

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Curso de Especialização em Engenharia de Instrumentação

Supervisório/IHM aplicado ao processo de uma coluna de destilação

Francisco Alves Cavalcanti

Orientador: Prof. Dr. Péricles Rezende Barros (UFCG)

Monografia apresentada ao Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Especialista em Engenharia de Instrumentação

Recife, 2008

Resumo

Supervisório/IHM aplicado ao processo de uma coluna de destilação

Francisco Alves Cavalcanti

Março/2008

Orientador: Prof. Dr. Péricles Rezende Barros (UFCG)

Área de concentração: Eletrônica

Palavras-chaves: automação, IHM, supervisório, refino, colunas de destilação.

Nesta monografia é proposto um estudo da viabilidade de um sistema supervisório aplicado ao processo de destilação de petróleo numa coluna fracionada, operando em regime contínuo, bem como sua implantação. Para isso, foi elaborada uma estratégia de controle baseada em pesquisas recentes que inovam o processo de controle no refino do petróleo.

A estratégia consiste no aquecimento em pontos intermediários da coluna de destilação, associado à técnica de controle da pressão interna através da inundação do condensador e da variação de sua carga interna, visando a atenuação dos transientes de operação e a melhoria no controle do processo e na qualidade do produto final.

Para a construção do sistema proposto, é necessário o entendimento do funcionamento de uma coluna de destilação, quais formas de controle serão aplicadas e quais equipamentos serão utilizados. Desta forma haverá o tão importante realismo gráfico para o operador e o perfeito funcionamento do sistema de supervisório.

Através do estudo dos equipamentos e tecnologias a se utilizar foi possível construir um supervisório de interface amigável e realística que oferecesse acesso rápido e fácil a variáveis (TAGs) monitoradas e controladas envolvidas no processo de destilação.

Foram pesquisadas diversas formas de controle até que se chegasse a um método com melhor adaptação às condições atuais; utilizando o número mínimo de variáveis e, conseqüentemente, de TAGs.

Conteúdo

1 Introdução	5
1.1 A Coluna de Destilação	5
1.2 O supervisório	8
1.3 Objetivo	9
1.4 Motivação/Situação atual	10
1.5 O Funcionamento do Sistema Proposto	12
1.6 Considerações Finais	13
2 Tecnologias disponíveis	14
2.1 Supervisório	14
2.2 Supervisórios existentes no mercado	21
2.3 O software de supervisório escolhido: <i>Intouch</i>	23
2.4 O padrão de comunicação OPC (OLE for Process Control)	25
2.5 Componentes físicos a serem usados	27
2.6 Simulação do processo	31
2.7 Considerações Finais	33
3 Solução proposta e resultados obtidos	34
3.1 Solução proposta	34
3.2 Controle da Coluna de destilação	35
3.3 Balanço dinâmico de material	39
3.4 As telas do supervisório construído	42
3.5 Considerações finais	55
4 Conclusões, melhorias possíveis, trabalhos futuros	57
4.1 Trabalhos futuros	58
Apêndice A	59
Referências Bibliográficas	67

1 Introdução

Neste capítulo introdutório, serão apresentados alguns aspectos teóricos acerca do processo de refino e de controle numa coluna de destilação e, com isso, observar a importância da criação de um sistema supervisório aplicado ao processo de destilação no refino do petróleo, bem como as dificuldades em minimizar transientes.

Serão observadas características importantes para o bom funcionamento da coluna como a estratégia do aquecimento distribuído, as relações de fluxo de vapor e líquido no interior da coluna e a utilização de tanques-pulmão para o controle da composição da alimentação da coluna.

1.1 A Coluna de Destilação

A destilação baseia-se no fato de que, num fluido multifásico, cada substância tem seu ponto de ebulição definido e, por isso, é usado como um processo de separação de misturas homogêneas. Quando se deseja fracionar uma mistura homogênea de várias fases ou aumentar o grau de pureza do vapor condensado do produto final, utiliza-se a coluna de destilação.

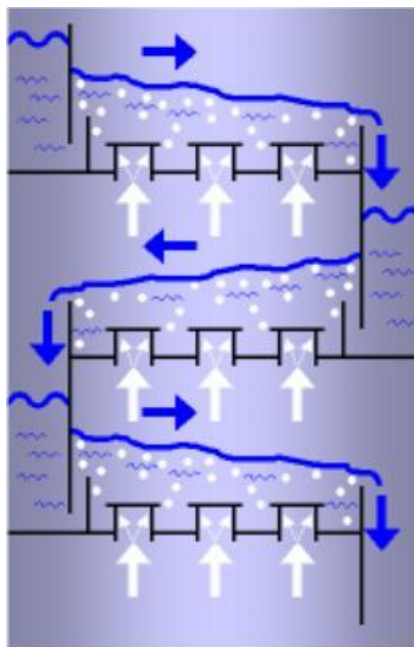


Figura 1.1. Corte azimutal duma coluna de destilação mostrando pratos, válvulas e vertedouros.

Uma coluna de destilação consiste de uma estrutura subdividida em vários níveis por meio de anteparos denominados pratos ou bandejas, estes, em formato circular, possuem perfurações e vertedouros.

Baseando-se na quebra dos hidrocarbonetos por fornecimento de temperatura, o petróleo bruto é aquecido na base da coluna de destilação à temperatura e pressão altas o suficiente para que o vapor gerado consiga alcançar o topo da coluna, passando por todos os pratos existentes na mesma.

Na medida em que o vapor sobe na coluna, o líquido desce, a função dos pratos é manter ao máximo o contato entre as fases líquido-vapor. Como se pode ver na Figura 1.1, o líquido escoar de cima para baixo por meio dos vertedouros, ficando parte do líquido acumulada nos pratos, enquanto que o vapor sobe por meio dos furos, entrando em contato com o líquido acumulado nos pratos, estabelecendo a troca térmica entre as fases. Este contato entre as fases é de grande importância para aumentar a eficiência da separação.

O fluxo de vapor subindo e o de líquido descendo devem obedecer a uma relação tal que a eficiência da operação seja garantida (Kalid, 2005). Abaixo são discutidos alguns problemas que podem ocorrer devido a isso.

Formação excessiva de espuma (*foaming*) – Embora a formação de espuma estabeleça grande contato entre as fases líquido-vapor, a formação excessiva de espuma leva a acumulação excessiva de líquido nos pratos.

Arraste de líquido (*entrainment*) – Assim como a formação excessiva de espuma, este fenômeno também se deve ao fluxo excessivo de vapor por meio dos furos nos pratos. O vapor é transportado para uma bandeja de material menos volátil, ocasionando numa mistura de materiais de diferentes volatilidades e, conseqüentemente, num produto final de baixa qualidade.

Gotejamento (*Dumping*) – Causado pelo baixo fluxo de vapor entre os furos dos pratos, fazendo com que o líquido concentrado nos pratos escoe para o prato inferior por meio dos furos além de já escoar pelos vertedouros.

Inundação (*Flooding*) – As inundações são fenômenos que derivam dos citados acima. Elas ocorrem sempre que um prato fica com excesso de líquido, alterando o comportamento da coluna de destilação.

Se a vazão de vapor nos pratos for muito grande haverá inundação, pois o líquido não conseguirá vencer o gradiente de pressão. Enquanto que se a vazão de líquido nos pratos for muito alta o vapor é que não conseguirá vencer o gradiente de pressão, devido à grande quantidade de líquido que fica sobre o prato.

Como se pode observar, trata-se de um problema com restrições de operação e com várias variáveis de elevado grau de acoplamento, visto que a temperatura e pressão em cada setor da coluna dependem fortemente da temperatura fornecida na base e em cada prato da coluna. O comportamento dinâmico de uma coluna de destilação é bastante não linear e com respostas bastante lentas, por conta da propagação de calor.

É comum que, ao sofrerem falhas na alimentação, geralmente realizada nos estágios inferiores da coluna, ou alterações na composição do óleo cru, as colunas de destilação passem por um estado transiente que ocasiona numa produção de compostos fora da especificação e num alto consumo de energia.

A fim de evitar transientes gerados pela alimentação por conta da diferença de temperatura entre a carga interna da coluna e a alimentação, deve-se pré-aquecer o óleo cru, para que seja enviado a tanques acumuladores, chamados tanques-pulmão,

de forma a reduzir os transientes causados pela diferença na composição do óleo cru que entra na coluna.

Para o perfeito funcionamento da coluna é preciso garantir o controle sobre a pressão interna, visto que esta variável tem forte influência sobre pontos de ebulição, com conseqüente influência nas vazões de vapor e líquido. Para tanto, controla-se as variáveis de nível, temperatura interna e composição dos produtos de topo e de fundo obtidos como resultado do processo.

Com o intuito de minimizar os efeitos dos transientes que possam vir a ocorrer caso a coluna não esteja funcionando dentro de especificações operacionais (pressão, vazão, temperatura e nível) é que faz com que a proposta da tela de supervisão se baseie numa coluna de destilação com um novo método e ainda pouco explorado; o aquecimento distribuído ao longo da coluna, capaz de acelerar o processo de saída do estado transiente para uma condição estável de operação, aumentando a qualidade do produto final e, ao mesmo tempo, promovendo uma redução dos gastos energéticos.

1.2 O supervisão

Os sistemas de supervisão e controle são desenvolvidos para funcionar como interfaces homem-máquina, estações de supervisão local de processos industriais ou estações concentradoras de dados em processos distribuídos. Estes sistemas são baseados em microcomputadores interligados a controladores programáveis, estações remotas ou outros equipamentos de aquisição de dados (SEIXAS FILHO, 1999).

Através de um sistema supervisão o operador pode interagir com o processo a ser controlado, recebendo valores coletados pelos equipamentos em campo, calculando, modificando e elaborando relatórios antes de enviar ao operador que pode atuar ou não sobre o processo através do supervisão. Além disso, o sistema de supervisão pode atuar automaticamente, dependendo do processo a ser controlado.

O supervisão escolhido por nós foi o *Wonderware Intouch®* por se tratar de um software bastante usado nos processos industriais, para diversas aplicações.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é propor e implementar um sistema de supervisor aplicado a uma coluna de destilação com aquecimento distribuído. Para tanto se faz necessário o estudo dos processos envolvidos no refino do petróleo, bem como o comportamento das variáveis associadas a este. Assim faz-se uma análise qualitativa e quantitativa do processo de refino.

Na elaboração da estrutura de controle (escolha dos pares de variáveis manipuladas MV e variáveis controladas PV) pode-se aplicar a seguinte metodologia de um sistema de controle (Kalid, 2005):

- Manter sob controle o inventário de massa do processo;
- Manter sob controle o inventário de energia do processo;
- Manter sob controle a qualidade do processo.
- E para cada uma dessas etapas as estruturas devem ser definidas de acordo com a seqüência abaixo:

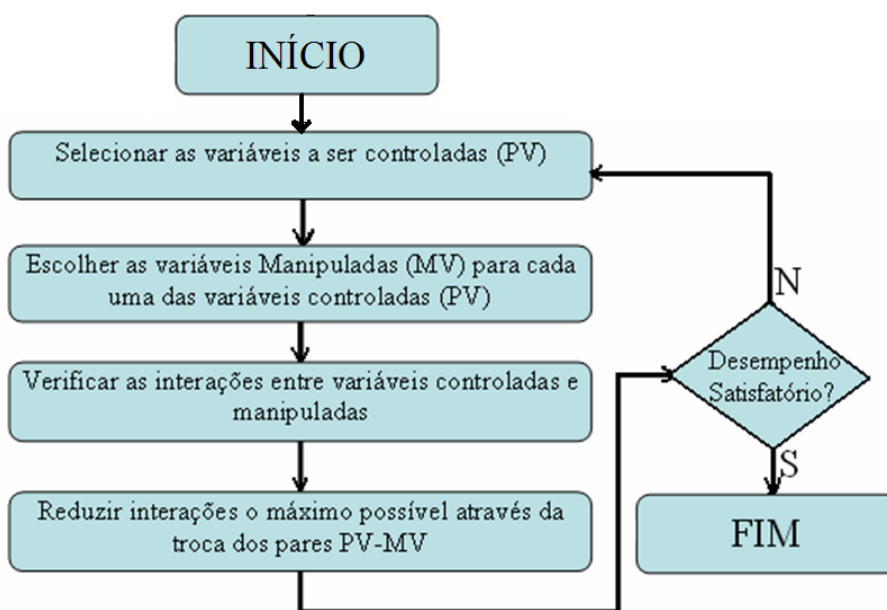


Figura 1.2. Fluxograma de definição das estruturas de controle.

O controle automático de uma coluna de destilação almeja, basicamente, atingir quatro objetivos (Jesus, 2000):

1. Garantir a estabilidade das condições operacionais da coluna;
2. Obtenção do produto final dentro de padrões previamente estabelecidos;
3. Manter o processo dentro do limite das restrições;
4. Alcançar os objetivos 1 e 2 da forma mais eficiente possível, promovendo um aumento na quantidade e qualidade dos produtos a baixo consumo energético.

Para garantir esses objetivos faz-se necessário o controle das seguintes variáveis:

- Pressão
- Quantidade de produto de topo e de fundo
- Vazão
- Composição de topo e fundo ou de retiradas laterais

Ao longo do trabalho procurar-se-á esclarecer, além do funcionamento da coluna de destilação e processos associados, as dificuldades encontradas no processo de construção e implementação do sistema supervisório, bem como sua interligação com os componentes físicos do projeto.

1.4 Motivação/Situação atual

Apesar de serem um dos equipamentos mais utilizados e dispendiosos em termos de consumo de energia numa indústria petrolífera e se tornando, muitas vezes, o gargalo que impede o aumento da produção, as colunas de destilação não recebem grande atenção quanto ao sistema de controle empregado no processo.

A questão da auto-suficiência na extração de petróleo é bastante importante, pois é uma prova de que a matéria-prima existe, porém, tão importante quanto é a auto-suficiência na produção dos derivados do petróleo, que garante uma maior estabilidade econômica quanto às oscilações do preço do petróleo no mercado internacional. Assim, como uma forma de aumentar a produção dos derivados do

petróleo, é de extrema importância que o processo de refino do petróleo mereça grande atenção, em particular as colunas de destilação.

Na maioria dos casos, o controle das colunas de destilação é feito em um único ponto da coluna; na base. A proposta é implementar este controle em vários pontos da coluna, aquecendo-se, através de resistências elétricas e sensores térmicos localizados em alguns pontos da coluna com a finalidade de minimizar transientes. O controle de temperatura distribuído entre os pratos da coluna é um método relativamente novo e sem referências específicas (Marangoni, 2005).

O controle via aquecimento distribuído é uma boa alternativa para minimizar o tempo de um estado transiente numa coluna de destilação (ocasionado por falha na alimentação ou até mesmo pela qualidade do óleo cru que abastece a coluna), além de ser uma boa alternativa em ter-se mais controle sobre o processo. Porém, vale observar que, ao distribuir aquecimento ao longo da coluna, muita energia é despendida, desta forma o controle da coluna de destilação com aquecimento distribuído deverá ser efetuado apenas em alguns pontos específicos da coluna, amenizando o gasto energético.

A idéia foi criar um sistema supervisorio para este processo. Tal sistema deveria, de preferência, ser um usado no controle prático de processos deste tipo. Para isso foram pesquisados alguns softwares SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) usados pela empresa. Alguns softwares encontrados foram: *Intouch*, *RealFlex*, *IFIX* e *VXL*.

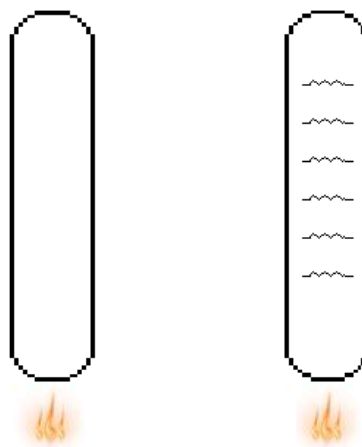


Figura 1.3. Comparativo da maioria das colunas de destilação (aquecimento na base da coluna) com a coluna proposta (aquecimento distribuído).

