação. Portanto, a diferença em relação aos trabalhos encontrados na literatura é a forma como é realizado o aquecimento dos pratos, por meio de resistências e não de trocadores de calor.

A literatura técnica disponível apresenta poucos relatos de estudos sistemáticos sobre estratégias para a redução do tempo de transição na partida de unidades de destilação que operam em regime contínuo. Visando a redução deste transiente, este trabalho propõe o uso de uma alimentação de calor distribuída ao longo da coluna durante a sua partida para verificar seu desempenho nesta etapa, em particular na etapa de aquecimento.

O procedimento de partida adotado para o aquecimento da coluna de forma distribuída consiste na mesma metodologia utilizada no aquecimento convencional, porém com o acionamento da resistência do prato especificado.

3. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em uma coluna de destilação, totalmente instrumentada em *fieldbus*, conforme descrito no item apresentado a seguir.

3.1 Unidade Experimental

Para validar a estratégia proposta utilizou-se uma unidade de destilação, representada esquematicamente na Figura 2, construída de forma modular. Cada módulo (com 0,15 m de altura e 0,20 m de diâmetro) é composto de um prato perfurado com passo triangular contendo uma resistência elétrica com 3,5kW em cada prato, conforme mostra a Figura 3b, que é acionada por variador de potência. A medição de temperatura de cada prato é feita através de um Pt10.

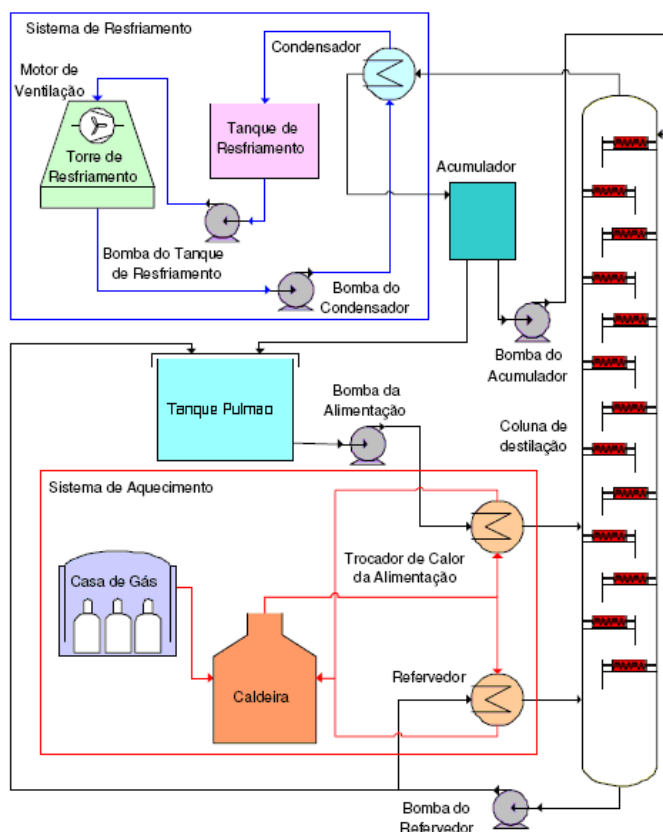


Figura 2. Esquema geral da unidade piloto de destilação.
(Fonte: Pasetti, 2005)

A unidade de destilação é composta de 13 pratos com alimentação no quarto prato. A coluna é aquecida na base por um trocador de calor a placas e resfriada no topo por um condensador. O acumulador é responsável por receber o vapor condensado e assim garantir a razão de refluxo. O tanque pulmão é utilizado para produzir a alimentação da coluna, resultado das correntes de topo e fundo.

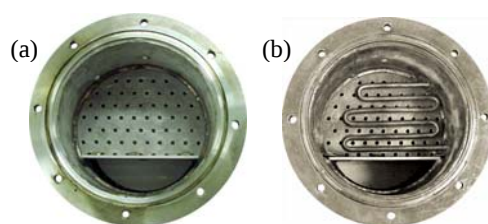


Figura 3. Vista superior dos módulos com detalhamento do prato (a) Convencional, (b) Com resistência elétrica.

