

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
ENGENHARIA ELÉTRICA**

ELOISA SERPELONI DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS DE MANUTENÇÃO E
EXPERIMENTOS PRÁTICOS COM A APLICAÇÃO DA PLANTA
INDUSTRIAL DIDÁTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015

ELOISA SERPELONI DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS DE MANUTENÇÃO E
EXPERIMENTOS PRÁTICOS COM A APLICAÇÃO DA PLANTA
INDUSTRIAL DIDÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado a coordenação do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Endo

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Industrial Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Eloisa Serpeloni dos Santos

Desenvolvimento de rotinas de manutenção e experimentos práticos com a aplicação da planta industrial didática

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 09/06/2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Wagner Endo - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Paulo Rogério Scalassara - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Rodrigo Rodrigues Sumar - (Membro)

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha família e amigos, por nunca me deixarem desistir e nunca duvidarem de que eu seria capaz de cumprir mais esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo por sempre me abençoar e me colocar no caminho certo.

Aos meus pais Analice e José, minha irmã Elaine e a toda minha família, pelo apoio incondicional durante a vida acadêmica e por terem me ensinado a importância da educação, caráter e honestidade.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por tornar este trabalho possível, e em especial ao professor Dr. Wagner Endo pela sua dedicação, paciência e pela orientação sempre que precisei.

Agradeço aos pesquisadores e professores da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo.

Aos amigos que conheci na universidade, os que já estavam presentes em minha vida e aos que infelizmente não estão mais entre nós. Obrigada por poder conviver com vocês, nem que alguns por pouco tempo, mas aos outros eu espero que fiquem comigo ainda por muitos anos.

Provavelmente estas palavras não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida, mas elas podem estar certas que estão no meu pensamento e tem toda a minha gratidão, vocês são muito especiais para mim.

A todos, o meu sincero muito obrigada!

“O sucesso é ir de fracasso em
fracasso sem perder entusiasmo.”
(Winston Churchill)

RESUMO

SANTOS, Eloisa Serpeloni dos. Desenvolvimento de Rotinas de Manutenção e Experimentos Práticos com a Aplicação da Planta Industrial Didática. 2015. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

A Planta Industrial Didática possui dois processos industriais: um sistema de aquecimento e um sistema de mistura de líquidos, sendo ela o objeto de estudo deste trabalho. O objetivo é desenvolver práticas experimentais padronizadas para o laboratório de controle e processamento de sinais, contribuindo com a qualidade do ensino em engenharia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e rotinas de manutenção e ajuste da Planta Didática. A partir dos estudos efetuados, um diagrama de utilização é gerado e, a partir dele, as rotinas de manutenção, procedimentos de *Start Up*, bem como modelo dinâmico de aprendizagem é criado para a planta. Assim se realiza o desenvolvimento de uma matriz de percursos com aplicações práticas para complementar o projeto proposto.

Palavras-chave: Planta Industrial Didática. Manutenção. Atividades Práticas. Experimentos. Diagrama de Utilização.

ABSTRACT

SANTOS, Eloisa Serpeloni dos. Routines Development Maintenance and Practical Experiments with Industrial Plant Application Teaching. 2015. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

The Industrial Plant Teaching has two manufacturing processes: a heating system and a liquid mixing system, it being the object of study of this work. The goal is to develop standardized experimental practices for laboratory control and signal processing, contributing Engineering education in Universidade Tecnológica Federal do Paraná, and maintenance routines and adjust plant Teaching. From the studies conducted, a diagram of use is generated and, from it, maintenance routines, Start Up procedures and dynamic learning model is created for the plant. Thus is brought about the development of an array of paths with practical applications in addition to the proposed project.

Keywords: Teaching Industrial. Plant Maintenance. Practical Activities. Experiments. Diagram of Use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de controle em malha aberta.....	18
Figura 2: Sistema de controle em malha fechada.	18
Figura 3: Classificação de uma rede PROFIBUS.....	22
Figura 4: Planta Industrial Didática da SMAR.	26
Figura 5: Diagrama de instrumentação da Planta Industrial Didática.....	27
Figura 6: Arquitetura de comunicação da Planta.....	28
Figura 7: Diagrama de tubulação e instrumentação da topologia do controlador por antecipação na Planta Didática.....	30
Figura 8: Diagrama de tubulação e instrumentação da topologia do controlador por realimentação na Planta Didática.....	31
Figura 9: Diagrama de tubulação e instrumentação da topologia de controle em cascata na Planta Didática.	32
Figura 10: Diagrama de utilização da planta.	34
Figura 11: Saída de escoamento da água e entradas de abastecimento de água.	35
Figura 12: Plataforma de controle e automação de processos DFI302.....	36
Figura 13: Painel sinóptico.	37
Figura 14: Matriz de percursos.....	40
Figura 15: Tela de supervisão e controle para a topologia de controle por antecipação.....	42
Figura 15: Tela de supervisão e controle para a topologia de controle por realimentação.....	43
Figura 17: Tela de supervisão e controle para a topologia de controle em cascata.....	44
Figura 18: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de Cliente 1.....	45
Figura 19: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de Cliente 2.....	46
Figura 20: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de Cliente 3.....	46
Figura 21: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de grupos.....	46
Figura 22: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de itens 1.	47
Figura 23: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de itens 2.	47
Figura 24: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de tags.	48

Figura 25: Tela de OPC Tool do MATLAB – verificação de valores instantâneos.....	48
Figura 26: Tela de Logging do OPC Tool do MATLAB.....	49

LISTA DE SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
HSE	High Speed Ethernet
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHM	Interface Human Machine
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	Object Linking and Embedding for Process Control
PID	Proporcional Integral Derivativo
TPC-IP	Transmission Control Protocol – Internet Protocol

LISTA DE ACRÔNIMOS

PROFIBUS	Process Field Bus
PROFIBUS DP	Process Field Bus Decentralized Periphery
PROFIBUS FMS	Process Field Bus Field Message Specification
PROFIBUS PA	Process Field Bus Process Automation
PROFINet	Process Field Bus for Ethernet
PROFISafe	Process Field Bus Safety
PROFIDrive	Process Field Bus Drive Technology
REUNI	Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR - CP	Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Cornélio Procópio

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVOS	14
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.2	OBJETIVOS EXPECÍFICOS	14
1.2.	ESTRUTURA	15
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1.	INTRODUÇÃO À INSTRUMENTAÇÃO	16
2.2.	SISTEMAS DE CONTROLE	17
2.2.1.	Sistema em Malha Aberta	17
2.2.2.	Sistema em Malha Fechada.....	18
2.3.	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPaMENTOS.....	19
2.4.	REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL.....	21
2.5.	GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO	23
3.	ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DA pLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA	25
3.1.1.	Instrumentos Disponíveis na Planta Industrial Didática.....	26
3.1.2.	Arquitetura de Comunicação	27
3.1.3.	Sistema de Supervisão.....	28
3.2.1.	Controle por Antecipação	29
3.2.2.	Controle por Realimentação.....	30
3.2.3.	Controle em Cascata.....	32
4.	PROPOSTA E METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA.....	33
4.1.1.	Procedimento de Limpeza do Sistema Hidráulico.....	35
4.1.2.	Procedimento de Manutenção Preventiva das Bombas Hidráulicas.....	36
4.1.3.	Testes e Verificação da Rede Lógica: Rede Industrial Profibus e CLP...36	
4.1.4.	Manutenção e Verificação do Funcionamento do Painel Sinóptico da Planta Didática.....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO MODELO DE APRENDIZADO PROPOSTO.....	39
5.1.	MODELO DINÂMICO DE APRENDIZAGEM NA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA.....	41
5.1.1.	Experimento 1: Estratégia de Controle por Antecipação	41

5.1.2. Experimento 2: Estratégia de Controle por Realimentação.....	42
5.1.3. Experimento 3: Estratégia de Controle em Cascata.....	43
5.1.4. Experimento 4: Método de Aquisição de Dados através da Lógica Object Linking and Embedding for Process Control	45
5.2. APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	49
5.3. ROTEIRO DE EXPERIMENTOS PARA O LABORATÓRIO DE CONTROLE E PROCESSAMENTO DE SINAIS.....	51
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

A instrumentação industrial é definida como a ciência que estuda e desenvolve técnicas para medir, monitorar e controlar equipamentos envolvidos dentro de processos industriais. Ela se refere à área de trabalho dos profissionais que lidam com estes processos dentro da indústria, porém pode estar relacionada também ao conhecimento de métodos e técnicas para desenvolvimento de novos instrumentos e melhoria dos equipamentos já existentes.

A partir desta linha de pensamento, pode-se definir também processo industrial como sendo uma sequência de operações, executadas por equipamentos ou pessoas, que transformam uma matéria prima qualquer em um produto desejado. Para se controlar estes processos, independentemente de qual seja o produto fabricado ou a sua área de atuação, é necessária a medição e o controle de uma série de variáveis físicas e químicas, chamadas de variáveis de processo, isto é, condições internas e externas que interferem no desempenho do mesmo, tais como: temperatura, pressão, nível, viscosidade, vazão, volume, etc. (CHAVES, 2002).

Esta ciência vem sendo reformada com o avanço das tecnologias, equipamentos mais sensíveis e precisos e o melhoramento do setor industrial. Assim, os cursos de graduação em engenharia, cursos técnicos ou especializações carecem direcionar maior atenção a essa disciplina, devido a sua alta aplicação no mercado de trabalho atual. Para o complemento deste conteúdo ministrado em sala de aula, encontram-se as aulas e atividades práticas (BIEST, 2010).