1.5 O Funcionamento do Sistema Proposto

Para interligar o sistema de supervisório à coluna de destilação é necessário o uso de dispositivos que interconectem o meio físico às IHMs do supervisório, estes podem ser os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis). Os CLPs fazem a leitura do sinal dos transdutores de entrada (sensores) posicionados em diversos pontos do processo; no interior da própria coluna e em válvulas que limitam o fluxo do material destilado e do óleo cru ainda não processado.

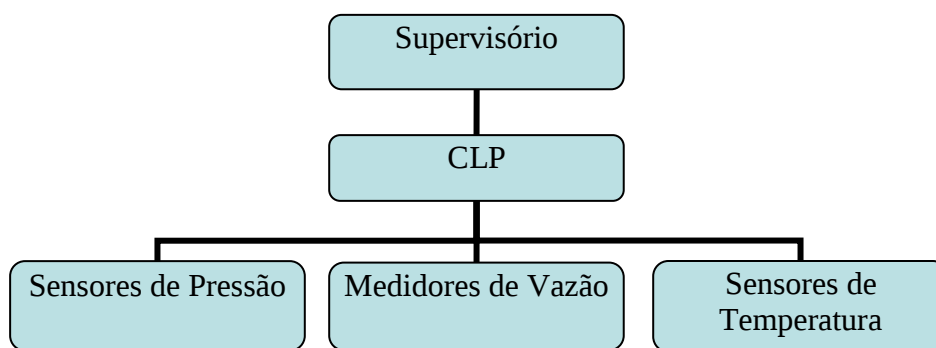


Figura 1.4. Fluxograma do funcionamento do sistema de supervisório com o processo a ser controlado.

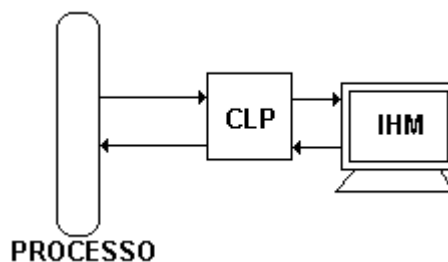


Figura 1.5. Esboço do sistema de controle.

1.6 Considerações Finais

Como se pode observar, o processo envolvido no refino do petróleo através de uma coluna de destilação é bastante complexo, por tratar de múltiplas variáveis e com elevado grau de acoplamento. Visto esta complexidade, para a construção do supervisor, será necessário um prévio estudo sobre as formas de controle e restrições da coluna de destilação.

Pequenas perturbações são suficientes para levar a coluna de destilação a uma condição operacional fora de especificações, acarretando na má qualidade do produto final. O método de aquecimento distribuído é uma forma eficaz de reduzir os efeitos de certas perturbações por reduzir o tempo dos transientes, facilitando o controle do processo. Este método será considerado na implementação das IHMs do sistema supervisor.

2 Tecnologias disponíveis

Antes de implementar qualquer sistema, um estudo sobre as tecnologias disponíveis deve ser feito, tanto no aspecto aplicacional quanto no aspecto econômico, para, desta forma, escolher o equipamento que melhor se adapta às condições e recursos existentes.

No caso, procurou-se fazer uso das ferramentas operacionais mais usadas na indústria de petróleo e gás natural, como o software de supervisão, os modos de comunicação e os dispositivos físicos (sensores e atuadores).

Como não houve implementação física do sistema até o momento, os estudos foram direcionados aos componentes físicos que seriam usados de forma a criar um supervisão com interface mais realística possível. Este estudo possibilitará a continuação do trabalho, com a possível construção de uma unidade de destilação em escala piloto para a aplicação do sistema de supervisão elaborado.

2.1 Supervisão

Os sistemas supervisórios têm a função de permitir que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Estas informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, condicionadas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Os sistemas SCADA mais antigos permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de

medidas e estados de dispositivos, através de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse interface aplicacional alguma com o operador.

Com os avanços da computação e da forma como os parâmetros mensuráveis eram coletados e transmitidos, os sistemas de automação industrial passaram a coletar dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, apresentando-os ao usuário com recursos gráficos elaborados (interfaces homem-máquina), tornando a interação homem-máquina mais simples e, conseqüentemente, mais imune a erros de operação.

Junto com a idéia computacional vieram as variáveis de operação, num sistema SCADA, chamadas TAGs, que são assim como todas as variáveis computacionais capazes de auxiliar na execução de operações matemáticas, lógicas, com vetores ou *strings* e representar pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado. Neste caso, correspondem às variáveis do processo real (ex: temperatura, nível, vazão etc.), se comportando como a ligação entre o controlador e o sistema. É com base nos valores dos TAGs que os dados coletados são apresentados ao usuário. Os TAGs também servem de auxiliares num sistema SCADA quanto ao tratamento dos alarmes, identificados quando o valor do TAG ultrapassa uma faixa ou condição pré-estabelecida. Os TAGs do sistema seguem uma regra de nomenclatura, abaixo é possível observar uma tabela de nomenclatura de TAGs de instrumentos.

Tabela 2.1 - Nomenclatura usada nos TAGS de instrumentos de acordo com sua funcionalidade (fonte: http://www.users.rdc.puc-rio.br/wernecker/cp_cap0100.htm acesso em Dezembro de 2007)

1ª letra: tipo de variável		2ª letra em diante: função do instrumento	
A	composição (analisador)	A	alarme
B	detectores de chama	C	controlador
D	densidade	E	elemento sensor
E	tensão, DDP	G	visor
F	vazão, fluxo	I	indicador
H	ação manual	Q	totalizador, acumulador
I	corrente elétrica	R	registrador
K	tempo	S	chave
L	nível	T	transmissor

M	umidade	V	válvula
P	pressão	Y	outras funções
S	velocidade		
T	temperatura	2ª letra: modificador	
W	peso, vazão mássica	D	diferencial
X	outros instrumentos	F	razão
Z	posição		

Os sistemas supervisórios ainda permitem programar a gravação de registros (alarmes ou qualquer outro evento que venha a ocorrer) em Bancos de Dados, emitir sons de alerta, mensagens, mudança de cores, envio de mensagens por *Pager*, celular, e-mail, http, etc.

2.1.1 Os componentes de um sistema de supervisão

Os componentes físicos de um sistema supervisório podem ser classificados, de forma simplificada, como: transdutores (sensores e atuadores), condicionadores, rede de comunicação, estações remotas (aquisição/controla) e de monitoração central (sistema computacional SCADA).

Os transdutores são componentes que ligam o meio físico ao sistema de controle transformando grandezas físicas em elétricas, para o caso de sensores e transformando sinais elétricos em variáveis físicas, para o caso de atuadores.

Os condicionadores são responsáveis pelo tratamento do sinal (modulação, conversão AD/DA, amplificação, etc.) de acordo com a forma e o local onde o sinal será empregado. Este processo de condicionamento também pode ser realizado pelas estações remotas.

As estações remotas são compostas por CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e/ou UTRs (Unidades de Terminal Remotas). Estas estações são unidades computacionais específicas, utilizadas, geralmente, em instalações industriais, para a funcionalidade de ler entradas, realizar cálculos ou controles, e atualizar saídas. A diferença entre os CLPs e as UTRs é que os primeiros possuem mais flexibilidade na linguagem de programação e controle de entradas e saídas, enquanto as UTRs possuem uma arquitetura mais distribuída entre sua unidade de

processamento central e os cartões de entradas e saídas, com maior precisão e seqüenciamento de eventos.

A troca de informações entre os CLPs/UTRs e o sistema SCADA ocorre através de uma rede de comunicação. Para a implementação da rede de comunicação, um estudo prévio deve ser feito, considerando-se os requisitos do sistema e a distância a cobrir, esta rede pode ser implementada através de fibras ópticas, cabos *Ethernet*, linhas dedicadas, equipamentos *wireless*, etc.

Nas estações de monitoração central é onde se encontram as IHMs (Interfaces Homem-Máquina) do sistema supervisório. Segundo Silva e Salvador (2005), estas estações de monitoração centrais podem ser consideradas como as unidades principais dos sistemas SCADA, sendo responsáveis por recolher a informação gerada pelas estações remotas e agir em conformidade com os eventos detectados, podendo ser centralizadas num único computador ou distribuídas por uma rede de computadores, de modo a permitir o compartilhamento das informações coletadas.

Pode-se considerar, como um exemplo de aplicação, a aquisição de deslocamento angular por meio de um **sensor capacitivo**, o circuito de detecção da variação de capacitância acoplado a este sensor consiste de um oscilador, tal circuito pode ser considerado um **condicionador do sinal** de saída do sensor. Depois de transmitido pelo condicionador este sinal é processado pelas **estações remotas** (CLPs - Controladores Lógicos Programáveis e UTRs - Unidades de Terminal Remotas), onde, se necessário, são realizados mais ajustes do sinal, para então ser enviado ao **sistema de monitoração central** (IHMs) onde é então exibido em forma de variável computacional do sistema supervisório (TAG) ao operador do sistema.

Como última observação tem-se que os componentes físicos controláveis são agrupados em quatro níveis de operação, chamados níveis hierárquicos de operação. Cada um deles está relacionado quanto a seu nível remoto.

- **Nível 0** - Nível de operação de maior prioridade, que reúne os equipamentos de campo controláveis, como transdutores (sensores e atuadores controláveis), condicionadores, etc.;
- **Nível 1** - Concentra as estações remotas (CLPs e UTRs);
- **Nível 2** - Diz respeito ao controle por meio das telas de supervisório nas estações de

monitoração central;

- **Nível 3** - Também faz referência ao controle por meio de telas de supervisão, diferenciando-se apenas na grande distância geográfica de controle e na prioridade de controle que é a mais baixa de todos os níveis de operação citados acima.

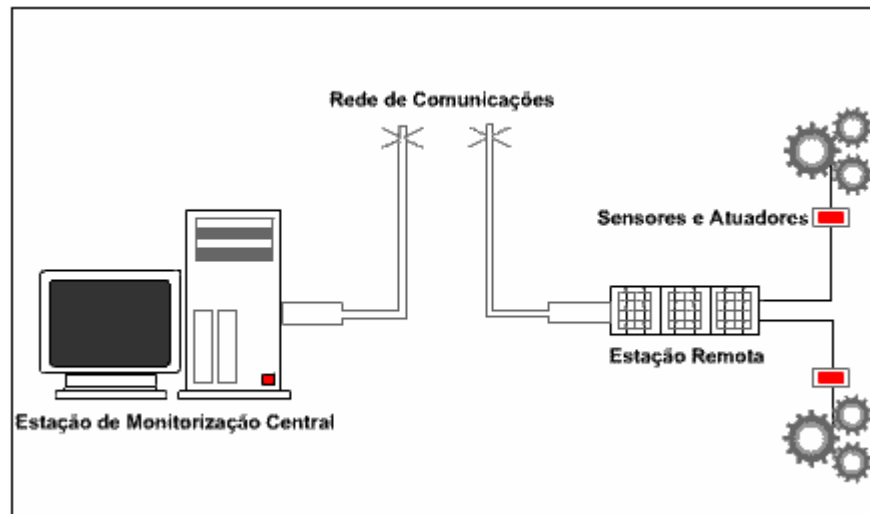


Figura 2.1 – Ilustração de um sistema SCADA
("O que são supervisórios?" da Silva A.P.G. e Salvador M. 12/2005)

2.1.2 Componentes lógicos de um sistema SCADA

Além da divisão do controle em quatro níveis hierárquicos de operação para os componentes de um sistema SCADA, tem-se a divisão dos componentes lógicos, cujas principais tarefas são divididas em blocos ou módulos, que vão permitir maior ou menor flexibilidade e robustez, de acordo com a solução desejada.

De acordo com Silva e Salvador (2005), é possível dividir essas tarefas em:

- **Núcleo de processamento**
- **Comunicação com CLPs/UTRs;**
- **Gerenciamento de Alarmes;**
- **Históricos e Banco de Dados;**
- **Lógicas de programação interna (Scripts) ou controle;**

- **Interface gráfica;**
- **Relatórios;**
- **Comunicação com outras estações SCADA;**
- **Comunicação com Sistemas Externos / Corporativos;**
- **Outros**

O núcleo de processamento merece uma atenção especial, pois é responsável pela coordenação do fluxo e distribuição das informações recebidas dos equipamentos de campo para os demais módulos até chegarem ao operador do sistema, geralmente acompanhadas de relatórios e gráficos, permitindo, a partir da leitura das informações recebidas, atuar automaticamente no processo, informar anomalias ou simplesmente sugerir medidas a serem tomadas.

Com o avanço da tecnologia computacional, os softwares SCADA têm se tornado cada vez mais versáteis, permitindo a implementação de tarefas cada vez mais complexas, além de assegurar mais ainda a sua confiabilidade.

2.1.3 Modos de comunicação

Ainda de acordo com Silva e Salvador (2005), a funcionalidade de um sistema SCADA está fortemente relacionada à troca de informações, que podem ser basicamente:

- **Comunicação com os CLPs/UTRs;**
- **Comunicação com outras estações SCADA;**
- **Comunicação com outros sistemas.**

2.1.3.1 Comunicação com equipamentos de campo

O processo de comunicação entre o sistema SCADA e os equipamentos de campo é realizado através de um protocolo em comum, existem duas formas de estabelecer esta comunicação:

- **Comunicação Mestre-Escravo** – Dá total poder à estação central (estação Mestre), fazendo com que as estações remotas (Escravo) apenas respondam à estação central após a recepção do pedido, caracterizando um sistema *half-duplex*. Este método de comunicação traz vantagens quanto ao custo das estações remotas, visto que não haverá necessidade de estações remotas de alta tecnologia (estações remotas inteligentes), porém impede as estações comunicar à estação central anomalias que possam vir a acontecer no processo, sem que estas venham a ser consultadas.
- **Comunicação por interrupção** – Usadas para a transmissão de informações emergenciais, como alarmes. Ao contrário do modo Mestre-Escravo, este tipo de comunicação pode estabelecer-se entre duas estações remotas (escravo-escravo). Este modo de comunicação é bastante útil como forma de reduzir o tráfego de dados na rede. Porém observa-se um determinado atraso, por parte da estação central, na aquisição de informações importantes do sistema, como no caso de haver alguma falha.

2.1.3.2 Comunicação entre estações de sistemas SCADA

Com o grande desenvolvimento tecnológico na parte de comunicações, observa-se uma versatilidade cada vez maior na comunicação entre estações SCADA. Estas comunicações são comumente feitas através de protocolos via rede *Ethernet* TCP/IP, porém vem aumentando a cada dia o uso da internet como canal de comunicação entre estações SCADA.

A vantagem da utilização de Navegadores de internet como meio de comunicação está na facilidade de manutenção (visto que o programa de controle do sistema fica armazenado apenas no servidor) e na rapidez do controle remotamente, não importando à que distância o operador esteja do processo. É importante ressaltar que a internet é um meio de transmissão de dados bastante conhecido e difundido, tornando fácil seu uso e entendimento.

A comunicação com outros sistemas, ou simplesmente com coletores ou fornecedores de dados, como os CLPs, pode acontecer através da implementação de

módulos específicos, via Bancos de Dados, ou outras tecnologias como o XML e o OPC. O OPC é uma tecnologia aberta de comunicação entre dispositivos, que dispensa o uso de *drivers* específicos e que será discutida mais adiante.

2.2 Supervisórios existentes no mercado

Para a construção das IHMs do sistema de supervisão vários softwares SCADA foram pesquisados dentre os existentes no mercado. Abaixo se tem algumas características dos softwares encontrados pelo estudante:

Wizcon

Bastante usado em aplicações prediais, o *Wizcon* é um conjunto de softwares para automação, totalmente integrados. Da configuração de Entradas/Saídas ao local e à visualização de Internet, o *WizFactory* fornece as ferramentas gráficas bastante intuitivas.

Realflex

O *Realflex* trata-se de um software supervisório de rápida resposta (*True real-time SCADA*), usado por grandes empresas de extração de petróleo e gás natural na monitoração de dutos. Possui uma versão demo para pequenas aplicações (*RealWin*) de pequeno tamanho e que exige pouco de um computador, por isso foi o software escolhido anteriormente.