A unidade foi instrumentada com sensores e válvulas inteligentes, utilizando-se o protocolo *fieldbus* e operada através de um sistema supervisor, conforme ilustra a Figura 4.

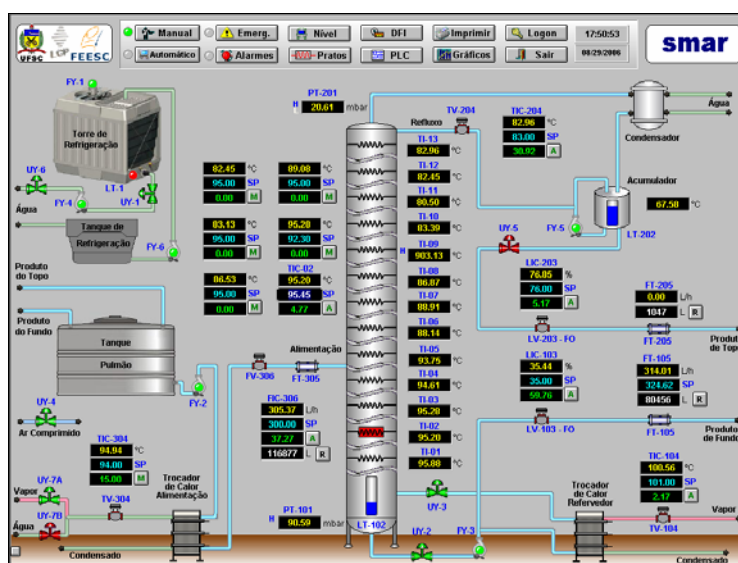


Figura 4. Vista geral do processo através da tela do sistema supervisor.

No sistema supervisor é possível configurar as malhas de controle, ajustar os parâmetros dos controladores e observar todo o processo através das ações que estão sendo tomadas no momento, bem como acompanhar tendências.

Os controladores de potência existentes na unidade, destinados ao controle do nível de energia entregue a resistência, podem ser acionados através do sistema supervisor. As resistências são escolhidas pelo operador de acordo com um critério de seleção pré-definido. Desta forma, cada atuador destina-se a controlar uma, dentre duas (ou três) resistências existentes em cada seleção. A Figura 5 apresenta as seleções das resistências que podem ser utilizadas, usando a tela do programa supervisor.



Figura 5. Seleção das resistências para cada prato no controle distribuído.

A seleção da malha a ser utilizada pode ser realizada localmente, através do acionamento manual de chaves existentes num painel, ou via supervisão, através do PLC, que possui um intertravamento redundante executado por *software* na CPU do equipamento. Posteriormente o sinal é enviado para o intertravamento mecânico no painel de controle.

3.2 Procedimento Experimental

Os ensaios foram realizados processando uma mistura composta de água e etanol. A alimentação consistiu de líquido sub-resfriado com vazão de 300 L/h, inserida no quarto prato. No primeiro experimento a coluna foi operada da forma convencional, com fornecimento de calor apenas no refeedor. No seguinte, o fornecimento de calor foi realizado através do refeedor e em um ponto intermediário (no segundo prato da coluna), acionando a resistência, conforme ilustrado na Tabela 1.

As composições volumétricas de etanol da corrente de alimentação e do tanque acumulador (parcialmente preenchido com a mistura na composição desejada) no início dos experimentos foram de 15 e 80%, respectivamente.

Tabela 1. Esquema da realização dos experimentos e fornecimento de calor.