As aulas práticas têm por funções estimular a curiosidade científica dos alunos, envolvendo-os em investigações científicas, desenvolver sua capacidade de resolver problemas, compreender os conceitos básicos do conteúdo e permitir que eles tenham contato direto com o laboratório, manipulando os materiais e equipamentos. Além disso, somente na aplicação da teoria é que o aluno se depara com situações não previstas e problemas que serão encontrados no seu dia-a-dia como profissional, onde estas devem ser resolvidas de forma rápida e adequada (LEITE; SILVA; VAZ, 2004).

No Laboratório de Controle e Processamento de Sinais encontra-se a Planta Industrial Didática SMAR PD3-P, o objeto de estudo deste trabalho. A planta

industrial demonstra didaticamente a operação de malhas de controle utilizando os mesmos equipamentos e ferramentas de configuração, em software, desenvolvidos para aplicação em controle industrial real. Ela torna acessíveis aos instrutores e aprendizes todos os componentes dessas malhas reproduzindo as mesmas características e situações encontradas pelos profissionais de instrumentação no mercado, apenas em escala reduzida (SMAR, 2012).

Até a data de início deste trabalho, a planta industrial citada não tem aplicação plena nos cursos de engenharia. Este trabalho visa propor e desenvolver um roteiro de experiências de laboratório visando o aprofundamento da disciplina e a sua afirmação onde o aluno possa compreendê-la de maneira mais clara, deixando as aulas práticas mais ágeis e com maior potencial para sanar dúvidas. Acrescentando também um manual de manutenção e ajuste da mesma, para que tanto alunos quanto professores saibam a maneira correta de conservação dela e assim prolongue a sua vida útil dentro da sala de aula, completando a proposta de estudo deste projeto.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver experimentos padronizados para o laboratório de controle processamento de sinais, contribuindo com ensino destas disciplinas na UTFPR-CP, e rotinas de manutenção e ajuste da Planta Industrial Didática, aumentando a acessibilidade das instruções de manuseio e conservação da mesma para os docentes e discentes.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir desse objetivo geral, como alvo principal do trabalho, são determinados os objetivos específicos, que representam etapas necessárias para se alcançar o objetivo geral.

- Estudar os conceitos teóricos da disciplina que serão utilizadas para a elaboração das experiências;
- Estudar as características, os princípios de funcionamento e os métodos de ajuste e manutenção da Planta Industrial Didática SMAR PD3-P;
- Desenvolver um roteiro de experimentos para o laboratório com o auxílio da Planta;
- Produzir um manual de ajuste e manutenção para a Planta Industrial Didática.

1.2. ESTRUTURA

O Capítulo 2 é constituído por uma revisão bibliográfica sobre os conceitos utilizados durante a realização do trabalho. O Capítulo 3 apresenta as topologias de controle da Planta Industrial Didática. O Capítulo 4 apresenta o diagrama de funcionamento criado para Planta Industrial Didática juntamente com o as rotinas de manutenção e os experimentos desenvolvidos. No Capítulo 5 são demonstradas a matriz de percursos e as aplicações práticas dos experimentos elaborados, e o Capítulo 6 mostra as conclusões e considerações finais do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados conceitos utilizados durante a realização do trabalho, com uma revisão sucinta sobre Instrumentação Industrial, Sistemas de Controle, Sistemas de Medição, Rede de Comunicação da Planta Industrial Didática e Gerência de Manutenção.

2.1. INTRODUÇÃO À INSTRUMENTAÇÃO

Essencialmente a instrumentação é definida como a ciência que aplica e desenvolve técnicas para medir, monitorar e controlar equipamentos envolvidos dentro de processos industriais (CHAVES, 2002).

A partir desta linha de pensamento, pode-se definir também o processo industrial como sendo uma seqüência de operações executadas por equipamentos ou pessoas, que transformam uma matéria prima qualquer em um produto desejado. Normalmente existe uma gama de condições internas e externas que interferem no desempenho de um processo industrial, sendo essas chamadas de variáveis de processo, tais como: temperatura, pressão, nível, viscosidade, vazão, volume, etc.

O processo industrial funciona como um sistema de controle, que possui componentes tais como sensores, baseados em princípios físicos que possibilitam medir variáveis de processo básicas, transdutores que transformam o sinal recolhido pelo sensor em informação elétrica, para que essa possa ser manipulada. Também emprega um controlador, que compara o sinal elétrico medido com o valor da variável desejada e exerce uma ação de correção.

Por fim, um atuador, que recebe o sinal de correção do controlador, e em função deste sinal modifica a variável manipulada (válvula de controle). Para o bom funcionamento e segurança de um sistema de controle de processo é necessário que a medição dessas variáveis seja realizada com precisão adequada.

Para a aplicação destes equipamentos, a seleção de um instrumento de medida deve ser criteriosa, responsável e adequada aos objetivos definidos pelo processo. Esta seleção demanda uma longa lista de informações a respeito da instrumentação comercial disponível e de suas características técnicas, que

precisam ser especificadas de acordo com as condições operacionais a serem impostas ao instrumento e com as demandas do processo em relação à medição (precisão e tempo de resposta).

Quando se fala em regulação ou controle, deve-se subentender uma medição, isto é, a informação que o controlador recebe. Recebida esta informação, este a compara com um valor pré-estabelecido, chamado de *set point*, verifica-se a diferença entre ambos e assim o controlador procura a melhor maneira de agir para diminuir a seqüência de operações, ou seja, busca-se medir a variável e em seguida atuar no sistema para minimizar a diferença entre a medida e o *set point*, consistindo em um sistema denominado como malha de controle (BEGA et al., 2011).

2.2. SISTEMAS DE CONTROLE

Após apresentados os elementos que compõem os sistemas de medição e sistemas de controle, são apresentados a seguir os conceitos de “malha aberta” e “malha fechada”. Os sistemas de controle em malha aberta não são geralmente utilizados nos processos de controle industriais, porém serão apresentados para efeito de comparação com o sistema em malha fechada (DORF, 2001).

2.2.1. Sistema em Malha Aberta

Sistema em malha aberta é aquele em que a informação sobre a variável controlada não é usada para ajustar a entrada do sistema, ou seja, o sistema de medição existe para efeito de leitura e não interfere na entrada nem no processo, conforme mostrado na Figura 1 (BEGA et al., 2011). O sistema em malha aberta tem por vantagem a simplicidade de sua estrutura, contudo seu desempenho é altamente dependente das peculiaridades do processo.

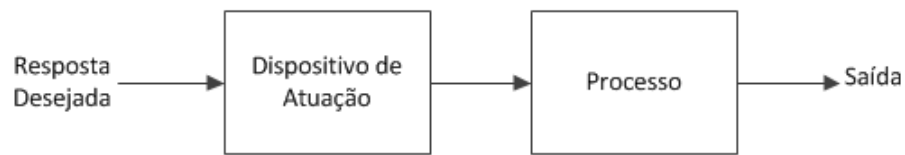


Figura 1: Sistema de controle em malha aberta.
 Fonte: Adaptado de DORF (2001, p. 2).

2.2.2. Sistema em Malha Fechada

A função fundamental de um sistema de controle em malha fechada, ou sistema de controle com realimentação, é manipular a relação entrada/saída de energia ou material, de maneira que a variável controlada seja mantida dentro dos limites estabelecidos no início do processo. Assim ele regula a variável controlada e faz as correções necessárias em outra variável do processo, a variável manipulada, conforme mostra a Figura 2.

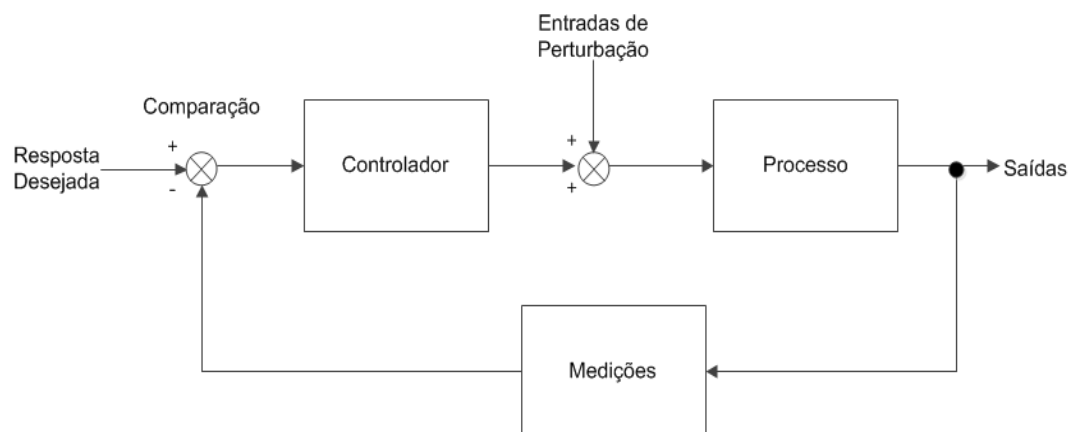


Figura 2: Sistema de controle em malha fechada.
 Fonte: Adaptado de DORF (2001, p. 2).

O processo é a parte do sistema que desenvolve alguma função desejada, podendo ser de natureza mecânica, química, elétrica ou uma combinação dessas. Um exemplo seria o nível de um líquido em um tanque, ou ainda, a geração de vapor através de uma caldeira.

Já o elemento primário é aquele que utiliza ou transforma a energia proveniente do meio controlado, sensores ou transdutores, para produzir uma

função no valor da variável controlada que é recebida pelos transmissores. Exemplos de elementos primários são termômetros, termopares, placas de orifício, manômetros, etc.