LabView

O *LabView* é mais voltado a aplicações científicas e de engenharia. Seu ambiente de desenvolvimento gráfico é de fácil manuseio. Permite inserir interfaces para instrumentação virtual (voltímetros, osciloscópios, etc.), sem a necessidade de gerar códigos de programação. Apresenta também facilidade para construir aplicativos em um ambiente totalmente gráfico, que podem ser executados em rede

ou pela Internet.

Elipse

O Elipse SCADA é um software de supervisório nacional de qualidade comprovada, bastante usado em aplicações industriais, com extenso suporte (em português) e que está disponível no laboratório onde o curso do PROMINP é ministrado. Apesar de tantas qualidades não é um software tão usado por empresas da área de petróleo e gás natural.

iFIX

Elaborado pela *Intellution*, este software HMI/SCADA é usado em uma grande variedade de processos industriais, incluindo processos discretos, contínuos e em batelada. Como características, o iFIX possui o que um bom software SCADA apresenta como Suporte a OPC, *ActiveX* e ODBC, gráficos on-line e de histórico, monitoração em tempo real, entre outras.

VXL

Desenvolvido em 1987 o VXL ainda é usado por empresas na monitoração de processos envolvendo petróleo e gás natural. É bastante conhecido pelo fácil manuseio e pelas muitas opções de conectividade hardware que oferece. Roda na plataforma *openVMS*, porém encontra-se bastante defasado dos softwares atuais de supervisório e possui pouca documentação.

SAGE

O SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia, é mais um software nacional, capaz de realizar funções de gerenciamento de energia em sistemas elétricos de potência, podendo ser configurado para diversas plataformas, de subestações a Centros de Operação de Sistemas. Desenvolvido pelo CEPEL e

largamente utilizado por empresas nacionais para monitoração e controle das subestações elétricas, o SAGE funciona em ambiente LINUX e é composto por vários módulos, entre eles está o SAGE/SCADA responsável pela parte de aquisição, controle e supervisão.

Indusoft

O *Indusoft* é um pacote de ferramentas que inclui todos os blocos de construção de sistemas HMI/SCADA. Possui interface gráfica em tempo real e é capaz de rodar em ambiente Windows NT, 2000, XP, CE e CE .NET ou num ambiente de internet e *tintranet*. Possui interface intuitiva para o usuário e é compatível com interfaces importantes da Microsoft, como VBA, COM/DCOM e OPC.

Wonderware Intouch

O Intouch é um conjunto de softwares, destinado à criação de telas gráficas de interação com CLPs, controladores *Multiloop*, *Fieldbus*, etc. É a interface homem-máquina mais simples de ser configurada em comparação aos demais softwares existentes no mercado.

Os softwares que compõe o pacote do Intouch são o *Window Maker*, o *Window Viewer*, o NetDDE, SPC, *Recipe*, SQL, os Drivers e o Intouch.

Por se tratar de um dos softwares de supervisórios mais usados do mundo (inclusive com aplicações na indústria de petróleo e gás natural), a documentação do *Intouch* é bastante ampla, ponto fundamental, junto à facilidade e simplicidade no processo de criação de telas, para que fosse o software escolhido.

2.3 O software de supervisório escolhido: *Intouch*

Assim como grande parte dos supervisórios atuais, o *Intouch* é composto por um conjunto de softwares, cuja aplicação é voltada à criação de telas gráficas de interação com CLPs, relés, UCPs, etc. Comparado a outros softwares existentes no mercado, o *Intouch* é de fácil entendimento

A princípio, começou-se a trabalhar com o *Intouch 7.0*, experimentalmente partiu-se para o *Intouch 9.5*, permanecendo nesta versão. A versão 9.5, assim como a 7.0, é bastante estável, com a vantagem de rodar bem melhor em Windows XP (sistema operacional que o aluno possui no computador pessoal) que a versão 7.0, com a qual se enfrentou alguns problemas de travamento.

Para rodar o programa é necessário abrir o *Application Manager*, que é uma espécie de visualizador de projetos. A partir do *Application Manager* é possível iniciar o *Window Maker* e o *Window Viewer*.

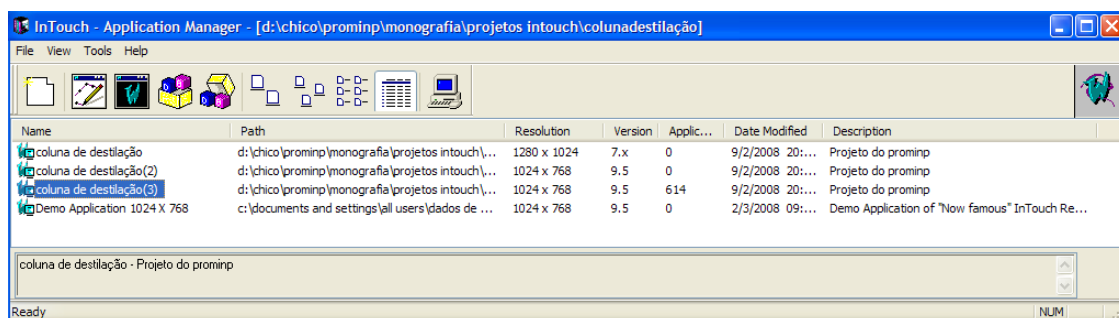


Figura 2.2 – Tela do *Application Manager*

O *Window Maker* trata da construção das IHMs de forma prática e intuitiva. É possível também, além da edição gráfica das telas, elaborar rotinas através de scripts para automatizar o sistema. É também, através do *Window Maker* que o programador pode associar os TAGs à um servidor OPC, de forma a estabelecer o controle com o mundo real.

Se o usuário não possuir a licença para uso do software será exibida uma mensagem indicando que a licença não foi encontrada e que será executada a versão demo. Esta versão tem como principal restrição a limitação do número de variáveis do processo em trinta e dois TAGs.

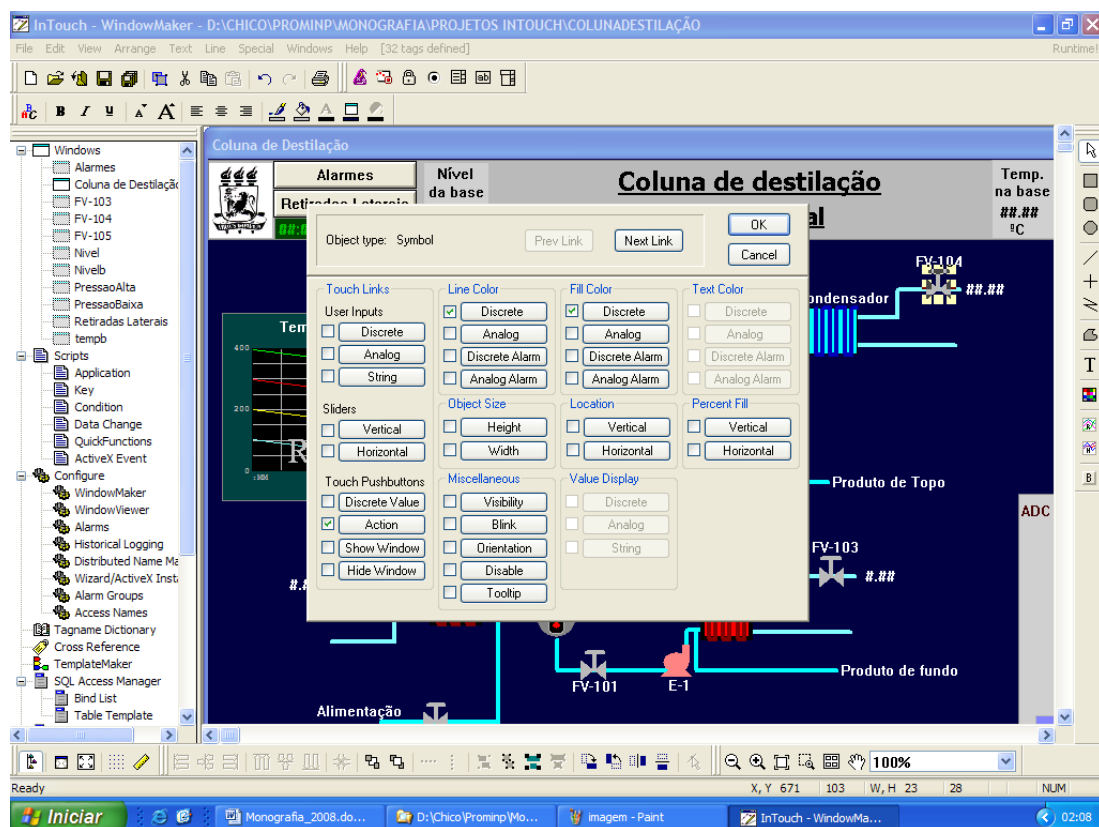


Figura 2.3 – Tela do *Window Maker*, ajustando ações e características da válvula FV-104, como preenchimento de cor e exibição de janelas ao clicar no dispositivo.

Através do *Window Viewer* é feito o monitoramento do processo através das telas previamente construídas no *Window Maker*. Para se ter acesso a esta ferramenta através do *Window Maker* basta clicar-se em *Runtime*, localizado no canto direito da tela.

2.4 O padrão de comunicação OPC (OLE for Process Control)

Neste projeto, se usará o OPC como padrão de comunicação entre o mundo real (CLPs, e sensores) e o mundo virtual (IHMs).

Antes de entender como funciona o padrão de comunicação OPC, é necessário saber em quais tecnologias o padrão OPC se baseia (Fonseca, 2002):

OLE (Object Linking and Embedding) – Tecnologia desenvolvida pela Microsoft em 1990 no intuito de atender à necessidade da integração de diferentes

aplicações dentro da plataforma Windows, solucionando os problemas de desempenho e confiabilidade do até então utilizado padrão DDE (*Dynamic Data Exchange*), usado desde o *Windows 3.0*.

COM (*Component Object Model*) – Esta tecnologia da Microsoft, desenvolvida em 1993, junto com o *Windows 3.1*, é uma forma independente de linguagem de programação capaz de permitir a implementação de objetos de forma que eles sejam usados em ambientes diferentes dos quais foram criados, mesmo que estes ambientes em diferentes máquinas com diferentes arquiteturas.

DCOM (*Distributed Component Object Model*) – Como continuação das tecnologias OLE e COM, o DCOM surgiu junto com o sistema operacional *Windows NT* e foi logo aceito pela indústria. Basicamente, o DCOM é um conjunto de definições para permitir a implementação de aplicações distribuídas em uma arquitetura cliente-servidor. Desta forma, um cliente pode acessar diferentes servidores ao mesmo tempo e um servidor pode disponibilizar suas funcionalidades para diferentes clientes ao mesmo tempo.

O padrão OPC foi desenvolvido por empresas juntamente com profissionais da Microsoft®, empresa responsável pelo desenvolvimento do OLE (*Object Linking and Embedding*), de forma a estabelecer a troca de dados em tempo real sob o sistema operacional *Microsoft Windows* e reduzir os problemas que ocorriam quanto à compatibilidade de comunicação e ao dificultoso desenvolvimento de *drivers* adequados para cada dispositivo, fazendo com que o sistema não dependa apenas de *drivers* de comunicação específicos (proprietários).

A organização que gerencia este padrão é a *OPC Foundation*, composta por membros de fornecedores de sistemas de controle, instrumentação e automação. Segundo Gaidzinski (2003), o objetivo desta organização é desenvolver um padrão aberto e flexível, permitindo aos usuários escolher a melhor forma de contornar determinado problema, além de reduzir custos de desenvolvimento e manutenção de servidores de software. Como se pode perceber, este padrão proporcionou consideráveis avanços para a troca de dados nos processos de automação industrial.

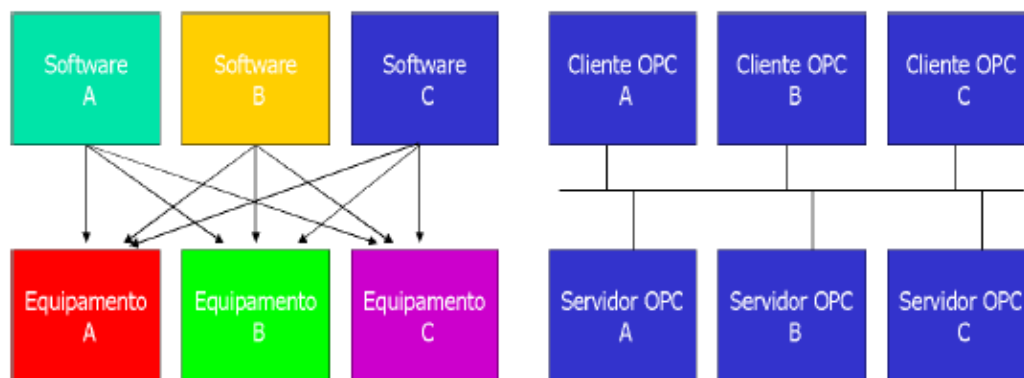


Figura 2.4 Comparativo entre a forma de comunicação usando drivers específicos e usando a arquitetura OPC – Fonte: “A tecnologia da informação no chão de fábrica: As novas ferramentas e a gestão integrada da informação” - Gaidzinski, V.H. (2003)

2.5 Componentes físicos a serem usados

Ao implementar um sistema de supervisão, faz-se necessário o prévio conhecimento do equipamento a ser usado, como a faixa de valores transmitida pelos sensores e a forma de controle dos atuadores.

O posicionamento dos equipamentos em campo também deve ser observada, a fim de fazer uma tela de supervisão mais fiel possível ao sistema físico. Por exemplo, medidores de vazão, para realizarem sua tarefa de maneira mais exata e precisa possível, devem estar distantes de pontos de singularidade, a importância de elaborar uma IHM bastante próxima do que foi montado em campo é a rápida localização física em caso de pane em um desses medidores.

Assim, é de grande importância fazer um breve estudo sobre quais equipamentos serão utilizados na coleta de dados, condicionamento, transmissão e atuação, observando as condições de operação e as variáveis ambientais.

2.5.1 Sensores e Atuadores

Sensores de temperatura

Quanto ao tipo dos sensores de temperatura, o sistema de monitoração de temperatura do supervisão se baseará numa aplicação do sensor do tipo PT-100, um RTD de precisão composto de platina, com alta sensibilidade, capaz de suportar altas temperaturas e quimicamente inerte. Sua escala possui várias opções, dependendo do tipo de PT-100.



Figura 2.3 – Tipos de fornos refervedores – Fonte: <http://www.poli.usp.br/p/luiz.terron> - Acesso em Dezembro de 2006

Válvulas

As válvulas utilizadas para reter o fluxo na tubulação serão unidirecionais do tipo solenóide enquanto que as válvulas responsáveis por direcionar o fluxo na tubulação serão válvulas seletoras também do tipo solenóide.

Bombas

As bombas pensadas foram bombas elétricas de partida direta convencional com potência suficientemente alta para conseguir bombear o produto de fundo para o refervedor acopladas a inversores de frequência para ligação com os CLPs.

Classificadores de hidrocarbonetos

Como forma de garantir o controle de qualidade do destilado nas retiradas laterais, como referência, serão adotados classificadores de hidrocarbonetos associados à um circuito comparador, tais classificadores se baseiam na espectroscopia por infravermelho, capaz de investigar a composição química de materiais baseando-se que cada ligação química possui diferentes frequências de vibração.

Na espectroscopia por infravermelho, as ondas eletromagnéticas incidentes (na frequência do infravermelho) serão absorvidas se estiverem na frequência de ressonância da ligação fazendo com que haja uma vibração nas ligações entre os átomos. A frequência de ressonância das ligações pode servir como aproximação

para determinar o comprimento das ligações, massas dos átomos e, conseqüentemente, determinar a estrutura atômica da molécula.

Forno refervedor e forno de pré-aquecimento

O refervedor é utilizado para controlar a temperatura na base da coluna de destilação, a fim de evitar a formação do coque no interior da coluna. O modelo pensado funciona através da injeção de uma carga térmica capaz de transmitir calor por contato indireto à carga a ser aquecida.