<i>Experimentos</i>	<i>Exp 1</i>	<i>Exp 2</i>
	(Convencional)	(Aquec.Distribuído)
Refeedor	VV8%*	VV8%
Resistências	----	R2 50%**

* Válvula de vapor, modo manual com abertura de 8%

** Resistência elétrica do segundo prato, acionada com 50% de sua capacidade.

Na partida da coluna de destilação, a corrente de alimentação é introduzida de forma contínua e controlada. O processo é fechado, ou seja, as correntes de produto de base e topo retornam para o tanque pulmão do qual sai a corrente de alimentação. Assim, inicia-se a partida com a retirada de produto de base (controle do nível da base). A mistura líquida proveniente da alimentação desce até a base da coluna, onde o trocador de calor aquece e vaporiza esta corrente. O vapor da mistura ascende pela coluna aquecendo-a prato-a-prato até atingir o condensador. A mistura condensada é recebida pelo acumulador, que já está parcialmente preenchido com material na composição desejada para a corrente de refluxo. Em seguida inicia-se a etapa de refluxo e espera-se até que uma situação estável (quando a derivada da temperatura é nula em relação ao tempo) seja atingida com refluxo total. A partir deste momento, inicia-se a retirada de produto de topo (controle do nível do acumulador). O estado estacionário é determinado assim que a temperatura do acumulador e a composição do topo não variam com o tempo. Medidas de composição volumétrica corroboram esta avaliação.

As vazões das correntes de alimentação, produto de base e topo são obtidas a partir de um orifício integral acoplado a um medidor diferencial de pressão. As temperaturas dessas três correntes, além das temperaturas de cada estágio da coluna são adquiridas por sensores do tipo Pt-100. As composições são estimadas a partir de resultados obtidos com densímetro para álcoois.

4. RESULTADOS

Para avaliar o desempenho e verificar o efeito da distribuição do calor ao longo da coluna sobre a partida do processo realizaram-se experimentos, com os procedimentos expostos na Tabela 1.

O comportamento da temperatura da alimentação nos dois experimentos realizados pode ser verificado através da Figura 7, que mostra a elevação da temperatura da alimentação durante a partida da coluna. Este aumento ocorre porque parte do líquido aquecido da base é enviado ao tanque pulmão através da corrente de produto de fundo, com isso a temperatura da alimentação aumenta gradativamente até ser alcançado o regime permanente.

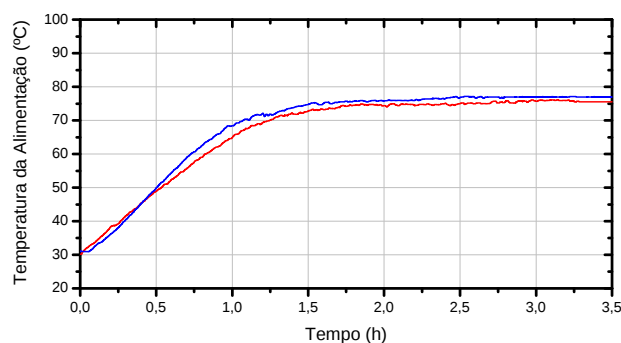


Figura 7. Temperatura da alimentação, convencional (—) e com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

Com a aplicação da derivada pode-se observar melhor o efeito do aquecimento distribuído quando comparado com o convencional. Estas derivadas foram obtidas a partir de funções sigmoidais, ajustadas para descrever a temperatura da alimentação em cada um dos casos. O aquecimento distribuído permitiu que o estado estacionário fosse alcançado mais rapidamente, não variando mais a temperatura da alimentação em relação ao tempo, conforme a Figura 8.

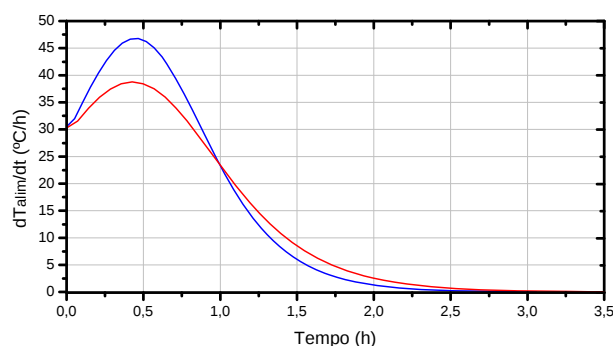


Figura 8. Derivada da temperatura da alimentação em função do tempo, convencional (—) e com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