Os sistemas em malha fechada apresentam vantagem em relação aos sistemas em malha aberta. Eles são menos vulneráveis a ruídos e a perturbações externas, como mudanças nas condições do ambiente, quando o mesmo possui uma realimentação negativa. Entretanto, sistemas em malha fechada são mais sofisticados e de custo mais elevado que os sistemas em malha aberta. Portanto, devem-se considerar as necessidades do sistema e desta forma selecionar a melhor alternativa entre malha aberta e malha fechada (DORF, 2001).

2.3. CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS

Os parâmetros característicos em instrumentos de medida podem ser apresentados através de inúmeros conceitos. A partir desses foram selecionados alguns de maior utilidade, sendo eles:

- **Span:** é uma diferença algébrica, ou seja, a "distância numérica" entre os limites inferior e superior do range. No exemplo mencionado anteriormente o *span* do equipamento é de 300°C (BEGA et al., 2011).
- **Ganho:** é a relação entre a variação na saída e a variação na entrada, ou o *span* da saída dividido pelo *span* da entrada. Dessa forma, o ganho de um transmissor eletrônico de temperatura com uma faixa de entrada de 100 a 200° C e uma saída de 4 a 20 mA, pode ser exemplificado através das equações (1) e (2) (BEGA et al., 2011).

$$ganho = \frac{Span_{Saída}}{Span_{Entrada}} \quad (1)$$

$$ganho = \frac{20-4}{200-100} (mA/°C) = 0,16 (mA/°C) \quad (2)$$

- **Range:** faixa ou conjunto de valores em que estão compreendidas as variáveis medidas dentro dos limites superior e inferior, ou seja, a região entre os limites máximo e mínimo em que a quantidade medida, recebida ou transmitida pode variar. Toda variável medida e todo instrumento possuem um determinado *range*. Por exemplo, se um processo tem sua temperatura variada entre 200°C e 500°C, os valores compreendidos dentro deste intervalo representam o *range* (BEGA et al., 2011).
- **Exatidão:** a exatidão demonstra o quanto o sensor é capaz de indicar um valor próximo do valor real. Ela é dimensionada por termos da "inexatidão", por exemplo: $\pm 2\%$ ou $+1\%$ ou -3% de exatidão. A exatidão de um instrumento não é cogitada como parâmetro confiável se isolado, portanto deve-se levar em consideração o meio em que ele se aplica e as entradas (perturbações) do processo relativo (BEGA et al., 2011).
- **Precisão:** é a medida de consistência do sensor, isto é, qual a capacidade do sensor em indicar o mesmo valor estando na mesma condição de operação em um dado período de tempo. Em geral, os instrumentos são especificados em termos de sua exatidão e não da sua precisão. Um aparelho preciso pode informar um valor incorreto de leitura se o mesmo não for também exato (BEGA et al., 2011).
- **Erro (*offset*):** é a diferença entre o valor medido pelo instrumento e o valor estipulado inicialmente (*set point*). Se o processo ocorrer em regime permanente (que não é variante ao longo do tempo) será chamado de **erro estático**, e poderá ser positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento. Quando se tem um atraso na transferência de energia do meio para o medidor, ou seja, o valor medido estará geralmente atrasado em relação ao valor real da variável, o mesmo é chamado de **erro dinâmico** (BEGA et al., 2011).
- **Zona morta:** zona morta se define pelo maior valor de variação que o parâmetro medido possa alcançar, sem que provoque alteração nas

indicações ou sinais de saída de um instrumento (pode ser aplicado para faixas de valores absolutos referidos ao range do mesmo). Ela está relacionada a folgas entre os elementos móveis do instrumento, como as engrenagens. Por exemplo, um instrumento com range de 0 a 200°C possui uma zona morta de $\pm 0,1\%$ do *span*, ou seja, sua zona morta será de $\pm 0,2^\circ\text{C}$, assim, se a variável alterar em $0,2^\circ\text{C}$ tanto para mais quanto para menos, o instrumento não apresentará resposta (CHAVES, 2002).

- **Histerese:** diferença máxima entre os valores indicados pelo instrumento, e um mesmo valor qualquer da faixa de medida (*range*), quando a variável percorre toda a escala tanto no sentido crescente como decrescente. A histerese geralmente é expressa em porcentagem do alcance (*span*) (BEGA et al., 2011).

2.4. REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

Redes industriais são basicamente sistemas utilizados para supervisionar e controlar um determinado processo, cujos elementos como computadores, CLPs, atuadores, etc., precisam estar interligados e possuir uma troca rápida e precisa de informações (SILVA, 2006).

Com o progresso dos sistemas de automação industrial e o grande aumento do número de equipamentos nessa área, tornou-se inevitável que fossem criados padrões para interconexão de todos os elementos. Neste cenário surgem então, os protocolos de comunicação, que determinam os elementos de maior importância nas redes de automação industrial. Protocolo é um conjunto de regras sobre o funcionamento da comunicação entre as partes, e sua escolha depende da aplicação no qual será utilizado. Existem diversos protocolos altamente utilizados, destacando-se os denominados: Modbus, Ethernet e PROFIBUS, por exemplo, (NOGUEIRA, 2009).

A planta didática industrial utiliza tecnologias de comunicação industrial PROFIBUS.

2.4.1. Protocolo Industrial PROFIBUS

PROFIBUS é uma rede de campo aberta, independente do fabricante, amplamente utilizada no meio da automação. Atua em todos os níveis do processo industrial: ambiente de fábrica, processo e gerência. A Figura 3 mostra uma estrutura hierarquizada, com os níveis básicos para as empresas: Níveis de Campo, de Controle e de Gerência (NOGUEIRA, 2009).

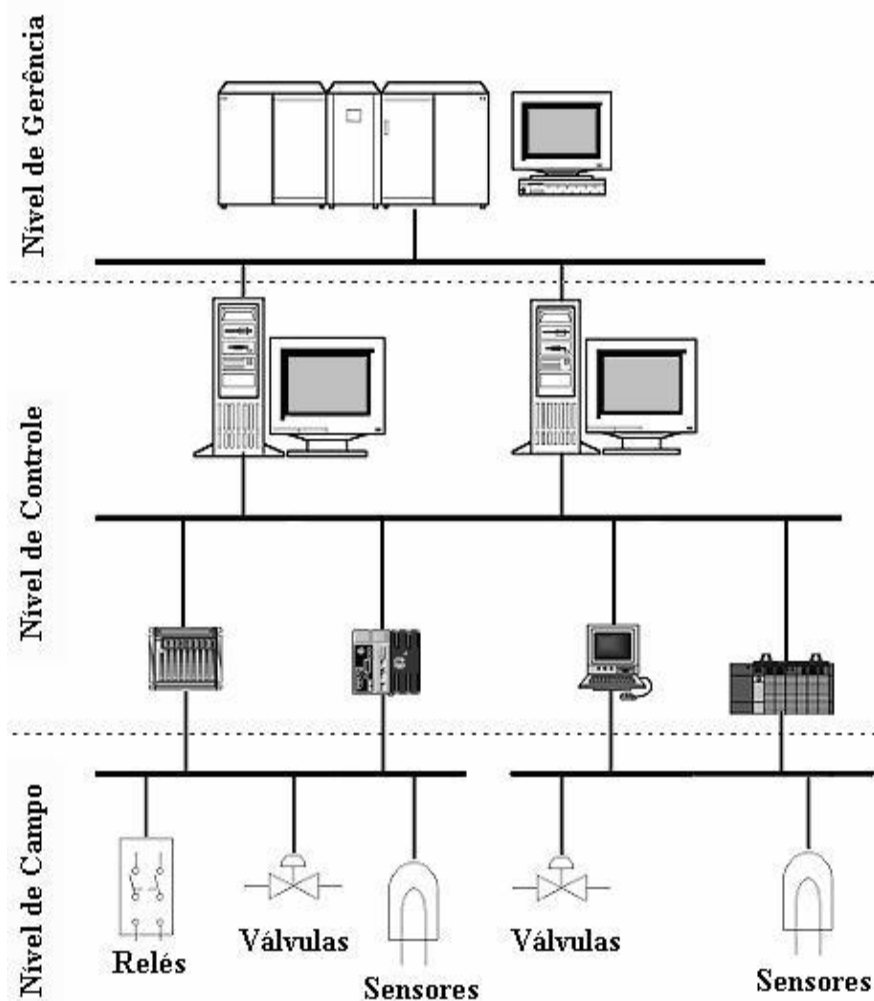


Figura 3: Classificação de uma rede PROFIBUS.
 Fonte: NOGUEIRA (2009, p. 35).

O padrão PROFIBUS oferece diversas características de protocolos de comunicação, tais como:

- PROFIBUS DP: caracteriza-se pela velocidade, eficiência e baixo custo de conexão. É o mais usado dos protocolos projetados para comunicação entre sistemas de automação e periféricos distribuídos;
- PROFIBUS FMS: é um protocolo de comunicação geral para as tarefas de comunicações solicitadas. O FMS oferece muitas funções sofisticadas de aplicações para comunicação entre dispositivos inteligentes;
- PROFIBUS PA: Este protocolo define os parâmetros e blocos de funções dos dispositivos de automação de processo, tais como transdutores de medidas, válvulas e IHM;
- PROFINet: Comunicação entre CLPs e PCs usando Ethernet/TCP-IP;
- PROFISafe: para sistemas relacionados à segurança;
- PROFIDrive: para sistemas relacionados a controle de movimento.