Dentre os vários tipos de refervedores encontrados, escolheu-se o atmosférico do tipo termosifão. Na Figura 2.4 temos a configuração dos refervedores encontrados, note que todos utilizam o mesmo princípio de aquecimento via injeção de carga térmica (vapor) para que, através de contato indireto (a carga térmica não entra em contato com a carga a ser aquecida) haja a troca de calor.

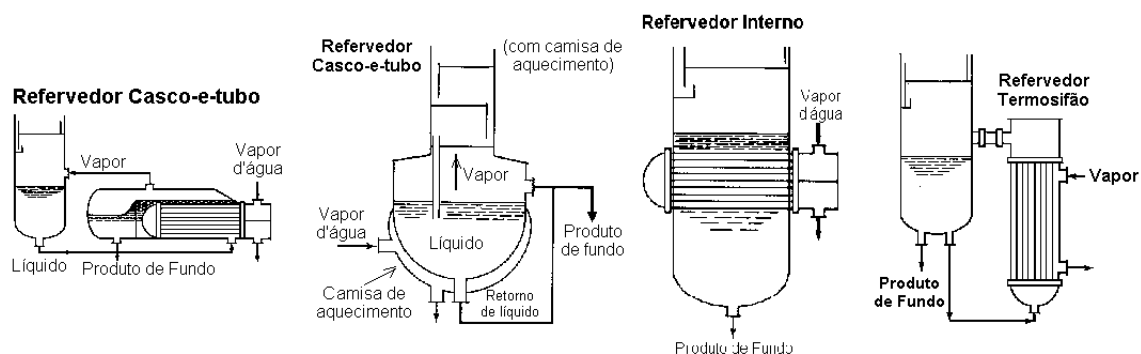


Figura 2.4 – Tipos de fornos refervedores – Fonte: <http://www.poli.usp.br/p/luiz.terron> - Acesso em Dezembro de 2008.

O forno de pré-aquecimento trata-se de um forno aquecedor atmosférico com aquecimento via injeção de uma carga térmica, similarmente ao forno refervedor. Caracterizar um forno como “atmosférico” significa que ele opera à pressão atmosférica.

Condensador

O condensador é o componente responsável pela troca de calor no topo da

coluna para a produção de uma corrente líquida. Este dispositivo é de grande utilidade no controle da pressão interna das colunas.

O condensador horizontal *shell-and-tube* do tipo total (onde toda a carga é condensada), com controle da vazão de carga térmica e do nível de inundação será adotado para estabelecimento do controle da pressão interna da coluna. Este condensador é o mais popular em refinarias de petróleo. Este e outros tipos de condensadores podem ser visualizados na Figura 2.5

O controle da capacidade de troca térmica do condensador escolhido pode ser feito pela variação da vazão de carga térmica ou pela inundação do condensador. Esta inundação pode ser obtida através de uma válvula de controle da saída do condensado.

A desvantagem do condensador vertical para o horizontal *shell-and-tube* está no fato de que não é possível estabelecer o controle da troca térmica pelo método de inundação do condensador, que é bastante simples e oferece respostas mais rápidas do que o método de variação da vazão carga térmica. Enquanto que a baixa taxa de troca térmica é a desvantagem observada nos condensadores refrigerados a ar.

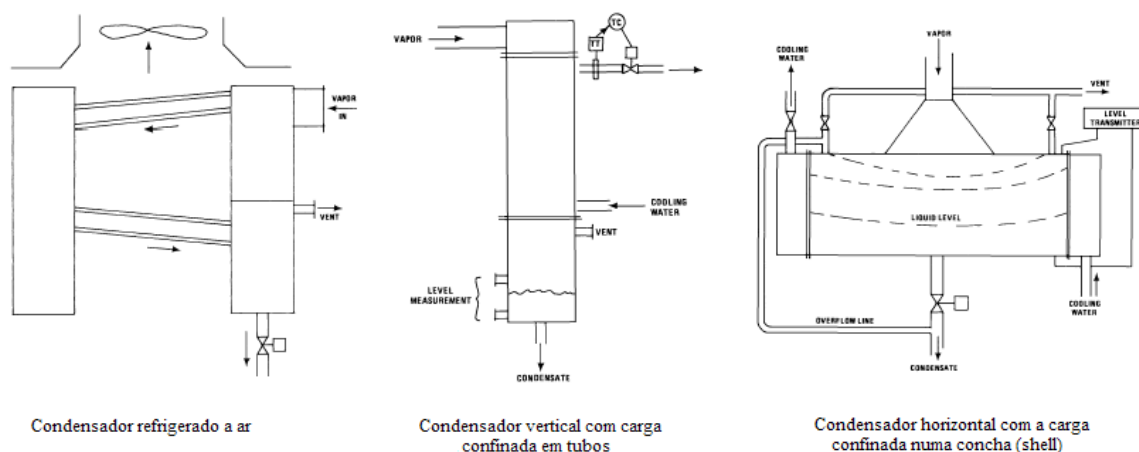


Figura 2.5 – Tipos de condensadores – Fonte: Buckley P.S., Lubyen W.L. e Shunta J.P. - *Design of distillation column control systems*.

Pratos da coluna

Os pratos diferem entre si quanto à capacidade de escoamento de líquido ou vapor, um modelo bastante difundido é o prato valvulado, que possui válvulas que

aumentam ou diminuem a capacidade de vazão de acordo com o fluxo do vapor que passa por elas (Werle, 2000). As válvulas proporcionam maior contato entre as fases, portanto, na construção do sistema de supervisão, será considerado que a coluna use este tipo de pratos.

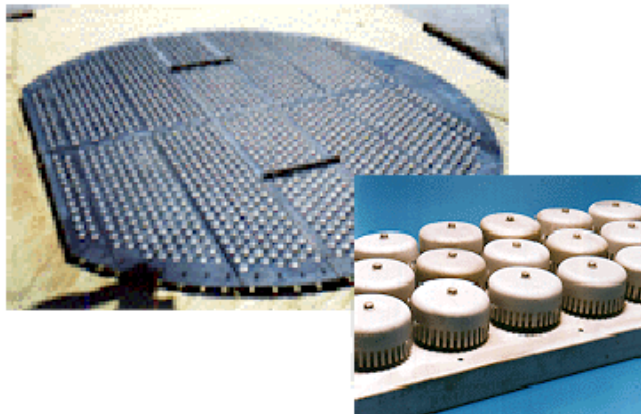


Figura 2.6 – Prato valvulado e vista aproximada das válvulas contidas no prato

2.5.2 Controladores Lógico Programáveis

Os CLPs a serem usados serão os S7-200 da Siemens, estes controladores são bastante usados em aplicações industriais variadas além de ser de conhecimento do aluno a programação neste tipo de controlador.

O S7-200 é um CLP de design compacto, capaz de monitorar entradas e alterar saídas de acordo com o que for programado pelo usuário podendo incluir lógicas binárias, contadores, temporizadores, operadores matemáticos complexos e estabelecer comunicação com outros dispositivos inteligentes.

2.6 Simulação do processo

Como visto anteriormente, a coluna de destilação trata-se de um processo de difícil solução, pois envolve múltiplas variáveis de elevado grau de acoplamento. De acordo com Jesus (2000), devido à dificuldade de modelagem desses sistemas, pode-se entender a importância crescente no estudo de tecnologias de controle inteligente que não exijam uma modelagem matemática exata, mas que incorpore algum conhecimento heurístico de como controlar o sistema.

Para a modelagem do sistema buscou-se um software de simulação, de uso bastante difundido no projeto de colunas de destilação; o HYSYS. Segundo Panissa (2003), através deste software é possível determinar as melhores posições de aquecimento distribuído para uso nos pratos da coluna, a fim de reduzir o gasto energético da coluna.

O grande problema é que não foi encontrada nenhuma versão de demonstração do HYSYS para que se pudesse ter um contato com o software de simulação. Desta forma, o sistema de supervisor foi baseado nos trabalhos de outras pesquisas envolvendo a coluna de destilação, visto que a modelagem matemática do processo envolvido numa coluna de destilação, foge dos objetivos deste trabalho.

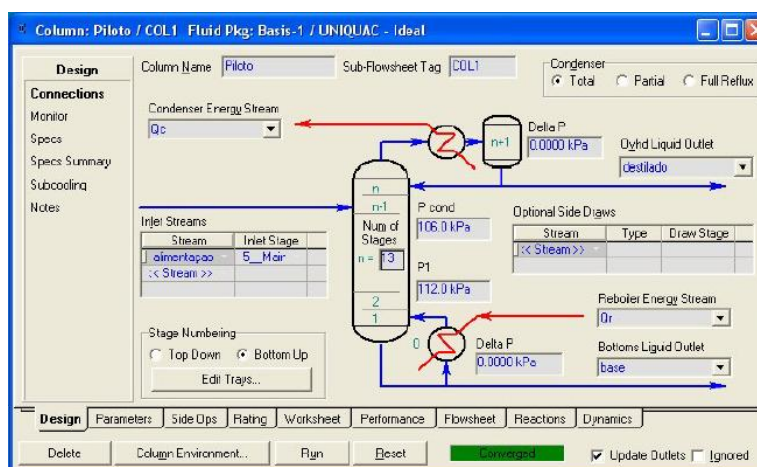


Figura 2.7 – Interface gráfica do HYSYS – Fonte: Marangoni (2005)

Como alternativa procurou-se ainda por um software livre e o Sim42 foi encontrado, capaz de simular processos petroquímicos como o de uma coluna de destilação, porém este software já não se encontra mais disponível para *download*.

Encontrou-se um interessante simulador *on-line* de pontos de ebulição em colunas de destilação através da inserção de porcentagens da composição do óleo cru em http://petrochemical.gronerth.com/flash_distillation_program_explorer.htm.

Nele é possível simular a porcentagem e composição de produto de fundo e de topo contidos na coluna de destilação para uma dada temperatura e composição de alimentação fornecidas.

2.7 Considerações Finais

A prévia observação das tecnologias disponíveis traz perspectivas maiores sobre como deve ser construído e em que se deve basear a implementação de qualquer sistema. No caso, encontraram-se possíveis problemas em determinadas etapas como a simulação do processo da coluna de destilação, onde não se encontrou nenhum software livre disponível que modelasse todo o processo. Tal problema pode ser contornado usando-se conhecimentos adquiridos e simulações feitas em trabalhos já realizados encontrados no acervo bibliográfico deste trabalho.

A escolha de cada componente do sistema a implementar foi feita de acordo com o que é mais usado na indústria de petróleo e gás natural, a fim de tornar a aplicação do sistema de supervisório mais real possível.

3 Solução proposta e resultados obtidos

Neste capítulo procurar-se-á discorrer sobre o software de supervisório escolhido e o processo envolvido para a criação das telas do sistema, explorando as variáveis (TAGs) e equipamentos utilizados, observando limitações do sistema.

O profundo conhecimento do processo é de fundamental importância para a construção do sistema de supervisão e controle e do seu entendimento. Baseando-se nisso, discutir-se-á, de maneira prática, formas de controle e funcionamento de uma coluna de destilação antes de apresentar as telas construídas para a supervisão e controle deste processo.

3.1 Solução proposta

Para a construção do sistema supervisório é necessário ter-se o prévio conhecimento dos equipamentos a serem usados em campo e a forma de controle de cada um, por exemplo, o controle de uma válvula pode ser feito de forma binária (abre/fecha), bem como o controle de um motor (liga/desliga). Desta forma poder-se-á estabelecer, de forma correta, os TAGs de cada transdutor do sistema, seja ele um transdutor ou um atuador.

Além disso, é preciso saber onde posicionar cada transdutor; A minimização dos transientes, com economia de energia, numa coluna de destilação depende fortemente da posição dos pratos enquanto que um transdutor (sensor) de vazão deve ficar em posição estratégica, longe de turbulências e vórtices, para que haja uma correta medição. Estes aspectos, quando devidamente observados, aumentam a fidelidade da imagem na IHM em relação à montagem em campo.

Descendo um pouco na distribuição dos níveis hierárquicos de controle e

observando agora os níveis 2 e 1 (níveis onde se aplica o sistema supervisório), encontrar-se-á o sistema de supervisório usado para o controle da coluna de destilação. Como observado anteriormente, o software utilizado para a construção deste sistema de supervisório foi o, já consagrado, Wonderware Intouch, um software de fácil uso e bastante versátil, garantindo grande aplicabilidade nas mais diversas áreas de controle de processos industriais.

A lista de documentações explicativas sobre a elaboração de telas de supervisórios através do Intouch é bastante extensa, facilitando o aprendizado. O conhecimento deste software de supervisório veio através de pesquisas na internet sobre os softwares usados em processos de refino de petróleo para a elaboração de telas de controle.

O sistema supervisório para o controle da coluna de destilação deveria ter um embasamento teórico sobre as melhores formas de se controlar um processo como este, para isso procurou-se observar as principais variáveis que interferem na qualidade final do produto obtido através da coluna; pressão, temperatura e vazão.

3.2 Controle da Coluna de destilação

A análise dos graus de liberdade indica o número de variáveis controladas que terá o sistema. De acordo com Ponton (1994), para determinar o número de graus de liberdade de uma coluna de destilação é necessário observar o número de controladores do sistema e subtrair pelo número de fases presentes no processo.

$$NGL = N^{\circ}. \text{ de controladores} - \text{número de fases}$$

Considere-se o caso abaixo, para uma coluna de destilação binária:

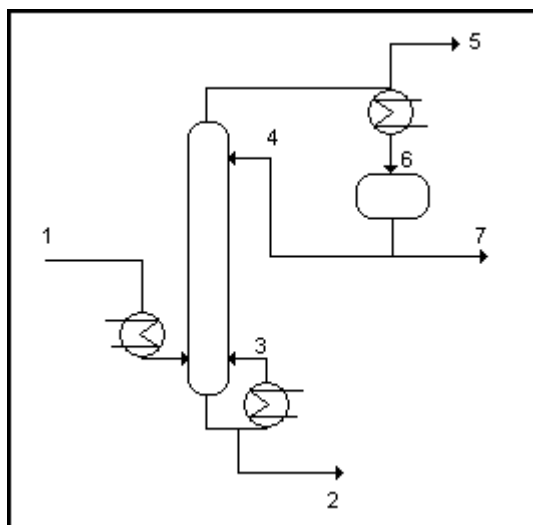


Figura 3.1 – Controle de uma coluna de destilação

Tem-se 2 (duas) fases e 7 (sete) controladores, desta forma a coluna de destilação acima possui 5 graus de liberdade. Porém como estratégia de controle para este processo considera-se apenas 4 graus de liberdade; taxa de alimentação, pressão interna, quantidade produtos de topo e fundo e composição de produtos de topo e fundo. Isto ocorre por que a pressão interna da coluna e do condensador são as mesmas, dispensando o uso de um controlador.

Para uma coluna de destilação multivariável, tem-se o aumento do número de fases, porém, proporcionalmente, ter-se-á o aumento do número de controladores (neste caso controladores de composição). Mantendo constante o número de graus de liberdade em quatro.

3.2.1 Pressão

De acordo com Kister (1990), é impossível garantir uma condição de operação de uma coluna de destilação estável sem o prévio controle da pressão interna, visto que esta variável interfere diretamente na temperatura e vazão entre os pratos da coluna, além de interferir na volatilidade dos produtos, comprometendo a qualidade dos mesmos. Para garantir tal controle sobre a pressão lança-se mão de algumas técnicas:

- **Vent para a atmosfera** – Utilizado quanto apenas em colunas de destilação atmosférica com condensador total. Neste método a vazão de carga térmica é

mantida constante e o acumulador possui um vent para a atmosfera, fazendo com que as pressões internas do acumulador e da coluna de destilação sejam iguais à pressão atmosférica. Trata-se de um método bastante simples, porém com perdas de carga em forma de gás não condensado, caso o condensador opere em condição tal que parte do líquido fique sub-esfriado.

