



Implementação de termômetros digitais de baixo custo em coluna de destilação

Thiago Tonon¹ – thiago.tonon@ifpr.edu.br
Gabriel de Moura Costa² – gabriel_m_costa18@hotmail.com
Murilo Silva Colombo² – murilo.sc.sc@gmail.com
Cid Marcos Gonçalves Andrade² – cmgandrade@uem.br
Oswaldo Curty da Motta Lima² – ocmlima@uem.br

1 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

2 – Universidade Estadual de Maringá

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de redes de sensores de temperatura aplicados em coluna de destilação. A coluna de destilação é um dos principais componentes utilizados em processos químicos. A separação dos componentes da mistura está baseada nas diferenças de volatilidade dos componentes. A fase vapor entra em contato com a fase líquida e há transferência de massa do líquido para o vapor e vice versa, pois o líquido e o vapor contêm, em geral, os mesmos componentes em quantidades relativas diferentes. Dessa maneira, conhecer exatamente a temperatura que cada segmento de uma coluna de destilação está operando proporciona uma qualidade no produto destilado. Com a leitura de temperatura interna, é possível ainda desenvolver sistemas automatizados de controle, para buscar modos de operação mais otimizados. Uma aplicação prática desenvolvida utilizando sensores de baixo custo foi desenvolvida em uma coluna de destilação presente no laboratório do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Estadual de Maringá.

Palavras-chave: : Instrumentação de Coluna de Destilação, Rede de Sensores, Arduino.

1. Introdução

O contexto atual fez com que indústrias tivessem que se adaptar há uma competitividade global antes não existente, obrigando a otimizar os processos de produção, com o objetivo de maximizar o desempenho econômico. Para concretizar tal necessidade, foi necessário a implantação de sistemas de controle, para estabilizar comportamento dinâmico (diminuindo perdas) e atingir a performance econômica desejada.

Além disso, deve-se levar em conta decisões de operação da planta, que afetarão o comportamento das operações químicas e unitárias envolvidas. Adicionalmente, é desejável que se realize um projeto do sistema de controle robusto, que tome iniciativas corretivas a um grande espectro de perturbações. O projeto de um sistema

de controle robusto tem que ser planejado de antemão com uma instrumentação adequada, já que o local dos sensores e as variáveis monitoradas afetam consideravelmente a performance dinâmica do sistema de controle.

Deseja-se, então, com este trabalho, introduzir aspectos de controle e instrumentação de uma coluna de destilação binária, como também apresentar resultados da instrumentação de uma coluna em escala laboratorial, que será posteriormente usada para validar modelos e regras heurísticas com o fim de design de rede de sensores mínima e robusta.

1.1. Controle de Coluna de Destilação

O controle é realizado em dois níveis regulatórios, com hierarquia vertical. A camada regulatória superior tem como objetivo otimizar a performance econômica da torre, levando em conta o custo da matéria-prima e energia utilizados, e o valor gerado pelos produtos. Já a camada regulatória inferior deve controlar o comportamento dinâmico da torre sob influência de uma perturbação (SKOGESTAD, 2007).

Ambas essas camadas são modeladas levando em conta os graus de liberdade da coluna, em que os graus de liberdade de estado estacionário modelam a camada superior, e os graus de liberdade dinâmicos, a camada inferior (SKOGESTAD, 2007).

1.2. Controle por Monitoramento da Temperatura

Controlar a temperatura em processos químicos é prática recorrente, e, no caso de colunas de destilação, ela oferece inúmeras vantagens, quando utilizada malha fechada com loop de tempo rápido (SKOGESTAD, 2007):

1. O controle da temperatura indiretamente estabiliza o perfil de concentrações da coluna
2. Controla indiretamente os níveis de líquido na torre
3. Diminui a sensibilidade da torre a perturbações
4. Diminui a interatividade do controle de composições, em termos do RGA (Relative Gain Array), possibilitando controle das composições com dois pontos de estado estacionário.
5. Como consequência das vantagens (1) e (2), a torre se comporta mais linearmente.

Essas vantagens ilustram os benefícios de realizar controle de temperatura em torres de destilação, já que, mesmo com o controle das vazões e dos níveis de líquidos, a coluna pode ainda ser instável, com perfil integrador nas composições. Então, deve-se analisar onde posicionar os sensores de temperatura para um controle efetivo da torre.