2.5. GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser definida como um conjunto de medidas necessárias para a conservação ou a permanência de equipamentos em uma situação, ou ainda, como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores ou máquinas.

Formalmente, a manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida, ou seja, manter significa fazer tudo o que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, em um nível de desempenho exigido.

Basicamente, as atividades de manutenção existem para evitar a degradação de equipamentos e instalações, causada por desgaste natural e mau

uso. Essa degradação se manifesta em diversas formas, desde a aparência externa ruim dos equipamentos até as perdas de desempenho e paradas de produção, fabricação de produtos de má qualidade e poluição ambiental (XENOS, 1998).

Reconhecida a importância da manutenção preditiva a partir dos conceitos apresentados, foram desenvolvidas as rotinas de manutenção e ajuste para a Planta Industrial Didática, para que esta consiga permanecer no seu bom estado de funcionamento e aumente o seu tempo de vida útil.

3. ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

São apresentados neste capítulo o estudo e a análise das topologias de controle da Planta Industrial Didática, assim como sua arquitetura de comunicação, seus equipamentos e seus sistemas de supervisão.

3.1. ARQUITETURA DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

Adquirida em 2009 com recursos do REUNI (Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais), a Planta Industrial Didática está situada no laboratório de controle e processamento de sinais da UTFPR-CP.

A didática apresentada pela planta citada vem através das atividades laboratoriais, podendo ser explorada pelos professores a fim de corresponder às expectativas dos alunos, gerando um maior aprendizado, principalmente nas áreas de controle, automação industrial e redes industriais (SILVA, 2011).

A Planta Industrial Didática utilizada neste trabalho é uma planta que gerencia processos industriais e que demonstra a operação de suas malhas de controle usando os mesmos equipamentos e ferramentas utilizados em aplicações de automação industrial.

Através de um sistema físico real (Planta Industrial Didática) e do estudo do funcionamento de suas topologias, e das configurações de controle e instrumentos, é possível a reprodução de situações factíveis de um profissional. A Figura 4 mostra a planta didática.



**Figura 4: Planta Industrial Didática da SMAR.
Fonte: Autor (2015).**

3.1.1. Instrumentos Disponíveis na Planta Industrial Didática

Os equipamentos disponíveis na planta serão listados nesta seção para melhor entendimento das rotinas de manutenção elaboradas para a mesma. Sendo esses instrumentos:

- Sensores de temperatura, vazão e nível: são os equipamentos que monitoram as variáveis primárias, medindo suas intensidades;
- Transmissores: recebem o sinal elétrico dos sensores e o encaminham para os controladores;
- Controladores: são proporcionados por meio de um CLP, a rede industrial de comunicação PROFIBUS e o sistema de monitoração ProcessView;
- Válvulas de controle: são válvulas ajustáveis que diminuem ou aumentam o fluxo de água na tubulação, de acordo com o que é indicado pelo usuário ou pelos controladores no processo automático;

- Resistências elétricas: são resistências internas da planta utilizadas para aquecer o fluido do tanque;
- Bombas: bombas com motores elétricos que bombeiam a água para os tanques de acordo com o nível pré-estabelecido;
- Tanques: reservatórios de água, sendo um de aquecimento e o outro mistura.

Na Planta Industrial Didática dois processos industriais são possíveis: processo de aquecimento e processo de mistura.

3.1.2. Arquitetura de Comunicação

A comunicação é feita através de um controlador de instrumentação de campo PROFIBUS (DF95) e um controlador CLP (DF75) responsável pelo intertamento e controle discreto, atuando respectivamente nos equipamentos de controle e transmissão de vazão, transmissores de temperatura, controlador PID, sensores de nível, alarmes, sinalização do painel, acionamento das bombas, etc.

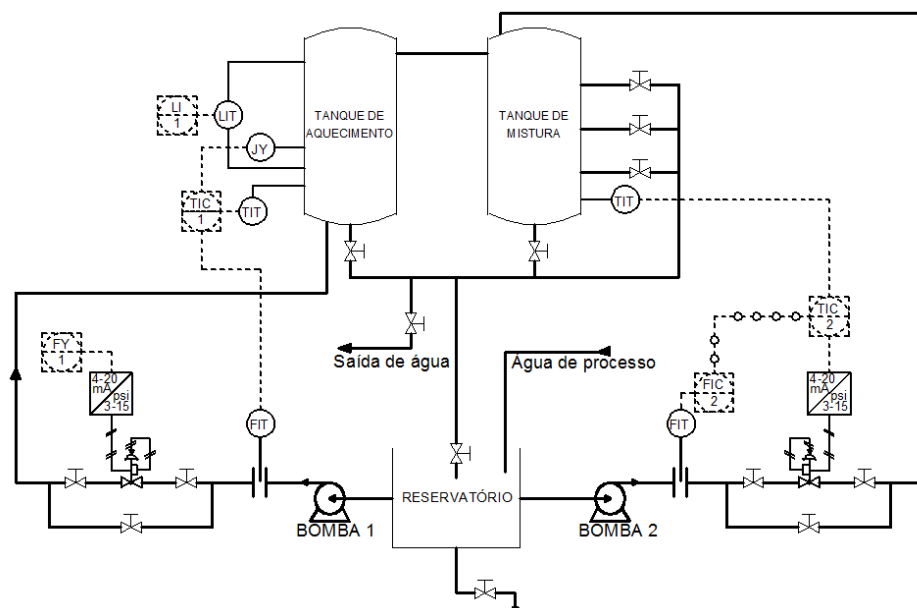


Figura 5: Diagrama de instrumentação da Planta Industrial Didática.
Fonte: Silva (2011, p. 48).

A arquitetura de comunicação entre os instrumentos é mostrada pela Figura 6.

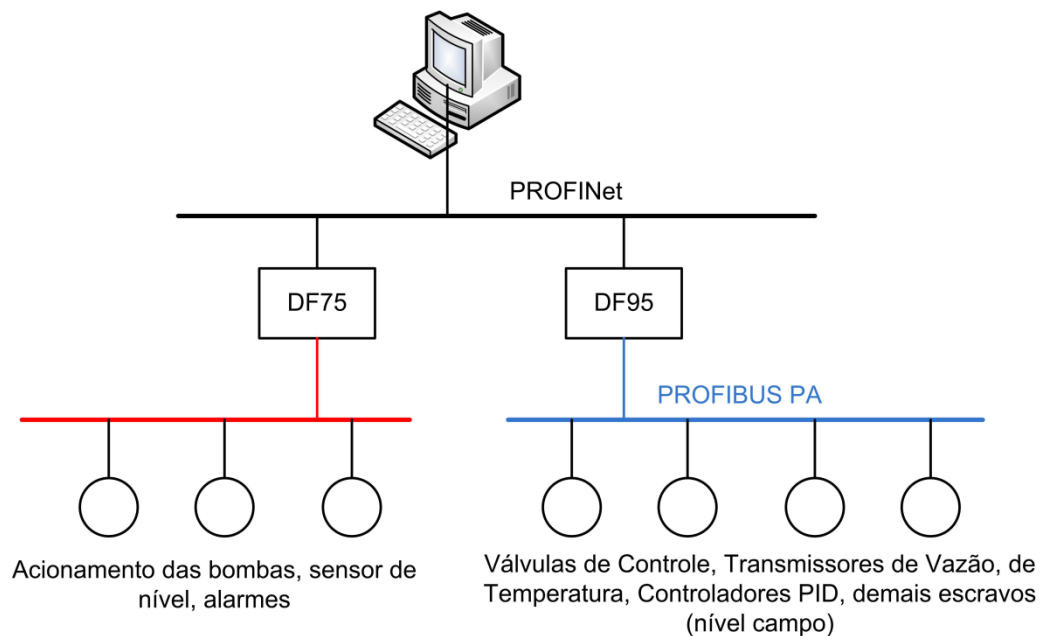


Figura 6: Arquitetura de comunicação da Planta.
Fonte: Silva (2011, p. 48).

DF95 é um controlador multifuncional com capacidade de *gateway* PROFIBUS - HSE. Este controlador elimina a necessidade de acopladores DP - PA, pois contam com um canal PROFIBUS DP e dois canais PROFIBUS PA, permitindo, assim, a comunicação entre os dispositivos de campo do tipo PROFIBUS DP e PA. DF75 é um controlador HSE do tipo CLP, que permite integrar entradas e saídas convencionais (SILVA, 2011).

3.1.3. Sistema de Supervisão

O sistema de supervisão utilizado pela planta é o ProcessView, um componente do sistema de Automação e Controle System302. Por meio dele são encontradas soluções de software baseadas na arquitetura OPC e Cliente/Servidor destinadas a IHM bem como supervisão e controle de processos.

O programa é construído para sistema operacional Microsoft Windows, o que facilita o uso de bibliotecas do próprio ambiente Windows e também a troca de informações com outros aplicativos do próprio local, garantindo a padronização dos dados a serem trocados (SMAR, 2004).

Dentre os softwares componentes do ProcessView destacam-se o GraphWorX, utilizado na criação de telas animadas, o TrendWorX, destinado à coleta de dados em tempo real, e o AlarmWorX, utilizado no gerenciamento global de alarmes e eventos ocorridos na planta.

Cientes OPC interfaces são utilizadas para a criação e projeto de telas, coleta de dados de processos em tempo real, gerenciamento de alarmes, entre outras aplicações.