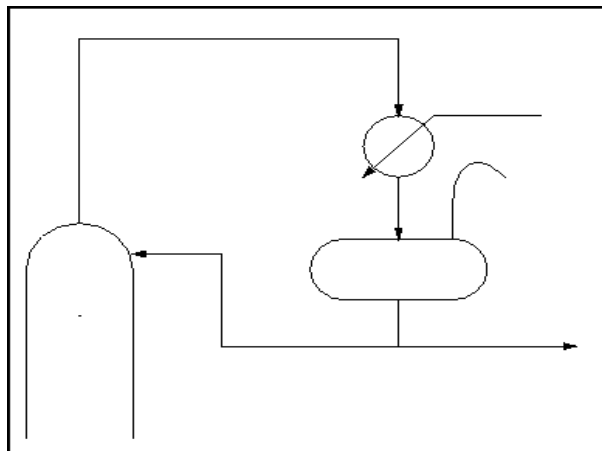


Figura 3.2 – Método do vent para a atmosfera, para controle de pressão (Fonte: <http://eweb.chemeng.ed.ac.uk>, acesso em Fevereiro de 2008).

- **Condensador inundado** – Método mais popular quando a coluna possui um condensador total. O fluido vindo do condensador é manipulado a fim de variar a área inundada do condensador. A transferência de calor na área inundada é pequena. A pressão é então controlada através da variação capacidade de troca de calor do condensador. Neste caso a válvula do fluido refrigerante (carga térmica) é colocada totalmente aberta e uma válvula deve ser adicionada na saída do fluido condensado de forma a variar o nível interno no condensador e conseqüentemente sua área para troca térmica.

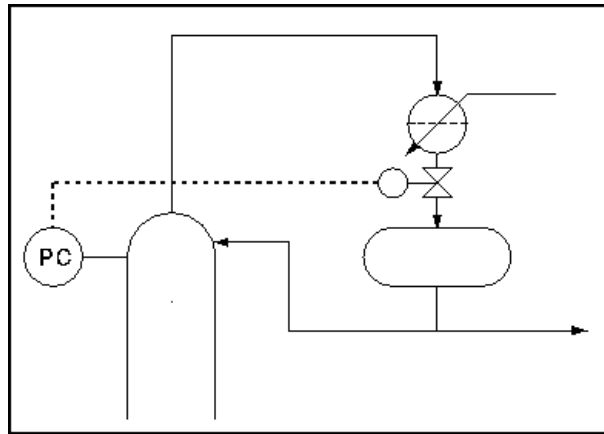


Figura 3.3 – Método do condensador inundado, para controle de pressão (Fonte: <http://eweb.chemeng.ed.ac.uk> , acesso em Fevereiro de 2008).

- **Variação da vazão de carga térmica** – Como o nome mesmo diz, a fim de controlar a pressão, tenta-se acelerar o processo de condensação do produto de topo através da variação da carga térmica do acumulador. No caso do fluido condensador usado ser a água, pode oferecer problemas para certos níveis de velocidade da carga térmica, além de fornecer respostas muito lentas e/ou não-lineares. Por isso é pouco usado.

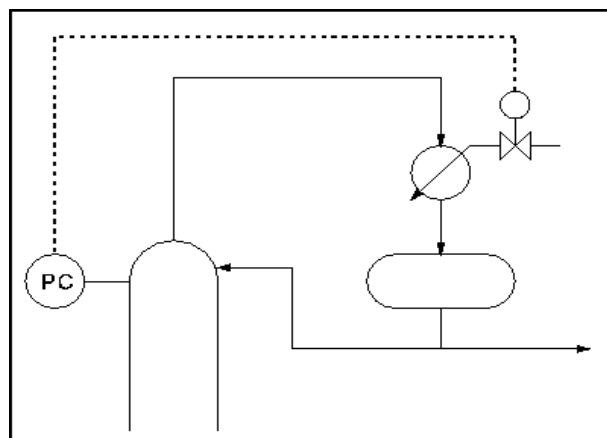


Figura 3.4 – Método da variação da vazão de carga térmica, para controle de pressão (Fonte: <http://eweb.chemeng.ed.ac.uk> , acesso em Fevereiro de 2008).

- **Miscelânea** – É possível ainda fazer uso de mais de um dos métodos acima citados de forma a acelerar a resposta na diminuição da pressão.

3.2.2 Nível

O controle de nível interno da coluna também é importante para o processo, visto que o nível dita a quantidade de vapor que será gerado, influenciando diretamente na pressão interna da coluna. Tal controle é feito na base da coluna entre a alimentação e o refulvador do produto de base da coluna.

3.2.3 Temperatura

A temperatura possui elevado grau de acoplamento com a pressão interna da coluna, portanto, não adianta o controle feito de forma isolada de apenas uma destas variáveis não tem sentido. Para o controle de temperatura, como visto antes, lança-se mão da técnica do aquecimento distribuído, juntamente com o controle da temperatura na base da coluna.

3.2.4 Composição química do óleo cru na alimentação da coluna

Sabe-se que para cada local diferente de extração, a composição química do petróleo varia, alterando o ponto de ebulição e o percentual de cada derivado. Na alimentação de uma coluna de destilação pode vir de várias fontes, isto pode acarretar no surgimento de estágios transientes na coluna.

A composição do óleo cru, fornecido à alimentação da coluna, tem influencia direta no ponto de ebulição do material e, conseqüentemente, na pressão interna da coluna devido a uma maior ou menor concentração de gases no interior da coluna. Para o controle da composição do óleo cru faz-se o uso de tanques acumuladores, chamados de tanques pulmão, a fim de estabelecer uma mistura das diferentes alimentações e a conseqüente minimização de transientes.

3.3 Balanço dinâmico de material

O balanço de material baseia-se no princípio de conservação de massa num sistema fechado. Considerando que na coluna de destilação não haja perda de carga, este método pode ser aplicável como forma de modelar o processo. Como a coluna possui várias partes, cada uma com valores de variáveis diferentes (porém dependentes dos valores de outras partes), esta modelagem via balanço de material

pode ser feita por etapas.

3.3.1 Em cada estágio

Como observado anteriormente, a coluna de destilação é dividida em pratos e a área delimitada entre dois pratos pode ser tratada como um estágio da coluna.

Para o balanço de massa do líquido acumulado (*holdup*), é preciso levar em consideração os estados líquido e vapor. O vapor depende dos fluxos de vapor que passam pelos furos ou válvulas de cada prato (proveniente de um estágio inferior), somados ao vapor que sai do estágio através das válvulas do prato superior. A quantidade de líquido no prato depende da quantidade de líquido que chega ao prato através do vertedouro do prato superior, subtraído da quantidade de líquido que sai do estágio. Desta forma pode-se definir o balanço de massa em cada estágio através da equação:

$$\frac{dM_i x_i}{dt} = L_{i+1} x_{i+1} + V_{i-1} y_{i-1} - L_i x_i - V_i y_i$$

Onde:

M_i é definido como a retenção molar de líquido no prato “i” (*holdup* no prato “i”)

V_i é o fluxo molar do vapor que entra no prato “i” através das válvulas ou furos

L_i é o fluxo molar do líquido que deixa o prato “i” através dos vertedouros

x_i é a fração molar do estado líquido no prato i

y_i é a fração molar de vapor no prato “i”

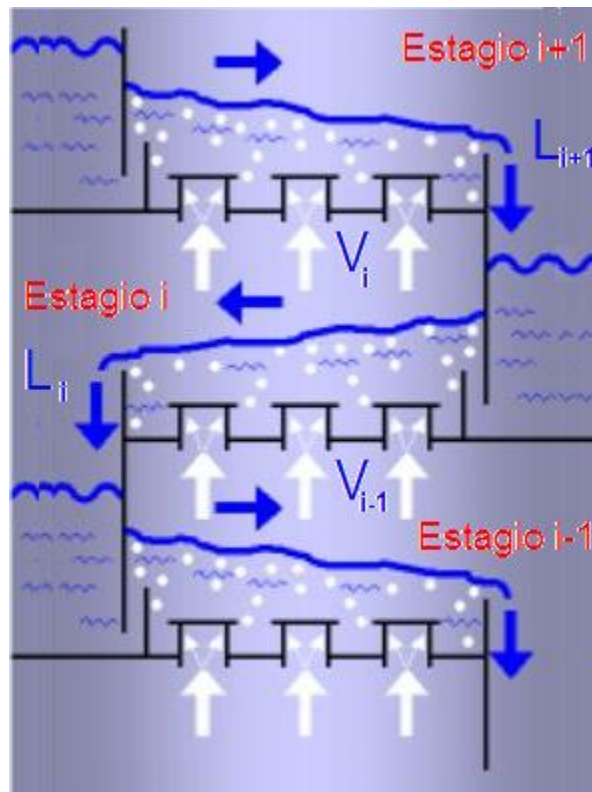


Figura 3.5 – Relações das variáveis para balanceamento da massa em cada estágio.

3.3.2 Na alimentação

A alimentação de uma coluna de destilação é feita em um dos estágios da coluna (geralmente nos estágios inferiores) e para evitar a formação de estados transientes decorrentes da adição de carga fria à coluna, deve-se pré-aquecer este material, para que seja enviado, neste aquecimento vapores são gerados, e a carga entra parcialmente em forma de vapor.

Considere que a alimentação da coluna ocorra num estágio que será chamado de “A”, e que o material da alimentação é composto pelas fases vapor e líquido com r_a sendo o coeficiente que define a razão entre líquido e vapor, onde para $r_a=1$ tem-se alimentação 100% líquida e para $r_a=0$ caracteriza-se uma alimentação 100% gasosa. Desta forma pode-se descrever o balanço de material para a alimentação da seguinte forma:

O fluxo de vapor no estágio “A” (V_A) será igual ao fluxo de vapor que sobe do estágio imediatamente abaixo (V_{A-1}), somado ao fluxo de vapor que vem da alimentação ($F(1-r_a)$):

$$V_A = V_{A-1} + F(1 - r_a)$$

O fluxo de líquido no estágio “A” (L_A) será igual ao fluxo de líquido que desce do estágio imediatamente acima (L_{A+1}), somado ao fluxo de líquido que vem da alimentação ($F(1 - r_a)$):

$$L_A = L_{A+1} + F \cdot r_a$$

3.3.3 No condensador

Considerando o caso de um condensador total, onde toda a carga de vapor é condensada, assume-se que a taxa de destilado produzido deve ser igual ao fluxo de vapor no topo da coluna:

$$V_n = L_D + D$$

Onde V_n é o fluxo de vapor que atravessa o último prato da coluna (no estágio mais alto), L_D é a vazão proveniente do refluxo e D é o destilado produzido.

3.3.4 No refeededor

Similarmente ao condensador, no refeededor, parte da carga que passa no refeededor é enviada de volta à coluna e outra parte saindo do processo e classificado como produto de fundo. Assim a equação de balanço de material para o refeededor é dada como:

$$PF = L_F - V_{\text{refeededor}}$$

Onde PF é a taxa molar de produto de fundo produzida, $V_{\text{refeededor}}$ é a taxa de carga que sai da coluna para o refeededor e L_F é a vazão proveniente do refluxo.

3.4 As telas do supervisório construído

Através do *Intouch* a solução proposta foi implementada com êxito, porém não devidamente testada, pelo insucesso das tentativas de comunicação do supervisório com o servidor OPC. Este problema pôde ser contornado com a ajuda

de janelas auxiliares capazes de alterar os valores dos TAGs que seriam lidos pelo sistema, caso a comunicação entre supervisor e mundo real fosse estabelecida.

A seguir capturas de tela do programa em execução serão mostradas, de forma a facilitar o entendimento do funcionamento do sistema no controle do processo.

3.4.1 O Cabeçalho

O cabeçalho é o elemento comum a todas as telas do sistema elaborado. É composto por componentes com informações e/ou ações essenciais para o operador, como a navegação entre telas, mudança de modo de controle (manual/automático), visualização de pressão interna, nível na base, temperatura na base e nos aquecimentos distribuídos.

Na Figura 3.6 é possível verificar a organização do cabeçalho que fica na parte superior das telas do supervisor, com o título centralizado da janela em operação.

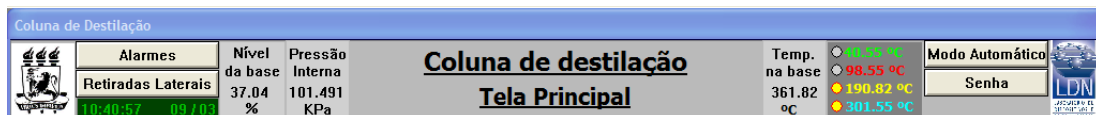


Figura 3.6 – Cabeçalho do supervisor

Observa-se a presença de quatro botões:

- Alarmes – Muda para a tela de visor de alarmes
- Retiradas Laterais – Muda para a IHM de monitoração e controle das retiradas laterais
- Modo Automático/Manual – Muda o controle do processo para automático ou manual
- Senha – Para mudar de modo automático a manual é preciso digitar a senha

Ainda no cabeçalho percebem-se três visores de alarmes que piscam em vermelho, caso a coluna comece a operar fora das especificações:

- Nível da base – Atua sempre que o nível na base da coluna ultrapassar os limites de 20% a 95%
- Temperatura na base – Atua sempre que a temperatura na base sair dos limites de 330°C a 370°C
- Pressão interna – Atua sempre que a pressão estiver fora das margens de 98Kpa a 103Kpa.

Através do cabeçalho é possível realizar o controle e monitoração do aquecimento distribuído da coluna através do retângulo cinza mais escuro. O controle de aquecimento dos pratos só poderá ser feito mediante o sistema estar em modo manual, caso contrário, será o próprio sistema que atuará sobre o fornecimento de corrente elétrica nas resistências para aquecimento distribuído da coluna.

Além disso, ainda é possível visualizar data e hora através do relógio localizado no canto superior esquerdo. Este cabeçalho é visualizado em todas as três telas do supervisor.

3.4.2 A Tela Principal

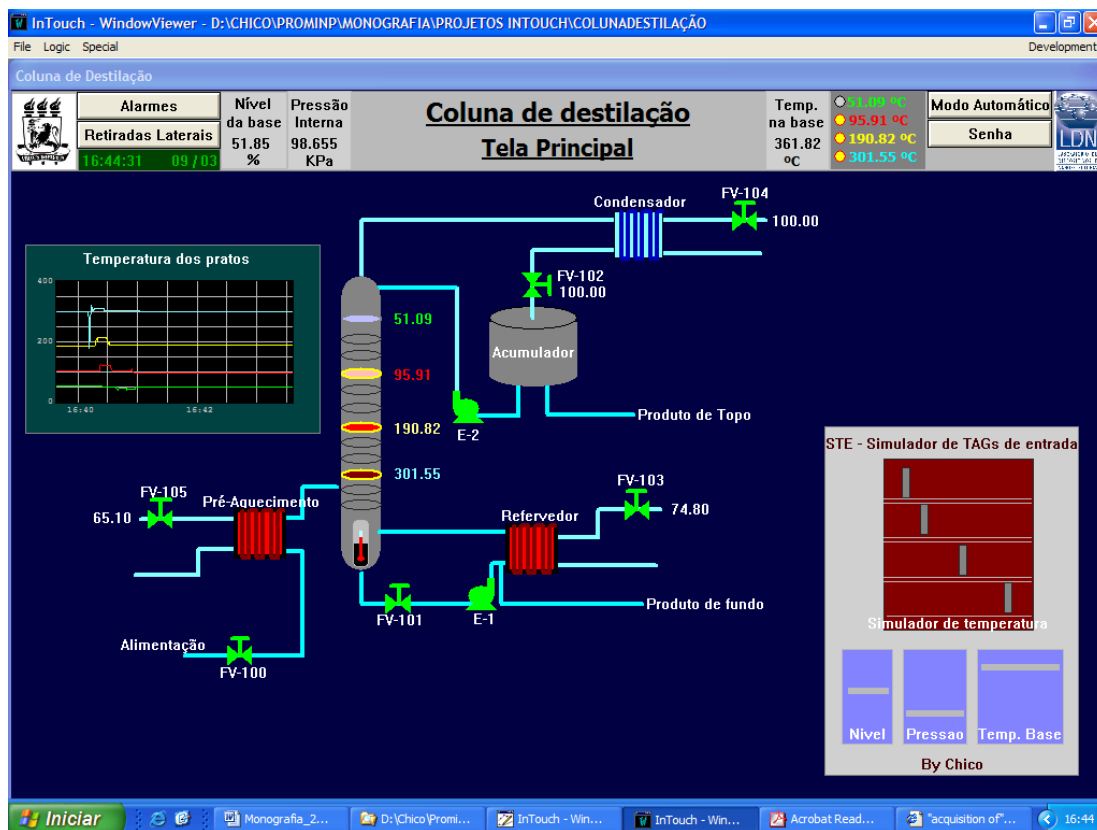


Figura 3.7 – Tela principal do sistema de supervisório construído no Intouch.