1.3. Critérios para Localização do Sensor de Temperatura

Visando que os sensores de temperatura instalados em uma coluna de destilação possa realizar a leitura com precisão, tornando o sistema altamente confiável, o posicionamento dos sensores também podem ser condicionado seguindo algumas regras (SKOGESTAD, 2007) (LUYBEN, 2006):

1. Especialmente em colunas em que se deseja produtos com baixa impureza, como também de maneira geral, o sensor deve ser colocado em pratos intermediários da coluna, em vez dos pratos nas extremidades.
2. Deve-se realizar controle de temperatura na seção da torre em que o produto de maior valor é concentrado. Assim é possível manter a composição praticamente constante no produto de maior interesse.
3. Deve-se colocar o sensor no prato em que a sensibilidade de estado estacionário é a maior possível. Como consequência o comportamento dinâmico é estabilizado mais rapidamente.
4. Não é recomendado colocar o sensor em uma região em que a temperatura varia

pouco de um prato para outro. Como a resposta inicial do sistema de controle depende de diferenças de temperatura entre os pratos, a resposta a uma perturbação sofrerá um delay, o que inviabiliza um loop de controle rápido.

5. Usar como variável manipulada uma vazão na mesma seção da torre onde se deseja controlar a temperatura. Caso contrário, ao utilizar uma corrente do topo para controlar a temperatura na seção inferior da torre, haverá um grande delay para que a ação de controle tenha efeito sobre a perturbação. No caso oposto, em que se usa a corrente do refeedor para controlar temperatura do topo da coluna, é possível estabelecer ação de controle razoável, porém, há um efeito colateral de se desestabilizar o perfil de concentração da torre, o que não é desejável.
6. Deve-se evitar usar vazões que saturem a torre, já que a variável manipulada atingiu o seu valor máximo sem ter efeito estabilizador na torre. Controle se torna inviável e a camada inferior não consegue acompanhar as mudanças de setpoint da camada regulatória superior.

Dessa maneira, observado a necessidade de conhecer a temperatura de cada segmento da coluna de destilação para projetos de controle, a proposta do trabalho é instalar sensores capazes de fornecer os valores da temperatura dos pratos. O projeto foi desenvolvido em uma coluna de destilação do laboratório de ensino do Departamento de Engenharia Química da UEM. A coluna opera na separação de etanol-água. O equilíbrio alcançado durante o processo entre a fase líquida e a fase vapor determinam a composição de cada fase. Para possibilitar futuros trabalhos, todos os segmentos da coluna de destilação recebeu um sensor de temperatura – que podem ser ligados ou desligados – de modo a projetar uma rede de sensores mínima e robusta, com propósito final de controle. Em específico, deseja-se atingir regime estacionário apenas com o controle da temperatura, manipulando o calor fornecido no refeedor. A Figura 1 apresenta a coluna de destilação que foi utilizada para a instalação dos sensores de temperatura.

Figura 1 - Coluna de Destilação do Departamento de Engenharia Química.



Fonte: Autoria Própria

2. Resultados e Discussões

Todo o desenvolvimento prático deste trabalho foi realizado com equipamentos de baixo custo e fácil implantação de novos recursos, a fim de facilitar futuros pesquisadores do Departamento de Engenharia Química.

Para o desenvolvimento de uma rede de sensores, capaz de realizar a leitura da temperatura de cada prato, uma placa com os sensores de temperatura foi desenvolvida, buscando uma rápida instalação, facilidade em realizar manutenções e principalmente uma excelente organização para os cabos de alimentação e comunicação. A posição dos sensores no vidro foi determinada considerando a altura de líquido formada dentro de cada prato, pois a transferência de calor para o vidro a partir do líquido é mais efetiva em relação à transferência a partir do vapor. Considerando a formação do líquido em cada prato, cada sensores foi posicionados 5mm de altura a partir do prato. A Figura 2 apresenta a placa desenvolvida.

Figura 2 – Placa de Sensores de Temperatura.



Fonte: Autoria Própria

A partir da Figura 2, é possível observar os sensores de temperaturas fixados nas placas, quem foram desenvolvidas com 23cm de comprimento e 2cm de largura, contendo 3 sensores em cada. A distância entre os sensores das placas é de 8 cm cada.

Considerando que a instrumentação realizada neste sistema será permanente, as placas foram desenvolvidas com a possibilidade de habilitar ou desabilitar fisicamente qualquer sensor de temperatura. Para tal, foi instalada em cada placa uma chave DIP de 4 vias. A Figura 3 apresenta com detalhe esta chave.