Este *software* disponibiliza servidores OPC para as aplicações da planta. Outra possibilidade é utilizar-se de aplicações de supervisão utilizando um cliente OPC proveniente de outro *software*. Como por exemplo, o programa MATLAB, que proporciona conexão com servidores OPC.

Como através da conexão OPC obtêm-se acesso a todos os valores das variáveis possíveis da planta, torna-se viável a criação de rotinas para coletar e salvar os dados de processos provenientes dos resultados obtidos da planta, possibilitando, dessa forma, a utilização ou manipulação desses dados na análise ou identificação do processo observado (SMAR, 2004).

3.2. ANÁLISE DOS CONTROLADORES

Nesta seção são apresentados os controladores implementados nas aplicações da Planta Industrial Didática.

3.2.1. Controle por Antecipação

Diferentemente do controle convencional, que espera a dinâmica do processo ocorrer para então medir o resultado na saída do processo, o controle por antecipação, monitora possíveis variações já na entrada do produto da variável controlada, e as transmite para o controlador atuar antecipadamente sobre a variável manipulada. Na Planta Didática o controle por antecipação é utilizado para manter a temperatura do tanque de aquecimento em um valor fixo com uma menor variação da válvula de entrada de água fria (SILVA, 2011).

Uma aplicação de um processo industrial real deste controle é quando ele é utilizado em fornos (que podem aquecer outros tipos de fluidos) que necessitam de uma temperatura estável e uma redução do custo de produção, fazendo com que a oscilação da válvula de entrada do fluido seja reduzida. A Figura 7 mostra o diagrama de tubulação e instrumentação que representa essa etapa.

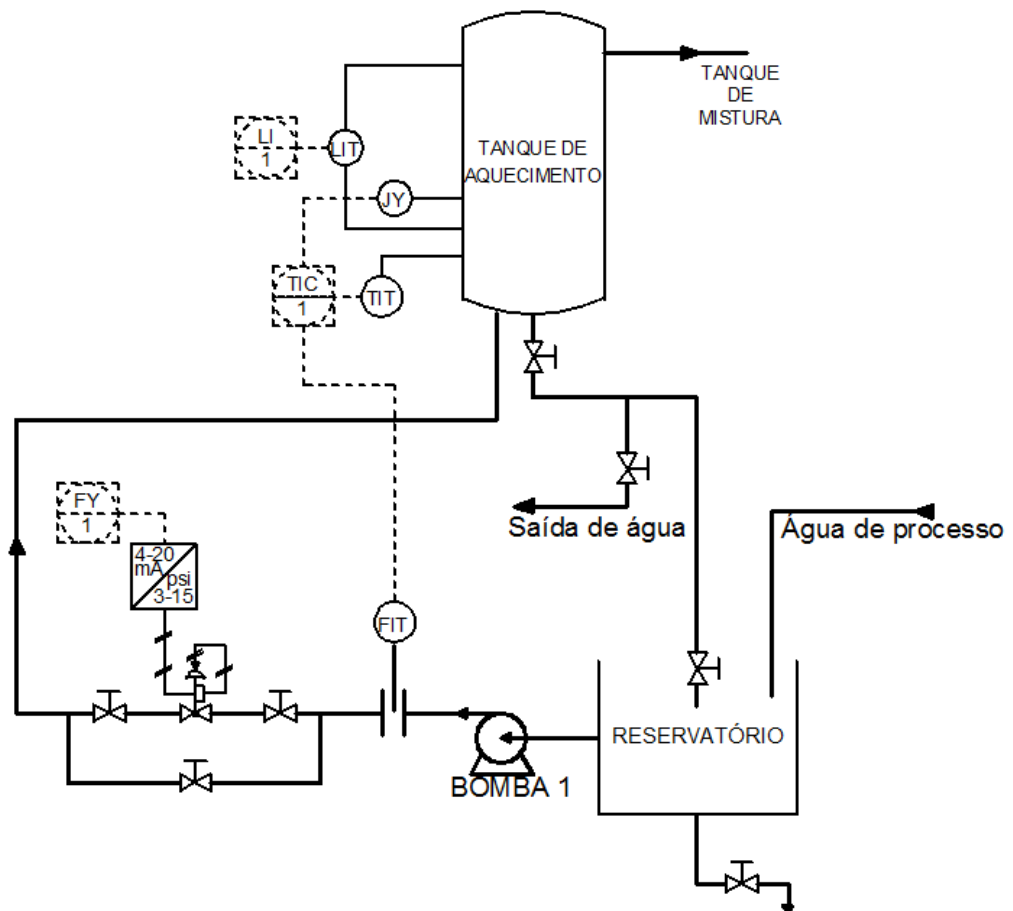


Figura 7: Diagrama de tubulação e instrumentação da topologia do controlador por antecipação na Planta Didática.
 Fonte: Silva (2011, p. 52).

3.2.2. Controle por Realimentação

O controle por realimentação mantém a variável controlada em um valor constante, a partir da medição da saída do sistema e comparação desse com o valor de *set point*. Ele faz, então, com que o controlador atue na diferença (erro) entre esses dois valores. Na planta o controle realimentado é implementado no tanque de mistura, no qual o objetivo é manter a temperatura constante, através do controle da

vazão de água fria que entra nesse tanque (SILVA, 2011). A Figura 8 mostra o diagrama de tubulação e instrumentação que representa a topologia do controlador por realimentação na Planta Didática.

A vantagem de um controle por realimentação é que não se necessita conhecer antecipadamente os distúrbios que afetam o processo e não se estabelecem relações entre os distúrbios e seus efeitos sobre o processo. Dessa forma, ele reduz a sensibilidade a variações na planta e cria estabilidade em sistemas instáveis, como por exemplo, em uma fábrica de cosméticos onde se tem o processo de mistura de componentes e precisa-se de controle de temperatura para que o produto não seja danificado.

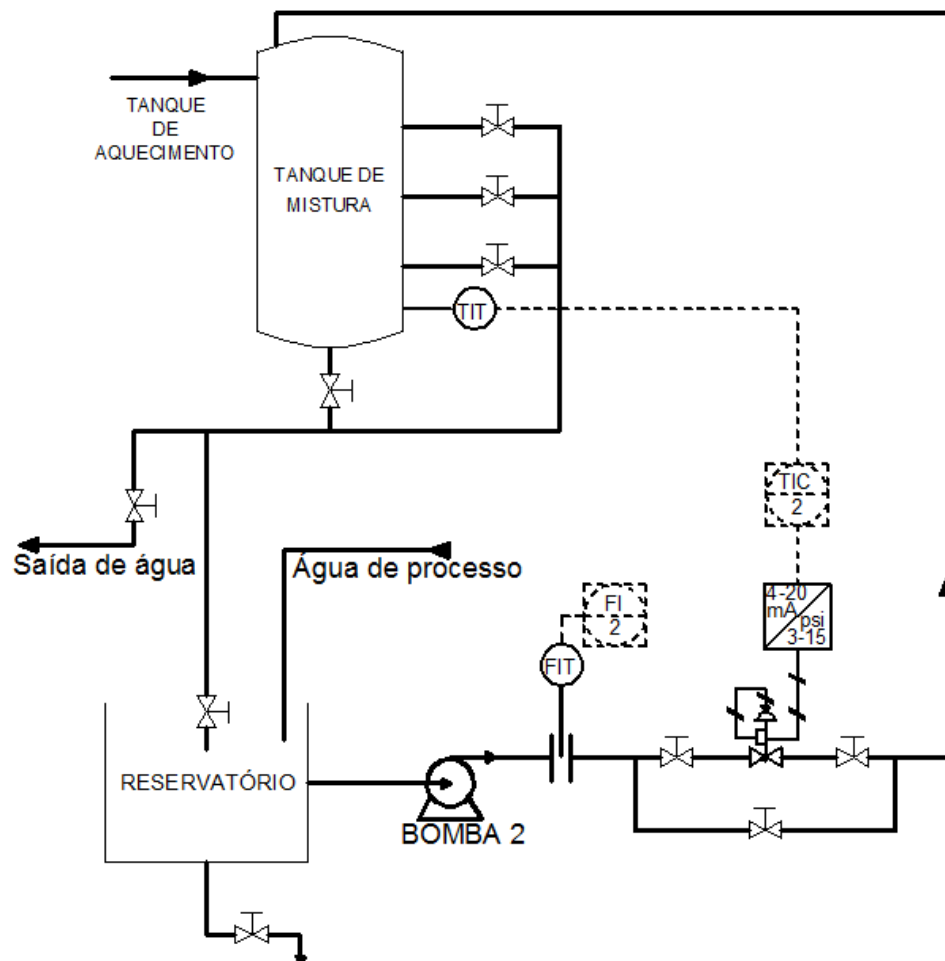


Figura 8: Diagrama de tubulação e instrumentação da topologia do controlador por realimentação na Planta Didática.

Fonte: Silva (2011, p. 53).

3.2.3. Controle em Cascata

O controle em cascata toma uma ação corretiva no sistema antes que a variável de controle primária seja afetada, mas depois que uma perturbação já atingiu o processo. Trata-se de duas variáveis controladas atuando em uma mesma variável manipulada, em que o *set point* do controlador da malha interna é dado pela saída do controlador externo. Na planta, é uma das formas de controle de temperatura no tanque de mistura, que compensa as variações do fluxo de água fria (SILVA, 2011). A Figura 9 mostra o diagrama de tubulação e instrumentação que representa essa etapa.

Por apresentar uma resposta mais rápida, o controle em cascata pode ser uma alternativa ao controle por realimentação no tanque de mistura, assim acelerando o processo industrial e diminuindo o custo da produção.