Nestes experimentos foi observado um comportamento característico da unidade durante a partida da coluna: a diferença no aquecimento dos pratos entre as seções da coluna. Os pratos da seção de esgotamento possuem uma região de aquecimento linear, que representa a etapa 1, indicada na Figura 9, a qual não é observada na seção de retificação, como mostrado na Figura 10. Os perfis de temperatura da coluna tanto da seção de esgotamento (prato 3), quanto da seção de retificação (prato 13) para os dois experimentos são apresentados nas Figuras 9 e 10, respectivamente. O prato 3 foi escolhido para ilustração da seção de esgotamento por ser o prato que melhor representa o efeito da adição de calor, que foi realizada no prato anterior.

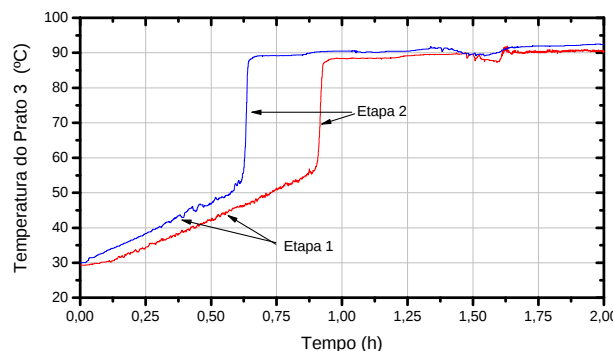


Figura 9. Perfis de temperatura do terceiro prato durante a partida do processo – seção de esgotamento, convencional (—) e aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

A região linear é observada em virtude do aquecimento da coluna e da mistura presente no tanque pulmão, pois o líquido de alimentação desce pelos pratos da seção de esgotamento e ainda está sendo aquecido pelo produto de base. Observa-se um período no qual o aquecimento é lento até que se alcance a temperatura de bolha da mistura quando então ocorre rapidamente o aquecimento do prato propriamente, representado na Figura 9 através da etapa 2. Este mesmo comportamento foi observado por Wang *et al.* (2003) e por Steinmacher *et al.* (2004).

Em relação aos perfis de temperatura do terceiro prato, verifica-se que o aquecimento adicionando calor através da resistência R2 é mais rápido do que somente com o calor da base (refervedor), conforme mostra a Figura 9. Através da Figura 11 foram obtidos os coeficientes angulares das retas do trecho linear, os quais são mostrados na Tabela 2. Pela análise destes coeficientes pode-se verificar a “velocidade” do aquecimento, os resultados mostram que para o aquecimento distribuído o coeficiente angular obtido foi maior, corroborando a análise anterior, de que o aquecimento distribuído reduz o tempo necessário para que a temperatura final do prato seja atingida. Além disso, conforme mostram as Figuras 9 e 10, as temperaturas do prato 3 e do topo para o aquecimento distribuído atingiram praticamente os mesmos valores alcançados pelo aquecimento convencional.

A comparação em relação ao desempenho dos dois tipos de configurações através da temperatura do último estágio é representada pela Figura 10, onde se verifica que o aquecimento distribuído obteve o melhor desempenho, com uma ação mais rápida e uma redução no tempo necessário para alcançar a temperatura desejada no topo da coluna.

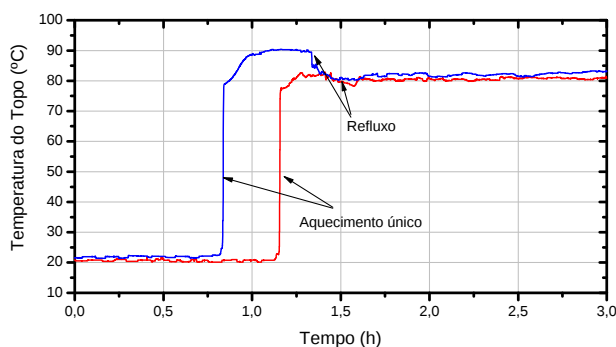


Figura 10. Perfis de temperatura do décimo terceiro prato durante a partida do processo – seção de retificação, convencional (—) e com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