Figura 3 – Placa de Sensores de Temperatura.



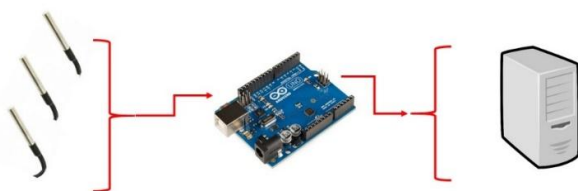
Fonte: Autoria Própria

Os equipamentos destinados para a coleta das informações, processamento dos dados e envio para a armazenagem foram instalados em uma caixa blindada, fabricada em ABS, para a proteção da ação de agentes corrosivos, vapores e líquidos, com o intuito da preservação máxima dos equipamentos. Eles foram alojados ao lado da torre de destilação e aqui será chamado de módulo eletrônico. No módulo eletrônico, existe uma fonte de alimentação, um regulador de tensão LM2596, um Arduino UNO, um módulo Ethernet, um relógio digital DS1302 e um módulo SD Card.

O Arduino envia um comando de solicitação da temperatura de um sensor específico e aguarda o recebimento. O sensor de temperatura efetua a leitura da temperatura, converte o sinal analógico em digital e envia no barramento a informação solicitada. O Arduino recebe este sinal digital e converte para analógico e armazena em sua memória o valor correspondente à temperatura. Este processo se repete a todos os sensores que o Arduino possui cadastrado em seu banco de informação de sensores. Não havendo mais sensores para serem lidos, os dados são enviados através das portas de comunicação do Arduino para o armazenamento externo.

O armazenamento dos dados externamente ao Arduino permite que usuários possam obter as informações das leituras da operação da coluna, permitindo o estudo em laboratório em diversas disciplinas do programa. A vantagem desta técnica é que os alunos ou pesquisadores não precisam acessar diretamente os dados do Arduino, garantindo confiabilidade dos dados. Com as informações salvas em um servidor de dados, o acesso às informações podem ser simultâneas. A Figura 4 apresenta o modelo implementado para o arquivamento das informações de operação da coluna de destilação.

Figura 4 – Modelo implementado para coleta de dados.



Fonte: Autoria Própria

Com os dados armazenados no servidor, outros computadores podem acessar as informações, abrindo a possibilidade de utilização do sistema em laboratórios de pesquisa, aulas do Departamento de Engenharia Química ou outros departamentos da Universidade.

O Arduino Uno é a interface de comunicação entre os sensores e o servidor de dados. Ele é o mestre na comunicação 1-Wire com os sensores e efetua a leitura do e armazena no servidor. Os dados são salvos em um banco de dados com extensão .txt, para a importação dos dados em outros softwares como por exemplo o Matab, Scilab, Excel. A Figura 05 apresenta a forma como os dados podem ser salvos.