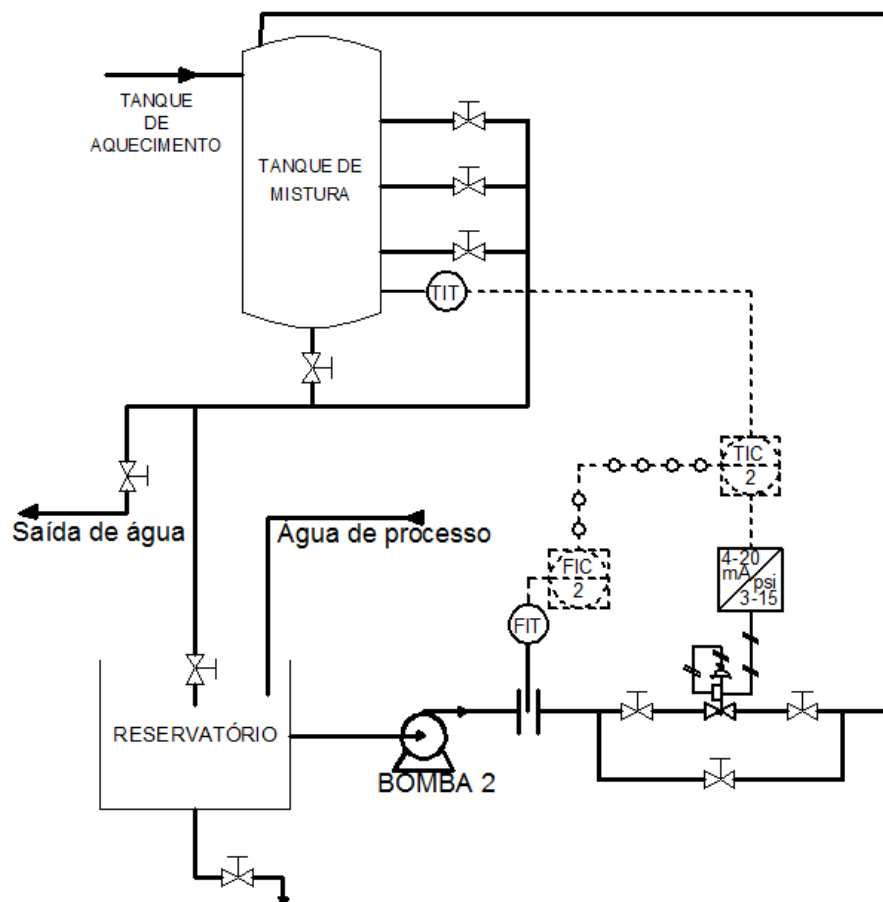


Figura 9: Diagrama de tubulação e instrumentação da topologia de controle em cascata na Planta Didática.
Fonte: Silva (2011, p. 54).

4. PROPOSTA E METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

Neste capítulo é apresentado o diagrama de utilização da Planta Industrial Didática, Figura 10. Esse diagrama foi criado para que houvesse uma sequência de operações pré-definidas para a utilização da planta, facilitando o seu manuseio. Ainda são descritas nessa seção as etapas para o funcionamento da planta e sua manutenção.

Diagrama de Utilização da Planta Industrial Didática

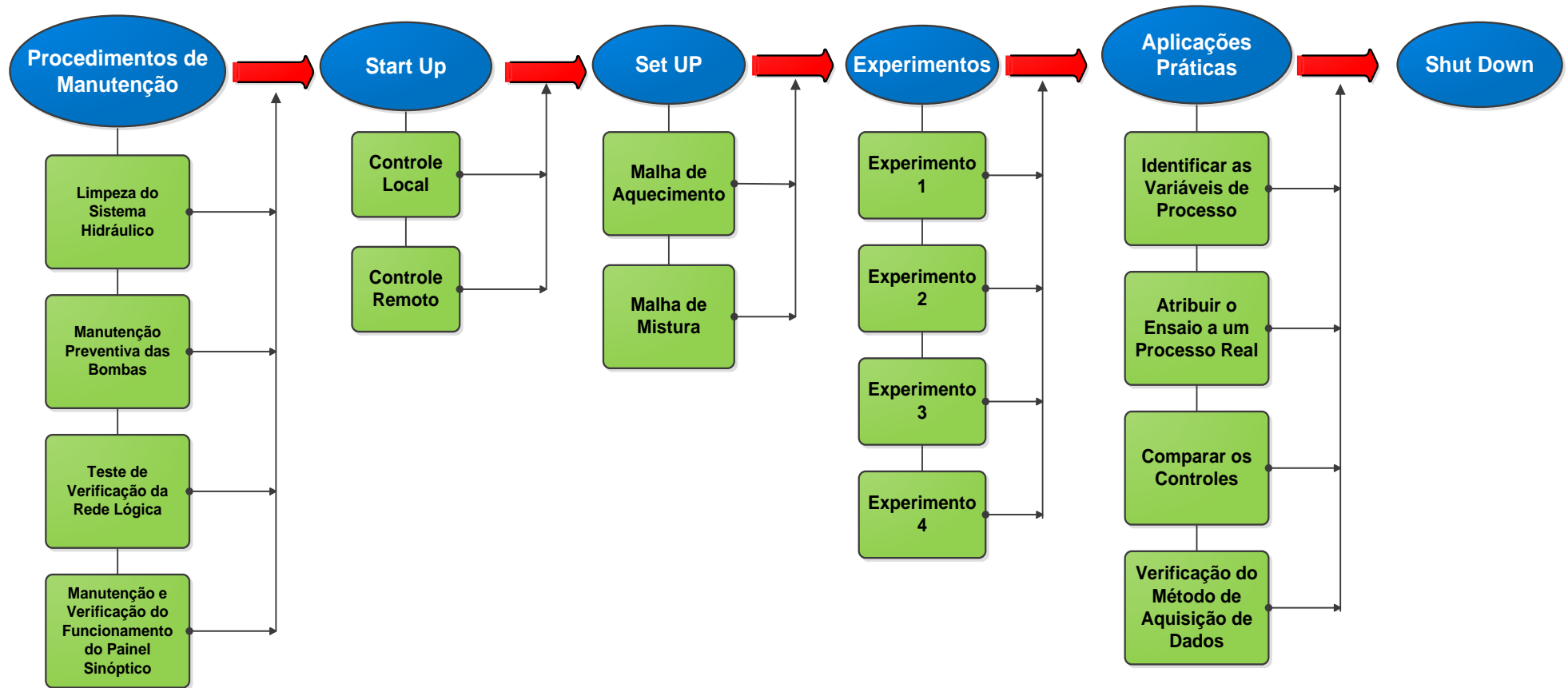


Figura 10: Diagrama de utilização da planta.
Fonte: Autor (2015).

4.1. PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO

Nesse item são descritos os procedimentos de manutenção adotados para a Planta Industrial Didática.

4.1.1. Procedimento de Limpeza do Sistema Hidráulico

As tubulações e os tanques de água devem ser drenados sempre que a água ficar com aspecto escuro, “com ferrugem”. O reservatório de água possui uma válvula direcionada apenas para o esgoto, que deve ser aberta até que os tanques, a tubulação e o reservatório estejam vazios (Figura 11).

A limpeza do tanque de abastecimento de água deve ser realizada apenas com água limpa, sem adição de produtos químicos ou que deixe limalha ou fiapos para que estes não prejudiquem o funcionamento da planta. Quando ela não estiver em uso, o tanque de abastecimento de água deve ser tampado para proteção, para não haver acúmulo de poeira, insetos e outras partículas que possam se depositar no tanque.



Figura 11: Saída de escoamento da água e entradas de abastecimento de água.
Fonte: SMAR (2012, p. 20).

4.1.2. Procedimento de Manutenção Preventiva das Bombas Hidráulicas

Para que não ocorra obstrução das bombas que atendem o sistema hídrico da planta, é recomendado que elas sejam ligadas ao menos uma vez por semana por um período de 30 minutos fazendo com que a água circule pela planta.

Com o funcionamento da Planta Industrial por um longo período de tempo percebeu-se que a bomba número 2 sobreaquece, logo, as bombas também necessitam de limpeza periódica do sistema de ventilação.

4.1.3. Testes e Verificação da Rede Lógica: Rede Industrial Profibus e CLP

O DFI302, Figura 12, é a plataforma modular que possibilita a comunicação e aquisição de dados de processo com equipamentos do protocolo FOUNDATION™ fieldbus e PROFIBUS, e transmissão das informações ao ProcessView, software de supervisão integrado ao SYSTEM302.

Seu estado de operação pode ser testado através da modificação de valores de temperatura e volume no ProcessView e verificação da resposta pela Planta Industrial Didática. Caso a resposta não ocorra, verificar as conexões dos cabos no CPU e CLP.



Figura 12: Plataforma de controle e automação de processos DFI302.
Fonte: SMAR (2012, p. 27).

4.1.4. Manutenção e Verificação do Funcionamento do Painel Sinóptico da Planta Didática

A Planta Didática possui telas que apresentam uma visão geral, de grupo e de detalhes, bem como outras telas comuns, tais como: sinótico, registro histórico e em tempo real, registro de alarmes e eventos, etc. Para verificação do funcionamento do painel sinótico recomenda-se o teste dos botões de sirene e luzes no próprio painel, ou o seu controle pela de ajuste do ProcessView. O painel sinótico é apresentado na Figura 13.



Figura 13: Painel sinótico.
Fonte: Adaptado de SMAR (2012, p. 11).