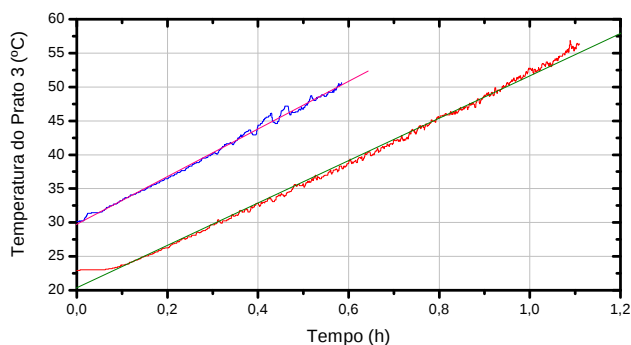


Figura 11. Linearização dos perfis de temperatura do prato 3, no trecho retilíneo, convencional (—), com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—), ajuste linear convencional (—) e ajuste linear distribuído (—).

Os parâmetros dos ajustes realizados nas curvas das temperaturas da Figura 11 são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do ajuste das etapas lineares do aquecimento do prato 3.

Modelo ajustado	Regressão Linear (Convencional)	Regressão Linear (Aquec. Distribuído)
Equação	$Y = 31,532.X + 26,978$	$Y = 35,155.X + 29,761$
R^2	0.99702	0.99797

O comportamento da temperatura da base durante as partidas estudadas pode ser verificado na Figura 12. Novamente o aquecimento distribuído apresentou uma ação mais rápida, quando comparado com o aquecimento convencional.

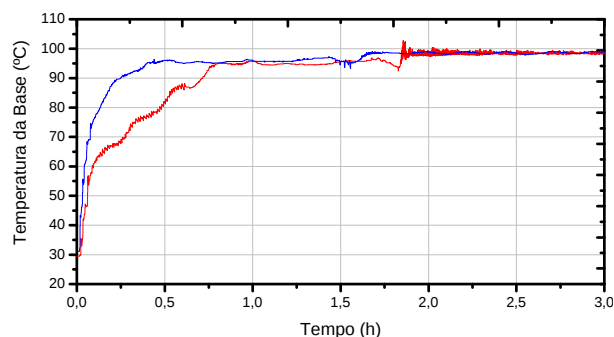


Figura 12. Aquecimento da base, convencional (—) e com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

Para avaliar melhor o efeito do aquecimento distribuído são comparadas as evoluções das derivadas da temperatura da base. Estas derivadas também foram obtidas a partir de funções sigmoidais, ajustadas para descrever a temperatura da base em cada um dos casos, conforme mostra a Figura 13.

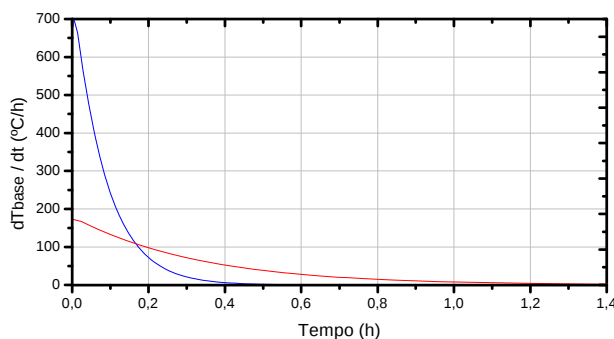


Figura 13. Derivada da temperatura da base em função do tempo, convencional (—) e com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

Para complementar a análise dos efeitos do aquecimento distribuído e também ajudar a caracterizar o estado estacionário foram realizadas medidas de composição volumétrica durante os experimentos. O perfil de fração de etanol obtido na base da coluna pode ser observado na Figura 14, os resultados corroboram as análises anteriores, pois a fração volumétrica de etanol se estabilizou antes para o aquecimento distribuído do que para o convencional.