Observando-se agora o funcionamento do processo representado na tela principal, tem-se a coluna no centro, recebendo, através da válvula FV-100, alimentação do óleo cru que é previamente aquecido no forno de pré-aquecimento, este forno possui temperatura regulável através da variação da carga térmica que passa pela válvula FV-105. Note que a porcentagem de abertura (65,10%) da válvula está ao seu lado.

Em modo automático a abertura das válvulas é controlada de acordo com a necessidade de ação sobre o sistema, para o caso da válvula FV-105, sua abertura será tão maior/menor quanto à necessidade de aumentar/diminuir a temperatura na base (indicada por um termômetro com preenchimento em vermelho localizado na base da coluna).

Na parte inferior direita da coluna observa-se a presença do forno refrervador aquecido através da injeção de carga térmica pela válvula FV-103. O óleo cru é reaquecido sempre que a válvula FV-101 é aberta e a bomba E-1 ligada.

Em modo automático, a válvula FV-103 possui comportamento similar ao da válvula FV-105, aumentando ou diminuindo sua abertura conforme a temperatura da carga na base da coluna. Na tabela 3.1 tem-se os limites para a atuação do sistema no controle da temperatura de base.

Tabela 3.1 – Limites para atuação do sistema no controle da temperatura na base da coluna de destilação

Limites de temperatura na base para o controle automático		Limites de temperatura na base para atuação de alarme	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
365 °C	370 °C	330 °C	370°C

No topo da coluna, é possível observar a presença do condensador cuja tarefa é condensar o vapor obtido no topo da coluna e minimizar a pressão interna da mesma. O condensador é alimentado através da carga térmica que passa pela válvula FV-104, o gás nele condensado fica armazenado num acumulador, responsável por garantir a razão de refluxo para o interior da coluna.

No modo automático, a vazão de carga térmica que passa através de FV-104 é regulada de acordo com a pressão interna da coluna, quanto maior a pressão, maior a necessidade de se condensar o vapor da coluna e maior será a abertura de FV-104, possibilitando uma maior passagem de carga térmica no condensador, a fim de aumentar sua capacidade de troca térmica.

Como visto anteriormente, o método de controle descrito trata-se do controle de pressão por variação de carga térmica no condensador e caracteriza-se por possuir respostas muito lentas. Desta forma implementou-se também o método do condensador inundado como forma de acelerar a mudança da capacidade de troca térmica.

O método de controle de pressão via inundação do condensador é feito através do ajuste da válvula FV-102. Quando a pressão interna da coluna é muito alta/baixa o sistema em modo automático atua aumentando/diminuindo a abertura da válvula proporcionalmente à diferença entre a pressão atual e a pressão que se deseja alcançar.

Tabela 3.2 – Limites para atuação do sistema no controle da pressão interna da coluna de destilação

Limites de pressão para o controle automático		Limites de pressão para atuação de alarme	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
99KPa	102Kpa	98Kpa	103KPa

Em quatro dos doze pratos representados graficamente da coluna, observa-se o aquecimento distribuído em ação. Na Figura 3.7, estes pratos estão a uma temperatura considerada dentro dos padrões para o bom funcionamento da coluna.

O comportamento das temperaturas em cada prato é monitorado no tempo através de um gráfico que faz a atualização dos valores a cada meio segundo, mostrando as curvas de temperatura de cada prato para os últimos cinco minutos.

Caso a temperatura nos pratos saia dos limites, o aquecimento do prato é iniciado através da passagem de corrente por uma resistência elétrica acoplada ao prato. Esta ação é representada graficamente por uma aréola amarela indicando qual prato está sendo aquecido, podendo ser visualizado na Figura 3.7 que os três pratos mais inferiores estão sendo aquecidos. Os limites de temperatura para o controle automático atuar são definidos na tabela 3.1.

Tabela 3.3 – Limites do controle de temperatura no aquecimento distribuído, Onde o “prato 1” é o mais alto e o “prato 4” o mais inferior.

Prato	Limites para o controle automático		Limites para atuação de alarme	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Prato 1	48°C	53°C	45°C	55°C
Prato 2	98°C	103°C	95°C	105°C
Prato 3	188°C	193°C	185°C	195°C
Prato 4	298°C	303°C	295°C	305°C

O controle de nível é feito de forma bastante simples; um sensor de nível, localizado na base da coluna, monitora constantemente o estado do líquido na coluna, caso o nível esteja alto e o sistema esteja em modo automático, é fechada a

válvula de alimentação FV-100, se o nível estiver baixo a válvula é aberta. A válvula de alimentação não tem regulação de vazão, abrindo ou fechando completamente. Na tabela 3.4, observa-se os limites para atuação do sistema quanto ao nível interno de carga na coluna.

Tabela 3.4 – Limites para atuação do sistema no controle do nível de carga na coluna de destilação, dado em percentual da capacidade da coluna.

Limites de nível para o controle automático		Limites de nível para atuação de alarme	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
60%	80%	20%	95%

Por fim, no canto direito inferior da tela principal, observa-se o STE (Simulador dos TAGs de Entrada); elemento simulador de valores dos TAGs de entrada do sistema. Através dele pode-se testar o funcionamento do supervisório sem que seja necessário interligar o supervisório ao mundo real. Com o STE é possível simular valores para a temperatura nos pratos, o nível de carga, a temperatura na base da coluna e a pressão interna.

3.4.3 Visualização dos alarmes

Na Figura 3.8, é possível observar a tela de visualização dos alarmes ocorridos. O acesso a esta tela é feito pelo botão “Alarmes” situado no canto direito superior das telas “Principal” e “Retiradas Laterais” do supervisório. Através desta tela é possível visualizar a hora em que determinada variável entrou num patamar de risco (em vermelho) e quando normalizou (em azul). É possível ainda encontrar nesta tela a prioridade dos alarmes, os limites superior e inferior das variáveis e o valor com o qual o valor da variável foi considerado fora dos padrões.

As variáveis do supervisório (TAGs) monitoradas pelo sistema de alarme são: temperatura da base, pressão interna, nível e temperatura dos pratos do aquecimento distribuído.

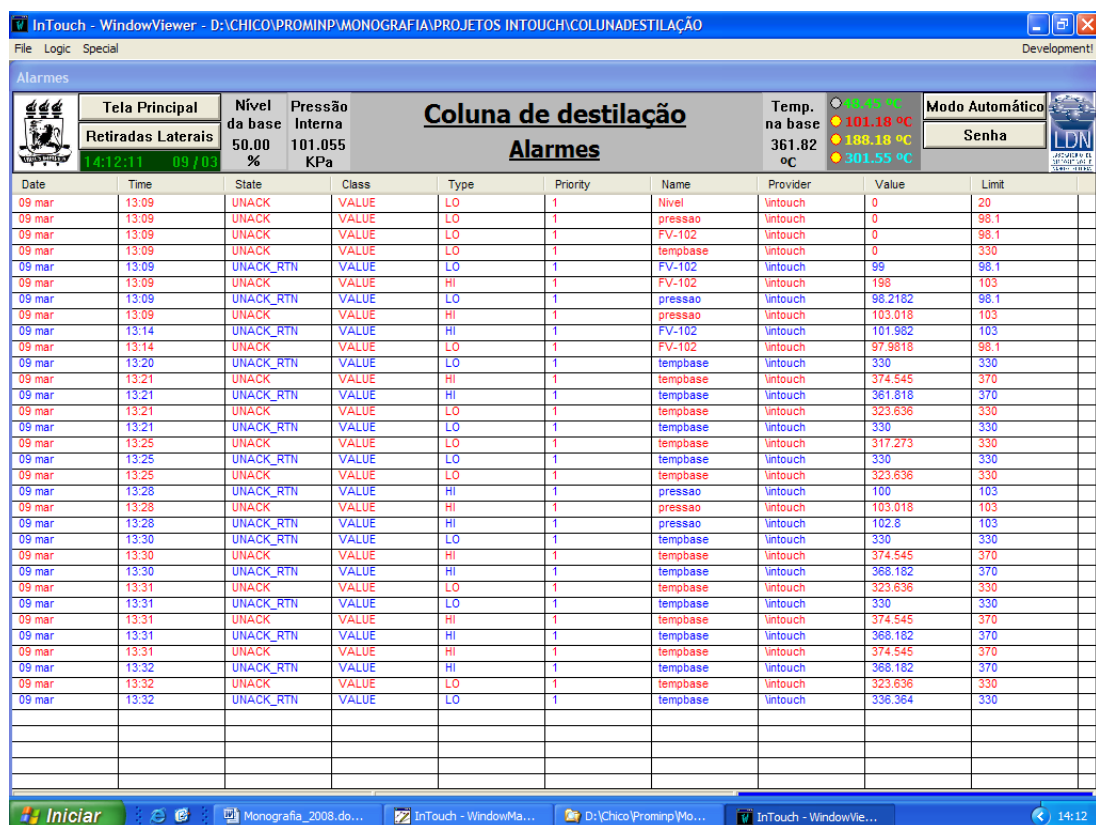


Figura 3.8 – Tela de Alarmes do sistema de supervisão da coluna de destilação.

3.4.4 Tela de retiradas laterais

Clicando-se, com o mouse, no botão “Retiradas Laterais”, o sistema entrará no controle de qualidade de cada fração do destilado, este controle é feito por um circuito contendo um classificador de hidrocarbonetos que usa a tecnologia da espectroscopia por infravermelho, associados a um circuito comparador (representado no supervisão como um quadrado). Tal circuito eletrônico serve como controlador de posição de uma válvula bidirecional (representada na IHM como duas válvulas simples com o mesmo TAG) que define se composto vai para um tanque acumulador (caso sua composição esteja dentro do esperado) ou se volta à coluna (se estiver fora de especificação). Na Figura 3.9 observa-se a tela que mostra as retiradas laterais.

Observa-se, novamente, a necessidade de simulação de variáveis de entrada para monitoração da resposta do classificador de hidrocarbonetos. Para isso foi incluído um quadro com quatro chaves para simulação da respostas destes sensores de qualidade.



Figura 3.9 – Tela de retiradas laterais da coluna.

3.4.5 Autenticando-se no sistema via digitação de senha

Se o usuário desejar desativar o modo de controle automático do sistema de supervisão, por algum motivo, deverá antes digitar uma senha para desbloqueio do sistema. Caso a senha não seja digitada, é impossível do operador controlar os atuadores do processo. Na Figura 3.10 encontra-se a tela que aparece ao clicar no botão “Senha” no canto superior direito da tela. Note que é possível entrar com a senha via teclado ou mouse, através do teclado virtual exibido na tela.

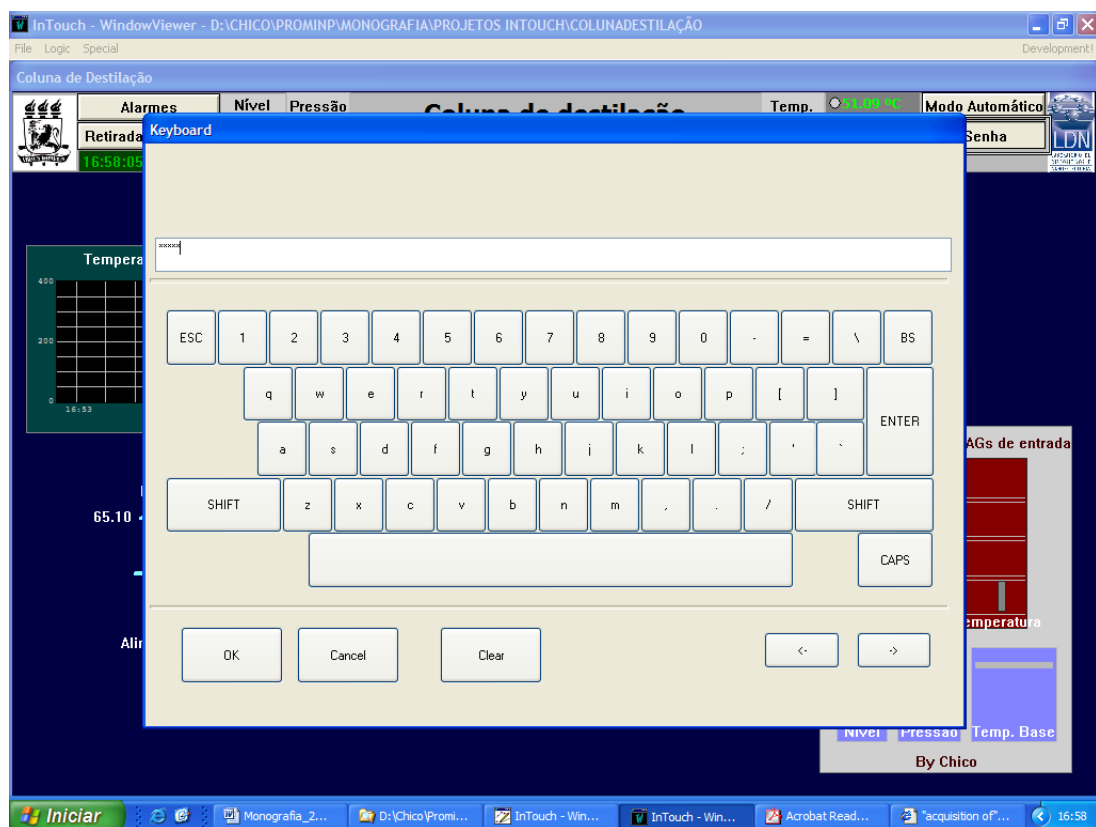


Figura 3.10 – Ao clicar em “Senha” é exibida uma tela para entrar com a senha.

3.4.6 Sistema em modo manual

Na Figura 3.11, tem-se o controle sendo feito de maneira manual quando ocorre o problema de nível baixo na base da coluna. É exibida ao operador uma janela para que ele esteja ciente do problema, além do mostrador de nível ficar piscando em vermelho até que o nível se normalize.

Para o controle do nível da coluna no modo automático, em caso de nível baixo, a passagem de produto de fundo para o refeedor é cessada, enquanto que a válvula de alimentação é aberta. Desta forma consegue-se o controle através do balanço de massa. Em modo manual o operador deverá proceder de maneira similar.

O controle da vazão de carga térmica no forno de pré-aquecimento é realizado pela válvula FV-105 controlada pelo valor da temperatura na base da coluna.

Para intervir no estado das válvulas de alimentação e do refeedor é simples,

basta clicar com o mouse em cima das mesmas.