4.2. PROCEDIMENTO DE *START UP* DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

O *start up* da planta é dividido em dois processos, o Controle Local e o Controle Remoto. O procedimento para o *start up* de controle local é demonstrado pela sequência de operações a seguir:

1. Inicialmente o compressor de ar deve ser acionado, bem como o disjuntor destinado para o uso da planta didática.
2. Em seguida a chave *On/Off* deve ser ativada no painel sinóptico e planta já está ativada.

O procedimento para o *start up* de controle remoto é demonstrado pela sequência de operações a seguir:

1. Ligar o computador exclusivo para utilização da planta.
2. Conectar os *pendrives* com as licenças no computador.
3. Na área de trabalho do computador, clicar no atalho *Application Tray*, que inicia o *ProcessView*.
4. Ainda na área de trabalho, na pasta “Smar Atalhos”, habilitar as licenças *Genlic32.exe* e *IconicsHWK.exe*, clicando duas vezes em cada uma.
5. Após esses processos, verificar se as opções de ajuste dos tanques aparecem na tela principal, se sim a Planta Industrial está pronta para uso. Caso contrário, reinicie o processo.

4.3. PROCEDIMENTO DE *SET UP* DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

No seguimento de *Set Up* da Planta Didática, uma de duas formas de operação pode ser escolhida: o *set up* da malha de aquecimento ou da malha de mistura. Os *set ups* são selecionados de acordo com o experimento determinado.

4.4. PROCEDIMENTO DE *SHUT DOWN* DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

Para o desligamento da planta feche a janela do *ProcessView*, desconecte os *pen drives*, desligue o computador, em seguida desative a chave *On/Off* no painel sinóptico e desligue o compressor de ar.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES DO MODELO DE APRENDIZADO PROPOSTO

Como um dos resultados deste trabalho, neste capítulo é apresentada uma matriz com possíveis percursos para o uso da Planta Industrial Didática, Figura 14, o conjunto de experimentos desenvolvidos para a planta, assim como as aplicações práticas deste estudo. Também é apresentado o roteiro de experimentos para utilização no laboratório de controle e processamento de sinais.

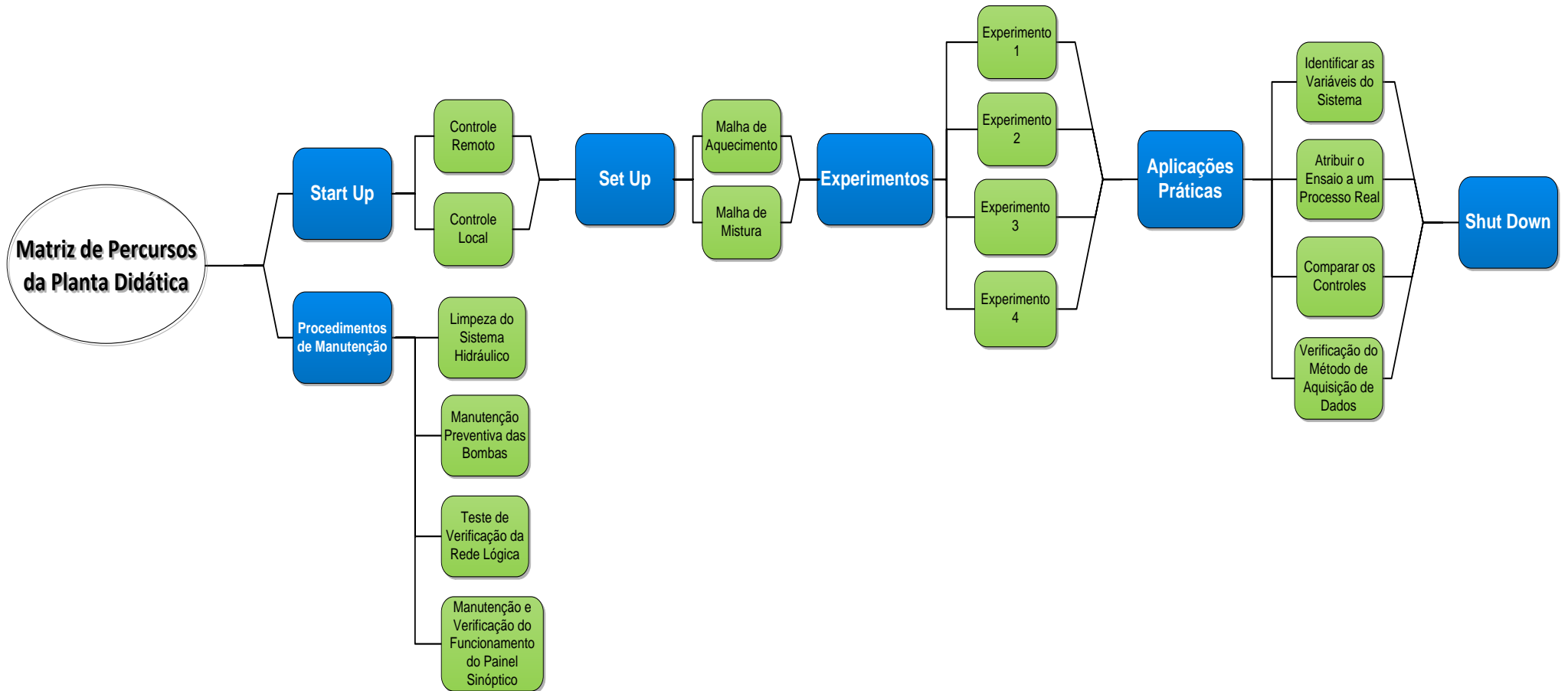


Figura 14: Matriz de percursos.
Fonte: Autor (2015).

5.1. MODELO DINÂMICO DE APRENDIZAGEM NA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA

Nesta seção apresenta-se o modelo de aprendizagem, que é composto de experimentos para o Laboratório de Controle e Processamento de Sinais utilizando a Planta Industrial Didática e sua contribuição para o ensino de engenharia. Com a teoria já descrita no capítulo 3, dá-se sequência aos processos para a execução do experimento, cujo objetivo é compreender a utilização das técnicas de controle encontradas na planta, sendo eles o controle por antecipação, controle por realimentação, e o controle em cascata e suas comunicações pela lógica OPC.

5.1.1. Experimento 1: Estratégia de Controle por Antecipação

O Experimento 1 foi criado com a intuição de demonstrar o funcionamento do controle por antecipação na planta didática. A Figura 15 representa a tela de supervisão do ProcessView para o controle por antecipação. A seguir encontra-se uma sequência de etapas com o passo a passo para o desenvolvimento do experimento, onde será mais bem demonstrado na seção 5.3:

1. Inicie o procedimento de *Start Up* da Planta Didática como descrito anteriormente.
2. Na parte de cima da tela do ProcessView, clique no botão “controle” e selecione controle por antecipação.
3. Inicie o funcionamento da planta ligando a Bomba 1 no modo manual, deixe-a atuando até que o Tanque 1 atinja o seu nível máximo, sendo este feito através da verificação visual ou na tela do aplicativo. Mantenha a válvula de saída de água para o Tanque 2 fechada.
4. Habilite as resistências dentro da tela do ProcessView.
5. Ajuste um *set point* de temperatura no valor de 60°C e uma porcentagem de vazão da válvula em 100%.

6. Observe o controlador ligar e desligar a resistência para que a temperatura no Tanque 1 permaneça no valor desejado.

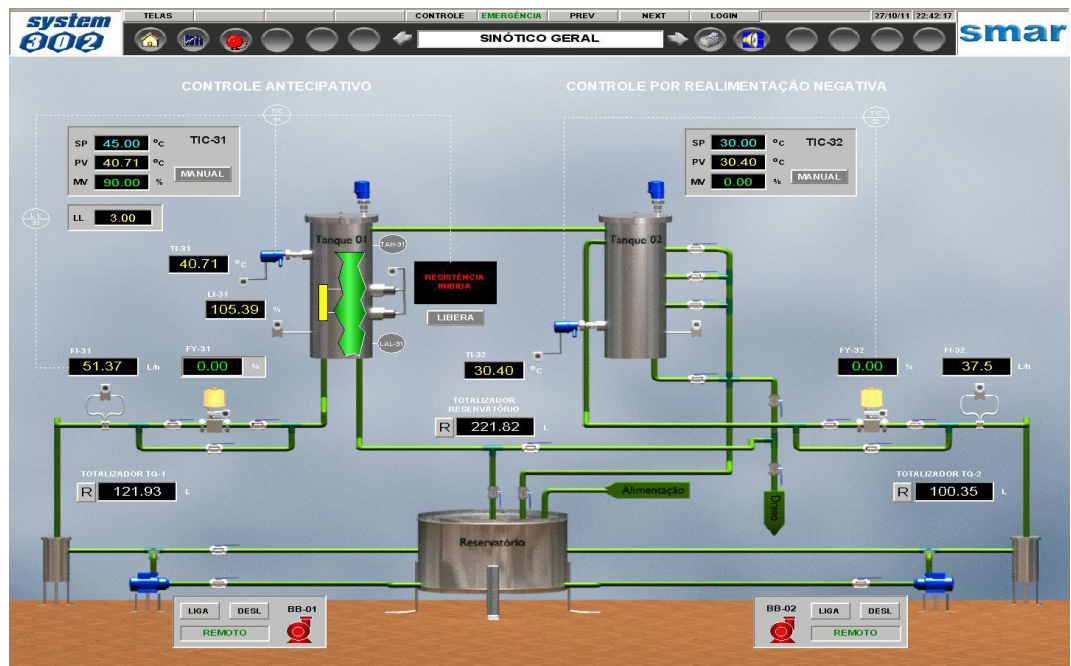


Figura 15: Tela de supervisão e controle para a topologia de controle por antecipação.