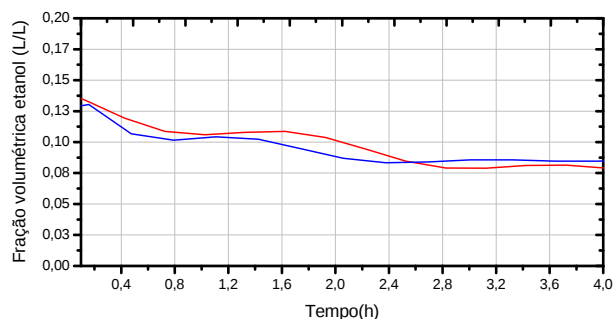


Figura 14. Perfil de fração volumétrica de etanol na base para a comparação das partidas, convencional (—) e com aquecimento distribuído aplicado no prato 2 (—).

Para finalizar, na Figura 15 pode-se verificar detalhadamente o tempo necessário para cada etapa da partida da coluna e como o aquecimento distribuído influencia na redução do tempo de cada uma. Nesta figura percebe-

se claramente o efeito do uso do aquecimento distribuído em relação ao convencional, principalmente nas etapas 1 e 3. Cabe ressaltar que o foco principal deste estudo foi voltado para a análise da etapa 1 da partida da coluna que constitui a fase de aquecimento da coluna, fase que necessita de maiores cuidados e de grande quantidade de energia.

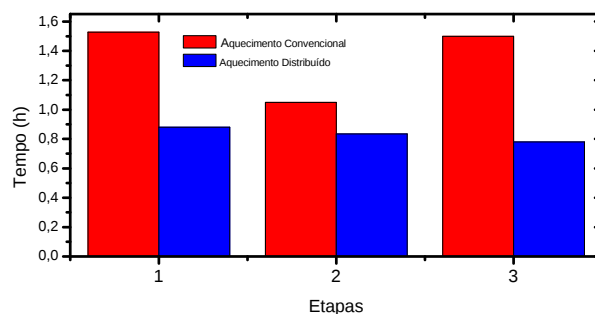


Figura 15. Etapas da partida: 1. Aquecimento 2.Refluxo Manual 3. Refluxo + produto de topo no automático.

5. CONCLUSÃO

A comparação entre as duas formas de operação, convencional e com aquecimento intermediário no prato, permitiu concluir que as temperaturas dos pratos da seção de esgotamento aumentam a uma taxa maior quando se utiliza o aquecimento distribuído através das resistências. Portanto, o aquecimento distribuído permitiu que as temperaturas da alimentação, topo e base da coluna, atingissem o regime permanente em intervalos de tempos inferiores aos do processo convencional. Através da realização de medições de composição dos produtos de fundo e topo, bem como da comparação dos perfis de temperatura destas correntes, verificou-se que o estado estacionário atingido em ambos os casos foi o mesmo. Assim, a introdução de aquecimento distribuído ao longo da coluna mostrou-se como uma opção válida para a redução do tempo de partida, possibilitando uma dinâmica mais rápida e menores custos de operação durante este período.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo – 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

- AGRAWAL, R.; HERRON, D.M. Intermediate reboiler and condenser arrangement for binary distillation column. **AIChE J.**, v. 44, p 1316-1324, 1998.
- BUDIMAN, A.; ISHIDA, M. Optimal side heating and cooling in a distillation column. **Energy**, v. 23, p 365-3720, 1998.
- 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.
- FIEG, G; WOZNY, G. Experimental and theoretical studies of the dynamics of startup and product switchover operations of distillation columns **Chemical Engineering and Processing**, v. 32, p. 283-290, 1993
- FOUST, A. S. Princípio das Operações Unitárias. Editora Guanabara Dois, 2 edition, 1982.
- KOEIJER, G.; ROSJORDE, A.; KJELSTRUP, S. Distribution of heat exchangers in optimum diabatic distillation columns. **Energy**, v. 29, p 2415-2440, 2004.
- MARANGONI, C. **Controle Distribuído de uma Coluna de Destilação de Derivados de Petróleo**. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC, 2005.
- RIVERO, R. Exergy simulation an optimization of adiabatic and diabatic binary distillation. **Energy**. 26:561–93, 2001
- RUIZ, C. A., CAMERON, I. T., GANI, R. A. Generalizes dynamic model for distillation columns – III. Study of startup operations **Computers & Chemical Engineering**, v. 12, n. 1, p. 1-14, 1988.
- SHINSKEY, F. G. *Distillation Control*. Mc –Graw-Hill, 2ed . Massachusetts, 1985
- SCHALLER, M.; HOFFMANN, K.H.; SIRAGUSA, G.; SALAMON, P.; ANDRESEN, B. Numerically optimized performance of diabatic distillation columns. **Computers & Chemical Engineering**, v. 25, p 1537-1548, 2001.