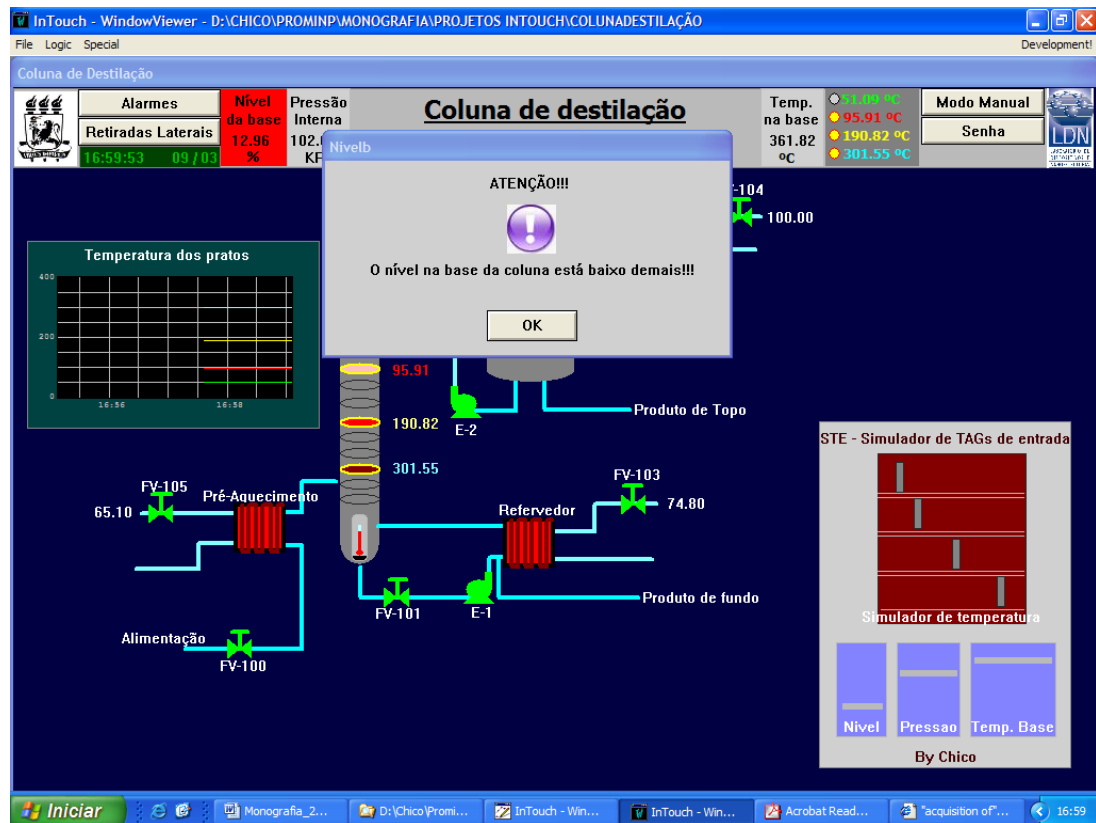


Figura 3.11 – Tela principal da coluna em modo manual indicando nível baixo.

Na Figura 3.12 tem-se o nível de pressão baixa, quando o sistema de supervisão encontra-se em modo manual. Recomenda-se que o operador abra a válvula de alimentação (caso esteja fechada) ou permita uma maior vazão de óleo cru, aumentando a abertura da válvula (a fim de aumentar a quantidade de carga interna), e feche as válvulas FV-104 (responsável pela passagem de carga térmica ao condensador) e FV-102 (responsável pela inundação do condensador através da restrição de passagem do condensado), de forma a diminuir a capacidade de troca térmica do condensador .

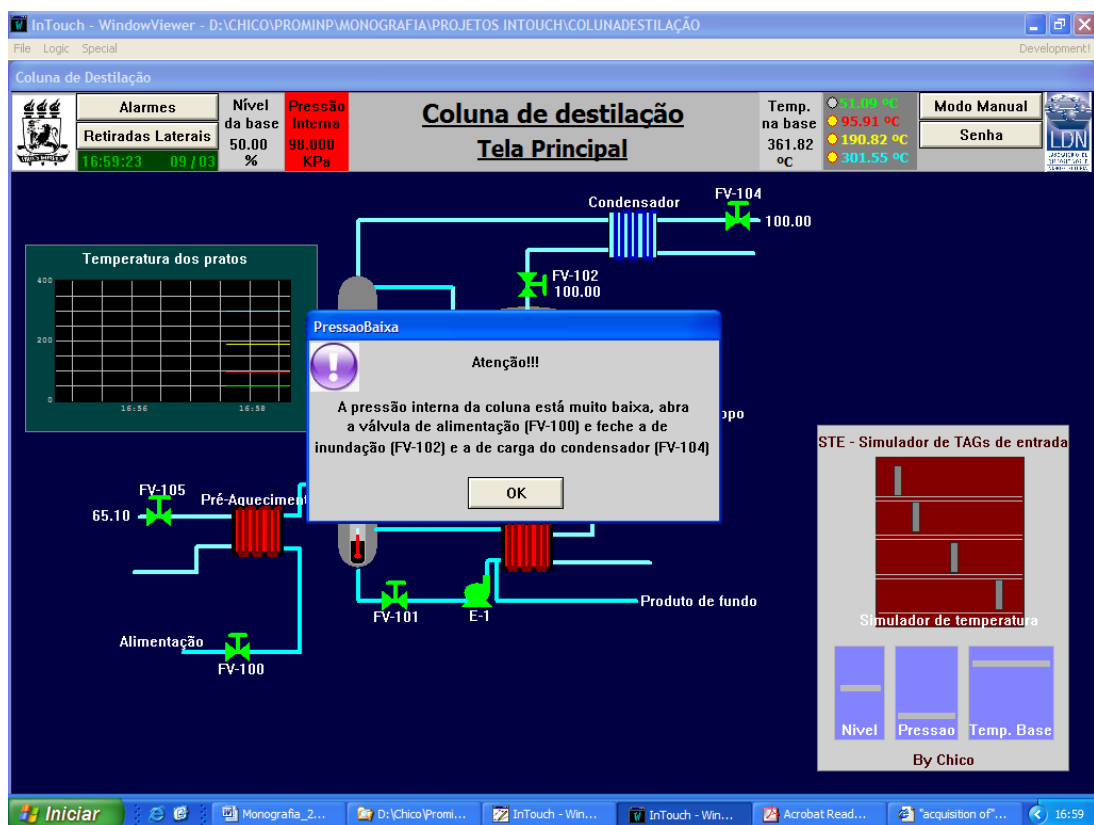


Figura 3.12 – Tela principal da coluna indicando pressão baixa.

Já na Figura 3.13 observa-se a situação da pressão interna alta e o modo de operação em manual. Assim como nas ocorrências anteriores de alarmes, o sistema adverte o operador somente uma vez em forma de janela *Pop-UP*. Enquanto que o mostrador da pressão interna da coluna fica piscando em vermelho. Neste caso de pressão interna alta, recomenda-se que o operador feche a válvula de alimentação (como forma de diminuir a quantidade de massa a ser evaporada), e aumente a capacidade de troca térmica do condensador através da abertura das válvulas FV-102 e FV-104.

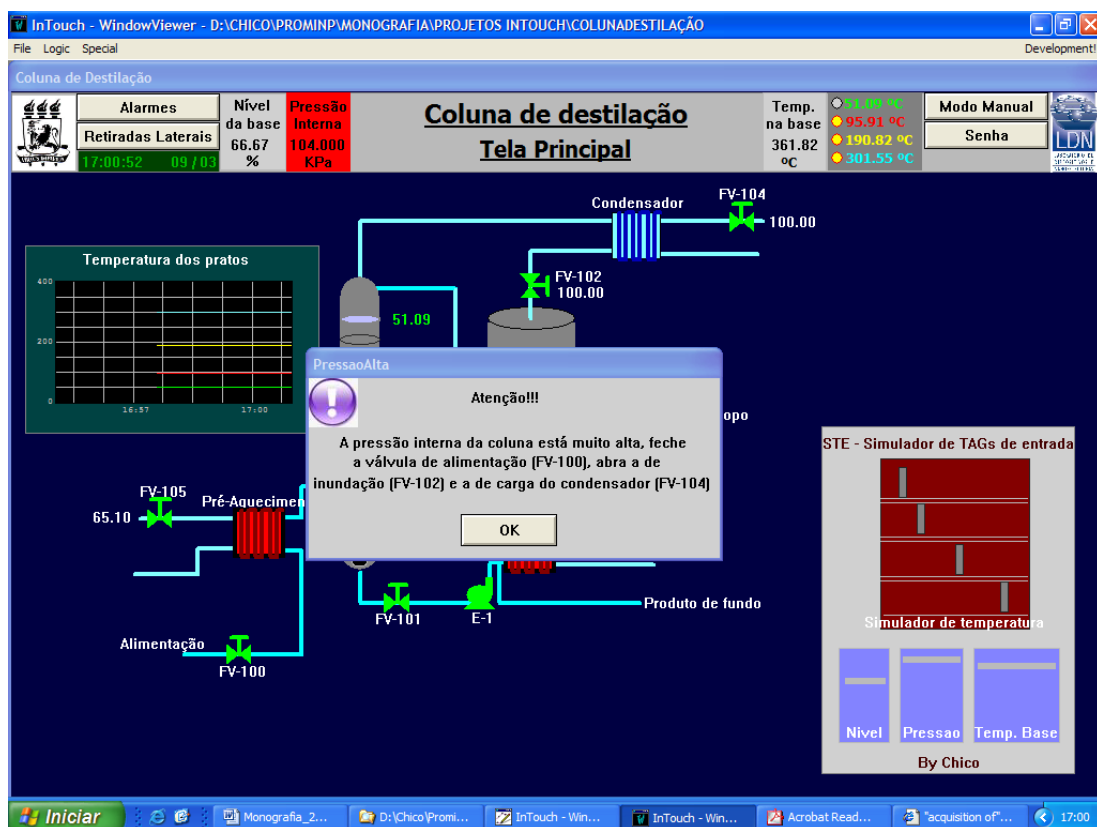


Figura 3.13 – Tela principal da coluna indicando pressão alta.

Na Figura 3.14 observamos a possibilidade de modificar a abertura das válvulas FV-105, FV-104 e FV-103 pelo operador. As aberturas são mostradas em percentual (0% - totalmente fechada, 100% totalmente aberta).

Quando ajustamos a abertura das válvulas para 0%, automaticamente o sistema de supervisão atribui cor vermelha a estas válvulas, indicando que estas estão completamente fechadas. Para alterar os estados correspondentes das válvulas, basta clicar com o mouse sobre a válvula que se deseja alterar o estado.

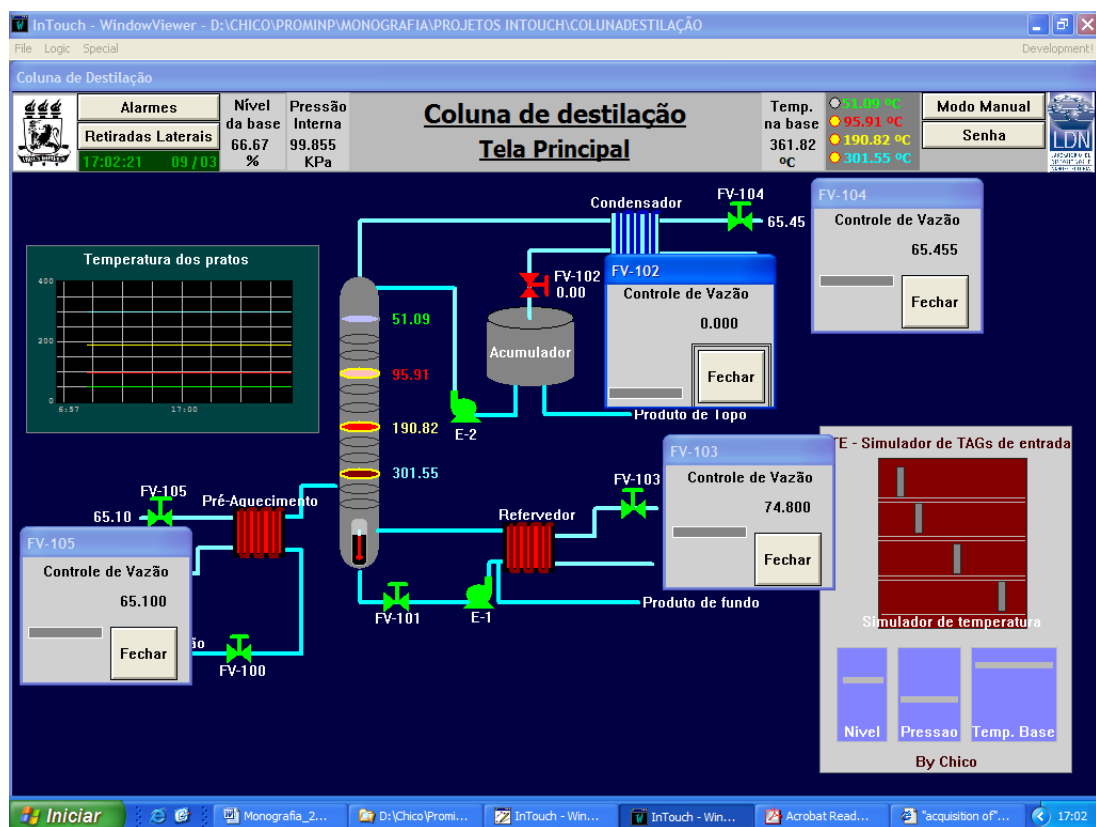


Figura 3.13 – Tela principal possibilitando a configuração manual das válvulas.

3.5 Considerações finais

A princípio, o objetivo era o controle completo da coluna de destilação, levando em consideração todas as variáveis envolvidas no processo, porém seria necessário mais de 32 TAGs, limite máximo para o InTouch na versão demonstração.

A parte de alimentação, que deve vir a partir de um tanque pulmão, de forma a atenuar transientes devido aos tipos diferentes de composição do óleo cru, foi um dos exemplos de exclusão de função do supervisório, pois seria necessário a colocação de mais um TAG para medição do nível do tanque pulmão.

A limitação estendeu-se ao número de pratos aquecidos com aquecimento individual na coluna (inicialmente pensou-se em usar este método em todos os pratos da coluna). Neste caso, apenas com o aquecimento distribuído da coluna seriam desperdiçados “ n ” TAGs para uma coluna de “ n ” pratos.

Para a construção do sistema de supervisório da coluna restrito aos 32 TAGs,

buscou-se implementar as formas de controle essenciais para o entendimento do processo. Com estas limitações, pode-se concluir que o sistema de supervisorio para uma coluna de destilação implementado através deste estudo possui apenas fins de aplicação acadêmica.

4 Conclusões, melhorias possíveis, trabalhos futuros

No decorrer do trabalho foram encontradas algumas dificuldades como o grande número de métodos de controle existentes na literatura para o processo da coluna de destilação e as limitações do software de supervisão, que operava em modo demonstração. Estes problemas puderam ser resolvidos com a escolha dos métodos de controle que necessitassem do menor número de TAGs possível, sem perdas consideráveis na eficiência do processo.

O controle de colunas de destilação é de extrema importância econômica, pois a etapa de destilação impede, devido aos estados transientes, o aumento da produção de derivados do petróleo além de apresentar alto consumo energético.

Processos de controle de uma coluna de destilação, assim como de outros processos atuais, caracterizam-se por algoritmos de controle de elevada complexidade. Sendo, desta forma, inviável o controle centralizado dos processos. A metodologia de aquecimento distribuído é uma boa alternativa de aumentar a estabilidade da coluna sem aumentar a complexidade da modelagem do sistema.

A pressão é a principal variável de controle para garantir a estabilidade operacional de uma coluna de destilação atmosférica, as demais variáveis como nível, temperatura e composição devem ser controladas de forma a manter a pressão constante, visto que estas possuem elevado grau de acoplamento com a pressão.

As restrições encontradas na limitação do número de TAGs do *Intouch* e na dificuldade em encontrar um software livre para uso na simulação do processo impedem que o que foi feito até agora neste projeto seja aplicado à um processo industrial de refino de petróleo, porém vale ressaltar a importância deste trabalho como uso acadêmico, discutindo sobre as formas de controle e os problemas de um processo tão complexo.

Quanto ao classificador de composição dos hidrocarbonetos obtidos das retiradas laterais, o método de espectroscopia por infravermelho apresenta grande segurança, pois a partir dele é possível obter-se resultados confiáveis sem riscos de causar centelhamentos e uma conseqüente explosão.

Devido a problemas encontrados quanto ao software de simulação e quanto à comunicação OPC do supervisório com o meio real, o sistema proposto não pôde ser testado remotamente através de um CLP ligado a um computador executando um software de simulação. Tal problema pôde ser contornado com a simulação de valores das variáveis do supervisório (TAGs) dentro do próprio sistema pelo operador através de janelas com regulação de valores de entrada.