Figura 5 – Arquivo de dados gerado pelo sistema.

```
Temp Prato 01: 27.31°C.
Temp Prato 02: 27.62°C.
Temp Prato 03: 27.25°C.
Temp Prato 04: 27.44°C.
Temp Prato 05: 27.44°C.
Temp Prato 06: 27.62°C.
Temp Prato 07: 27.50°C.
Temp Prato 08: 27.19°C.
Temp Prato 09: 27.69°C.
Temp Prato 10: 27.56°C.
Temp Prato 11: 28.12°C.
Temp Prato 12: 27.50°C.
Temp Prato 13: 27.00°C.
Temp Prato 14: 26.81°C.
Temp Prato 15: 26.69°C.

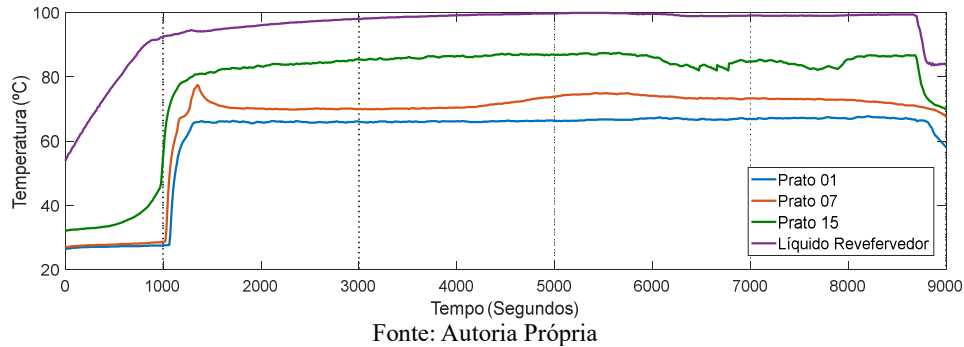
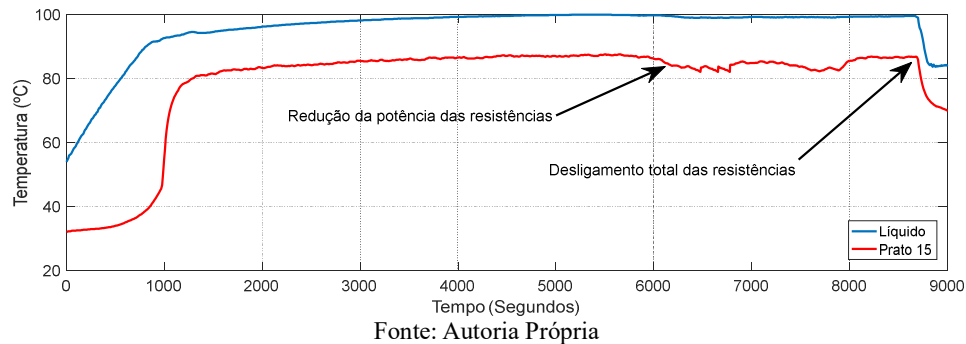
Temp Prato SUPERIOR: 27.31°C.
Temp Prato INFERIOR: 27.06°C.

Temp Ambiente: 35.38°C.
Temp Líquido Refervedor: 24.25°C.
```

Fonte: Autoria Própria

2.1. Operação da Coluna de Destilação

A coluna de destilação foi colocada em operação por um período de 2h30m para a coleta dos dados de operação. Os dados foram coletados com uma taxa de amostragem de 10 segundos e foram salvos em um arquivo de texto em um servidor de dados. Posteriormente, os dados foram importados no software Matlab, para a geração de gráficos, com o intuito da verificação do comportamento. A contagem dos pratos segue a sequência descendente, ou seja, o Prato 01 é o prato superior da coluna e o prato 15 é o prato inferior, o mais próximo da entrada de vapor do refervedor, A Figura 6 apresenta o comportamento da temperatura do prato 01, prato 07 e prato 15, além da temperatura do líquido refervedor.

Figura 6 – Temperatura Prato 01, Prato 07, Prato 15 e Líquido do Refervedor.**Figura 7 – Temperatura do Prato 15, conforme a variação na potência de alimentação.**

Durante a operação da coluna, algumas ações de controle foram executadas, com o intuito de verificar o comportamento dinâmico do sistema. Como esta operação buscava a visualização do comportamento da coluna e dos sensores de temperatura, não houve a busca ideal pela melhor configuração de temperaturas para uma excelente separação do álcool. Ao contrário, foi executado testes com o aumento e a diminuição da potência das resistências de aquecimento do líquido justamente para a validação desta instrumentação.

A Figura 7 apresenta o comportamento da temperatura do Prato 15, com ênfase no decréscimo na temperatura a partir do momento em que houve a diminuição na potência de alimentação das resistências de aquecimento. A temperatura passa a sofrer variações conforme houve variação na potência de alimentação das resistências.

3. Conclusões

Para alcançar os objetivos e validar a proposta, foi desenvolvido um protótipo capaz de trazer o comportamento em uma planta piloto, e

espelhar este comportamento para uma planta industrial. Entretanto, este protótipo foi concebido com o ideal de possibilitar futuros trabalhos e pesquisas, com a busca por dispositivos de baixo custo e fácil implementação de novos recursos.

Durante a operação da coluna de destilação, foi possível perceber a variação no comportamento da temperatura do líquido presente nos pratos, conforme houve variação na potência de alimentação do refervedor. Este comportamento justifica a necessidade de um controlador automático para a busca pela qualidade de um produto final, com a redução dos custos de produção.

REFERÊNCIAS

- LUIBEN, W. L. **Evaluation of criteria for selecting temperature control trays in distillation columns.** Journal of Process Control 16. 2006, 115-134.
- SKOGESTAD, S. **The Dos and Don'ts of Distillation Column Control.** Chemical Engineering Research and Design. 2007, 85 (A1), 13-23.