- SØRENSEN, E., SKOGESTAD, S. Optimal startup procedures for batch distillation. **Computers & Chemical Engineering**, v. 20, suppl, p. S1275-S1262, 1996.
- STEINMACHER, F.R., MARANGONI, C., MACHADO, R.F.A., ARAÚJO, P.H. Avaliação de partidas e definição das condições de operação de coluna de destilação. **Anais do Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás**, 2004.
- PASETTI, G. **Instrumentação, Controle e Supervisão de uma Coluna de Destilação Piloto Utilizando Tecnologia Foundation Fieldbus**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSC, 2005.
- WANG, L., LI, P., WOZNY, G., WANG, S. A startup model for simulation of batch distillation starting from a cold state. **Computers & Chemical Engineering**, v. 27, p. 1485-1497, 2003.
- WOZNY, G. E Li, P. Optimization and experimental verification of startup policies for distillation columns. **Computers & Chemical Engineering**, v 28, p 253-265, 2004.

STUDY OF THE HEATING STAGE IN THE STARTUP TIME OF A DISTILLATION COLUMN COMPARING THE EFFECTS OF THE DISTRIBUTED HEAT ACTION WITH THE CONVENTIONAL ONE

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

Distillation columns present a high transition period until it reaches the steady state, this period can take from hours up to days, depending on the constructive and operational features. Such period contains the distillation operation startup, which represents one of the most complex stages of this process. The non linearity of the process associated the histeresis of the control valves and the variables attachment contribute to increase the operation complexity and its control at an appropriate way so that it is possible to minimize such transients. Applying a startup procedure adapted with the use of distributed heating on the trays increases the operation flexibility and reduces the time of the column heating phase, this more decentralized action provides, consequently, a reduction of the involved operational costs. The available technical literature presents few reports of systematic studies on strategies for the reduction of the transition time on the startup distillation units. Seeking the reduction of this transient, this work proposes the use of a distributed heat feeding along the column during the startup. In order to validate the proposed strategy a distillation unit built in a modular way was used, being each module composed of a drilled tray with a triangular pace (or step) containing an electric resistance with 3,5kW of power and a Pt100. The electric resistance allows the heat to be fed along the column in agreement with the profile of the desired heating. The unit was scored with intelligent sensors and valves, being used the protocol fieldbus and operated through a supervisory system. In the experiments led in this work the column was configured with 13 trays, with feeding on the fourth plate, being the feeding flow rate of 300 L.h-1 of an ethanol and water mixture in a composition of 15% in ethanol volume and with initial temperature of 25°C and final of 75°C. Initially the column was operated in the conventional way, with the heat supply just in the reboiler. In the following experiment the heat was supplied in an intermediate point, second tray, starting the resistance with 50% of its capacity, being the other heat source, the reboiler in the column bottom. The comparison between the two operation ways allowed to conclude that the temperature of each plate in the exhaustion section increases to a larger rate when the resistances are used. Therefore, the distributed heating allowed that the temperatures of the feeding, accumulator, top and bottom of the column, to reach the permanent regime in time intervals of inferior to the conventional process. By performing composition measurements of the bottom and top products, it was shown that the stationary state reached in both cases was the same. This way, the obtained results and the analysis of the dynamic behavior of the column heating phase showed that the use of a heating system that acts in a distributed way, through electric resistances on the trays of the column, resulted on the reduction of the time spent during the startup procedure, mainly, the initial heating stage time.

Key words: startup, distillation column, distributed heating.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.