Por fim, o resultado do trabalho atendeu às expectativas de criar um supervisório que estabelecesse o controle para uma coluna de destilação utilizando uma versão de demonstração o *Intouch*. O supervisório baseou-se no controle da coluna de destilação por métodos já conhecidos e implementados anteriormente.

4.1 Trabalhos futuros

Como proposta de trabalhos futuros, pode-se considerar a interligação do sistema de supervisório com o mundo real (CLPs) através de um servidor OPC. Através desta comunicação será possível simular o processo através de um computador remoto executando um software de simulação (o HYSYS, por exemplo).

O interesse maior é de, futuramente, fazer uso deste supervisório e dos estudos para chegar à construção de uma coluna de destilação em escala piloto, para fins de estudo do processo de forma mais realística, observando-se os efeitos variáveis ambientais e erros sistemáticos.

O sistema de supervisório poderá evoluir caso seja adquirida uma distribuição completa do *Intouch* ou até mesmo uma versão completa de outro sistema de supervisório como o Elipse SCADA.

Através do aumento do número de TAGs será possível uma completa monitoração do processo, incluindo as etapas de armazenamento do óleo cru em tanques pulmão, medidores de vazão, medidores de nível no acumulador e no condensador, etc..

Apêndice A

Código fonte comentado do *Application script* criado pelo aluno no Wonderware Intouch para o controle da coluna de destilação:

Código Fonte	Comentários
<pre> IF (pressao >= 102) THEN IF (manual == 0) THEN E-2=0; FV-101=0; E-1=0; FV-102=FV-102 + 2*(pressao - 102); FV-104=FV-104 + (pressao - 102); IF (Nivel > 60) THEN FV-100=0; ENDIF; ELSE IF (pressao >= 103) AND (avpress <> 1) THEN Show "PressaoAlta"; avpress=1; ENDIF; ENDIF; ENDIF; </pre>	O controle da pressão alta só atua se a pressão estiver maior que 102Kpa Checa se o controle está em automático, em caso afirmativo, abre-se, gradativamente, a válvula de inundação do condensador. O motor ligado ao acumulador também é desligado. Na parte do condensador a vazão da carga térmica aumenta proporcionalmente à diferença entre a pressão e o seu limite determinado no script (102KPa). Se o nível estiver acima dos 60% será desligada a válvula de alimentação, de forma a reduzir a quantidade de vapores internos à coluna. Se o controle estiver em "Manual" será apenas emitido um aviso de que a pressão está alta. Esta janela só será mostrada se não tiver sido mostrada antes pela mesma ocorrência, para isso existe a variável "avpress". Se a pressão interna for menor que 99Kpa o sistema automático atua.

<pre> IF (pressao < 99) THEN IF (manual == 0) THEN E-2=1; FV-101=1; FV-102=FV-102 + 2*(99 - pressao); FV-104=FV-104 + (99 - pressao); IF (Nivel < 60) THEN FV-100=1; ENDIF; ELSE IF (avpress <> 1) AND (pressao <= 98) THEN Show "PressaoBaixa"; avpress=1; ENDIF; ENDIF; ENDIF; IF (Nivel >= 80) THEN IF (manual == 0) THEN FV-100=0; FV-101=1; E-1=1; ELSE IF (avnivel <> 1) AND (Nivel >= 95) THEN Show "Nivel"; avnivel=1; </pre>	Vê se o modo de controle está em automático, se estiver, a inundação do condensador é aberta gradativamente, de acordo com a diferença entre a pressão e seu limite no supervisão. Na parte do condensador a vazão da carga térmica diminui proporcionalmente à diferença entre a pressão e o seu limite determinado no script (102KPa), fecha-se a válvula de refluxo do condensador (FV-102) e a bomba E-2 é ligada. Checa se o nível na coluna está inferior aos 60%, em caso afirmativo também será aberta a válvula de alimentação (FV-100), aumentando a quantidade de material a ser evaporado no interior da coluna. Caso o modo esteja em "Manual" será mostrada ao operador uma janela de aviso. Esta janela só será mostrada se não tiver sido mostrada antes pela mesma ocorrência, para isso existe a variável "avpress". O controle de Nível alto atuará quando o nível de produto na base ultrapassar os 80%. Checa se o controle está ajustado como automático. Em caso afirmativo, a alimentação deve ser cortada e o refeedor é ligado. Evaporando o produto de base e extraíndo, parcialmente, o produto de base. Se o controle estiver como "Manual" será mostrada uma janela avisando sobre o estado do nível. Esta janela só será mostrada se não tiver sido mostrada antes pela mesma ocorrência, para isso existe a variável "avnivel".
--	--

<pre> ENDIF; ENDIF; ENDIF; IF (Nivel <= 50) THEN IF (manual == 0) THEN FV-100=1; FV-101=0; E-1=0; ELSE IF (avnivel <> 1) AND (Nivel <= 20) THEN Show "Nivelb"; avnivel=1; ENDIF; ENDIF; ENDIF; IF (tempbase > 365) THEN IF (manual == 0) THEN IF (Nivel >= 20) THEN FV-101=1; E-1=1; ENDIF; FV-103=FV-103 - (0.11*(tempbase - 365)); </pre>	O controle de nível baixo atuará sempre que o nível da coluna estiver inferior aos 50% da capacidade. Observa se o controle está ajustado como "automático". Em caso afirmativo, a válvula de alimentação será aberta e a válvula do produto de fundo (FV-101) será fechada, além do motor E-1 ser desligado. Se o controle estiver como "Manual" será mostrada uma janela avisando sobre o estado do nível. Esta janela só será mostrada se não tiver sido mostrada antes pela mesma ocorrência, para isso existe a variável "avnivel". O controle da temperatura de base atuará sempre que a temperatura na base da coluna for maior que 365°C. Observamos se o controle está ajustado como "automático". Se estiver, a válvula de realimentação que vai para o forno refervedor é aberta e sua bomba ligada (se o nível do fundo não estiver inferior a 20). A vazão da carga térmica do forno irá reduzir até um patamar em que a temperatura fique dentro dos parâmetros especificados no sistema (350°C a 365°C). Se a alimentação estiver ligada,
--	--

<pre> IF (FV-100 ==1) THEN FV-105=FV-105 - (0.11*(tempbase - 365)); ENDIF; ELSE IF (avtemp <> 1) AND (tempbase >= 370) THEN avtemp = 1; Show "tempb"; ENDIF; ENDIF; ENDIF; IF (tempbase < 350) THEN IF (manual == 0) THEN IF (Nivel >= 20) THEN FV-101=1; E-1=1; ENDIF; FV-103=FV-103 + (0.11*(350 - tempbase)); IF (FV-100 ==1) THEN FV-105=FV-105 + (0.11*(350 - tempbase)); ENDIF; ELSE IF (avtemp <> 1) AND (tempbase <= 330) THEN </pre>	então acontecerá a mesma atenuação de vazão de carga térmica vista acima, só que desta vez isto acontecerá no forno refervedor. Se o controle estiver como "Manual" será mostrada uma janela avisando sobre o estado da temperatura. Esta janela só será mostrada se não tiver sido mostrada antes pela mesma ocorrência, para isso existe a variável "avtemp". Se a temperatura na base for menor que 350°C o sistema atuará no processo. Se o sistema estiver em modo "automático", será aberta a válvula de realimentação do forno refervedor e o motor E-1 será ligado (se o nível do fundo não estiver inferior a 20). Ocorrerá também um acréscimo na vazão da carga térmica do forno refervedor proporcional à diferença entre o limite mínimo de temperatura e a temperatura medida, ocasionando assim o aumento da temperatura do produto na base da coluna. A mesma coisa acontece com a carga térmica do forno de pré-aquecimento, porém isto só ocorre se a válvula de entrada (FV-100) estiver aberta. Se o controle estiver como "Manual" será mostrada uma janela avisando sobre o estado da temperatura. Esta janela só será mostrada se não tiver sido mostrada antes pela mesma ocorrência, para isso existe a variável "avtemp".
--	--

<pre> avtemp = 1; Show "tempb"; ENDIF; ENDIF; ENDIF; IF (tempbase > 330) AND (tempbase < 370) AND (avtemp == 1) THEN avtemp=0; ENDIF; IF (pressao <=102) AND (pressao >99) AND (avpress == 1) THEN avpress = 0; ENDIF; IF (Nivel < 80) AND (Nivel > 50) AND (avnivel == 1) THEN avnivel = 0; ENDIF; IF (class1 == 1) AND (manual == 0) THEN FV-110 = 1; ENDIF; IF (class1 == 0) AND (manual == 0) THEN FV-110=0; ENDIF; IF (class2 == 1) AND (manual == 0) THEN FV-111 = 1; ENDIF; IF (class2 == 0) AND (manual == 0) THEN FV-111=0; </pre>	Se o aviso de pressão, de nível ou de temperatura de base anormal já foi dado e o estado foi normalizado, então ele pode aparecer novamente, caso outra ocorrência destas venha a acontecer. Abaixo temos o funcionamento do controle de qualidade do hidrocarboneto: Observa se o sistema está ajustado para "automático". Em caso afirmativo, observa-se a qualidade do hidrocarboneto que passa pelo classificador 1. Caso o combustível esteja fora dos padrões, ele retornará à coluna, senão, ele vai para um tanque de armazenamento. Idem, só que para o classificador 2
---	--

<pre> ENDIF; IF (class3 == 1) AND (manual == 0) THEN FV-113 = 1; ENDIF; IF (class3 == 0) AND (manual == 0) THEN FV-113=0; ENDIF; IF (class4 == 1) AND (manual == 0) THEN FV-114 = 1; ENDIF; IF (class4 == 0) AND (manual == 0) THEN FV-114=0; ENDIF; IF (FV-101==0) THEN E-1=0; ELSE E-1=1; ENDIF; IF (temp1 > 53) AND (manual == 0) THEN atemp1=0; ENDIF; IF (temp1 < 48) AND (manual == 0) THEN atemp1=1; ENDIF; IF (temp2 > 103) AND (manual == 0) THEN atemp2=0; ENDIF; </pre>	Idem, só que para o classificador 3 Idem, só que para o classificador 4 Faz com que, mesmo em modo manual, a bomba E-1 do refervedor só ligue com a válvula de coleta de produto de fundo para o refervedor (FV-101) aberta. A seguir vemos o controle de temperatura dos pratos: Se o sistema estiver em modo "automático", o prato de cima tiver temperatura maior que 53°C, não será mais fornecida corrente para a resistência de aquecimento do prato. Se a temperatura deste prato for inferior a 48°C, o sistema atuará alimentando eletricamente a resistência de aquecimento do prato. Idem ao caso anterior só que no prato 2 e com diferentes limites de temperatura
---	--

<pre> IF (temp2 < 98) AND (manual == 0) THEN atemp2=1; ENDIF; IF (temp3 > 193) AND (manual == 0) THEN atemp3=0; ENDIF; IF (temp3 < 188) AND (manual == 0) THEN atemp3=1; ENDIF; IF (temp4 > 303) AND (manual == 0) THEN atemp4=0; ENDIF; IF (temp4 < 298) AND (manual == 0) THEN atemp4=1; ENDIF; </pre>	Idem ao caso anterior só que no prato 3 e com diferentes limites de temperatura Idem ao caso anterior só que no prato 4 e com diferentes limites de temperatura
---	---

Exemplo de código fonte que seria utilizado na programação dos CLPs S7-200 nas entradas analógicas. Haverá pequenas mudanças no algoritmo para cada tipo de sensor, dependendo da faixa de operação, faixa de resposta à excitação e a entrada usada no CLP. Neste exemplo, utilizou-se um PT100 com leitura de -50°C a 400°C em conjunto com uma ponte de Weathstone, proporcionando uma variação na saída entre 8 e 35Vcc, de acordo com a variação do sensor térmico:

```

ORGANIZATION_BLOCK MAIN:OB1
TITLE=POU Comment
BEGIN
Network 1 // Network Title
// Leitura do valor de tensão
LD      SM0.0                      //SEMPRE...
ITD      AIW0, AC0                  //mover a entrada analógica para o acumulador
DTR      AC0, AC0                   //converte em real

```

```

Network 2
//Faz o condicionamento do valor analógico do PT-100 para graus celsius
//O valor fica armazenado em AC1
LD      SM0.0                //Sempre
MOVR    AC0, AC1             //move ac0 para AC1
-R      8.0, AC1             //subtrai 8 de AC1
*R      450.0, AC1           //multiplica AC1 por 450
/R      27, AC1              //divide AC1 por 27
-R      50.0, AC1            //subtrai 50 de AC1

```

Referências Bibliográficas

- [1] Alves, T.A et al - Determinação da Velocidade Mínima do Fluxo de Vapor para Pratos Perfurados de uma Coluna de Destilação - UERJ, 2004
- [2] Bequette, B.W. - Process Dynamics, Modeling, Analysis and Simulation - Prentice Hall 1998
- [3] Buckley, P.S., Lubyen W.L. e Shunta J.P. - Design of distillation column control systems – Edward Arnold, North Carolina, USA, 1985
- [4] Fonseca M.O. - Comunicação OPC, Uma abordagem prática - VI Seminário de Automação de Processos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002, Vitória-ES.
- [5] Gaidzinski V.H. - A tecnologia da informação no chão de fábrica: as novas ferramentas e a gestão integrada da informação – UFSC, 2003
- [6] Jesus W.M. – Controle de uma coluna de destilação no software HYSYS através de algoritmos em C++ - CEFET-PR, 2000.
- [7] Kalid, R.A. – Controle de coluna de destilação – LACOI/UFBA – AINST, 2005
- [8] Kister H. Z. What caused tower malfunctions in the last 50 years? - Institution of Chemical Engineers, 2003
- [9] Kister H. Z. Distillation operation – 1ªEd, McGraw Hill, New York, 1990.
- [10] Manólio A.A. – Identificação multivariável de um forno refervedor atmosférico - UNIFEI, 2002
- [11] Marangoni, C. – Implementação de uma estratégia de controle com ação distribuída em uma coluna de destilação. – UFSC, 2005.
- [12] Marangoni et al – Caracterização da dinâmica de uma coluna de destilação piloto de derivados de petróleo para a aplicação de controle distribuído – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 2004
- [13] Panissa G. - Uma nova abordagem para o controle de colunas de destilação – UFSC, 2003
- [14] Ponton, J.W. - Degrees of Freedom Analysis in Process Control, Chemical Engineering Science - 1994,
- [15] Roffel B. - Instrumentation and Control Systems – University of Twenty – Academic Press, 2000

- [16] Santos H.G. - Desenvolvimento de um supervisor modular para uma célula flexível de manufatura – UFSC, 2007
- [17] Silva A.P.G. e Salvador M. – O que são supervisórios? – Artigo atualizado em 2005, disponível em www.elipse.com.br – Acesso em Novembro de 2007.
- [18] Training Manual – Intouch 7.0 Comprehensive
- [19] Treybal, R. E. - Mass Transfer Operations - 3ª ed., McGraw Hill, 1980
- [20] Vianna W.S. – Intouch for Windows - 2000
- [21] Werle L.O. – Minimização dos transientes através do aquecimento distribuído em uma coluna de destilação – UFSC, 2007.
- [22] <http://www.plcs.net/> Acesso em Janeiro de 2008
- [23] <http://www.planck-e.com/petroleo.asp> - Acesso em Outubro de 2007
- [24] www.howstuffworks.com – acesso em setembro de 2007
- [25] www.theoil drum.com – acesso em outubro de 2007
- [26] www.poli.usp.br – acesso em novembro de 2007
- [27] <http://eweb.chemeng.ed.ac.uk/> - The ECOSSE IGDS Control HyperCourse – Acesso em Fevereiro de 2008.
- [28] <http://www.poli.usp.br/p/luiz.terron/> - Destilação - Acesso em Dezembro de 2007
- [29] http://petrochemical.gronerth.com/flash_distillation_program_explorer.htm - Program Simulation of Flash Distillation – Acesso em Fevereiro de 2008.