Fonte: SMAR (2012, p. 32).

5.1.2. Experimento 2: Estratégia de Controle por Realimentação

O Experimento 2 foi criado com a intuição de demonstrar o funcionamento do controle por realimentação na planta didática. A Figura 16 representa a tela de supervisão do ProcessView para esse controle. A seguir encontra-se uma sequência de etapas com o passo a passo para o desenvolvimento do experimento, onde será mais bem demonstrado na seção 5.3:

1. Inicie o procedimento de *Start Up* da Planta Didática como descrito anteriormente.
2. Na parte de cima da tela do ProcessView, clique no botão “controle” e selecione controle por realimentação.
3. Inicie o funcionamento da planta ligando as bombas no modo manual, deixe-as atuando até que o Tanque 1 atinja o seu nível máximo, sendo este feito através da verificação visual ou na tela do aplicativo.
4. Habilite as resistências dentro da tela do ProcessView.

5. Ajuste um *set point* de temperatura no valor de 40°C para o tanque de mistura (Tanque 2).
6. Acione novamente as bombas e abra as válvulas para que a água flua para o Tanque 2.
7. Observe o controlador abrir e fechar a válvula de água fria (reservatório) para que a temperatura no Tanque 2 permaneça no valor desejado.

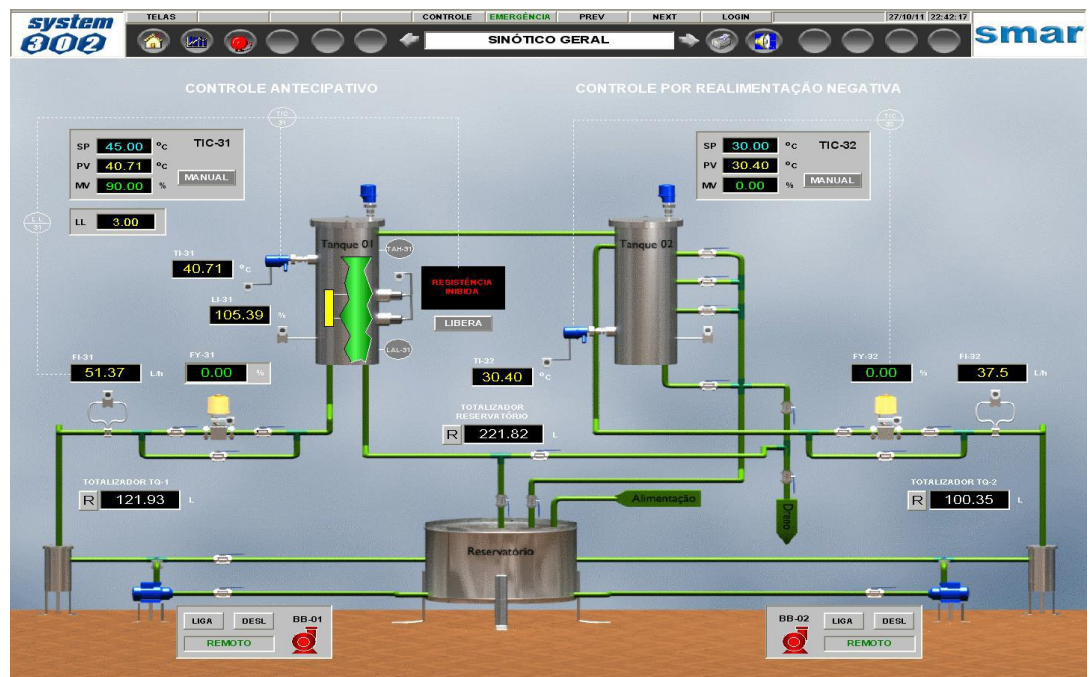


Figura 16: Tela de supervisão e controle para a topologia de controle por realimentação.
Fonte: SMAR (2012, p. 32).

5.1.3. Experimento 3: Estratégia de Controle em Cascata

O Experimento 3 foi criado com a intenção de demonstrar o funcionamento do controle em cascata na planta didática. A Figura 17 representa a tela de supervisão do ProcessView para o controle em cascata. A seguir encontra-se uma sequência de etapas com o passo a passo para o desenvolvimento do experimento, onde será mais bem demonstrado na seção 5.3:

1. Inicie o procedimento de *Start Up* da Planta Didática como descrito anteriormente.
2. Na parte de cima da tela do ProcessView, clique no botão “controle” e selecione controle em cascata.
3. Inicie o funcionamento da planta ligando as bombas no modo manual, deixe-as atuando até que o Tanque 1 atinja o seu nível máximo, sendo este feito através da verificação visual ou na tela do aplicativo.
4. Habilite as resistências dentro da tela do ProcessView.
5. Ajuste um *set point* de temperatura no valor de 40°C para o tanque de mistura (Tanque 2).
6. Acione novamente as bombas e abra as válvulas para que a água flua para o Tanque 2.
7. Observe o controlador abrir e fechar a válvula de água fria (reservatório) para que a temperatura no Tanque 2 permaneça no valor desejado.

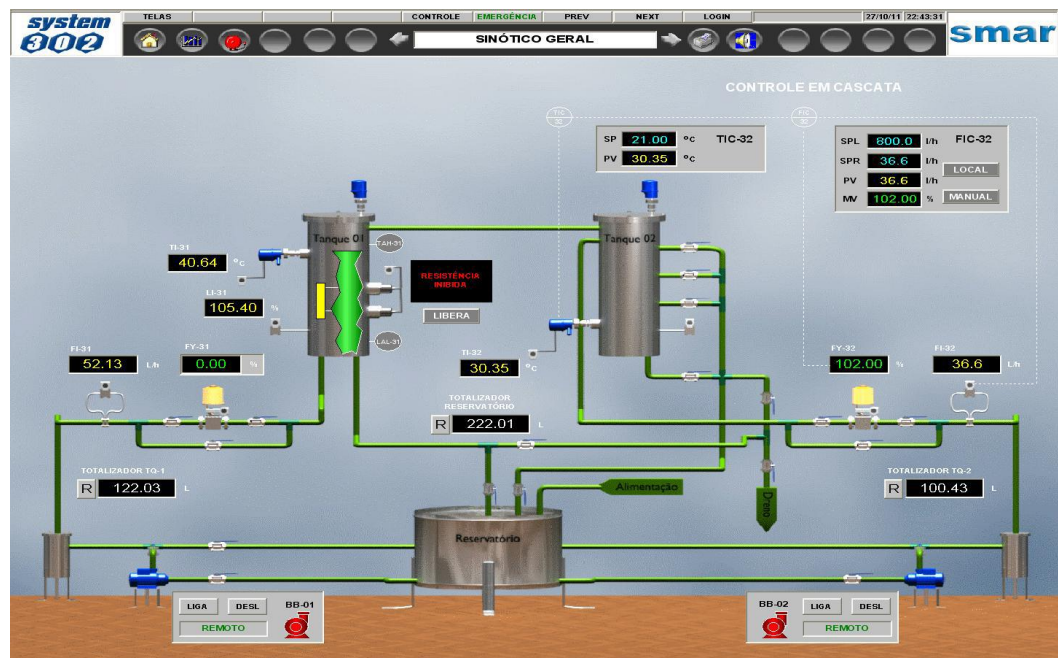


Figura 17: Tela de supervisão e controle para a topologia de controle em cascata. Fonte: Manual Smar (2012, p. 33).

5.1.4. Experimento 4: Método de Aquisição de Dados através da Lógica *Object Linking and Embedding for Process Control*

No Experimento 4 é feita a demonstração da comunicação da planta através da lógica OPC com a ferramenta OPC Toolbox do MATLAB. A seguir encontra-se uma sequência de etapas com o passo a passo para o desenvolvimento do experimento, onde será mais bem demonstrado na seção 5.3:

1. Inicie o procedimento de *Start Up* da Planta Didática como descrito anteriormente.
2. Para iniciar o OPC Toolbox do MATLAB deve-se digitar na tela de comando do Software “opctool” e a interface OPC do MATLAB será aberta.
3. Deve-se então iniciar a adição dos clientes clicando-se com o botão direito no tópico MATLAB OPC Client, demonstrado pelas Figuras 18, 19 e 20.

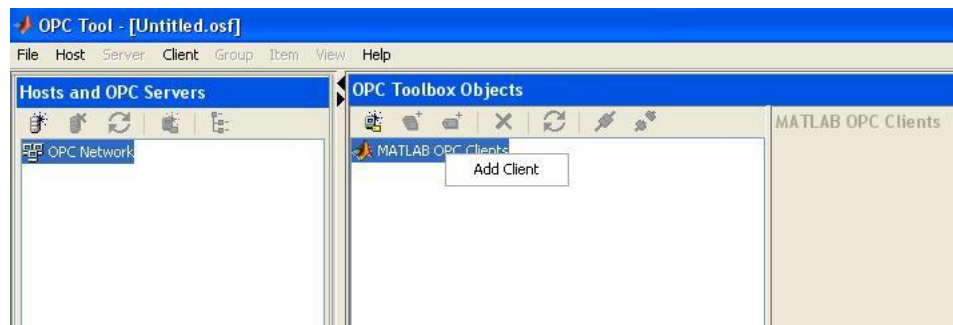


Figura 18: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de Cliente 1.
Fonte: Silva (2011, p. 109).

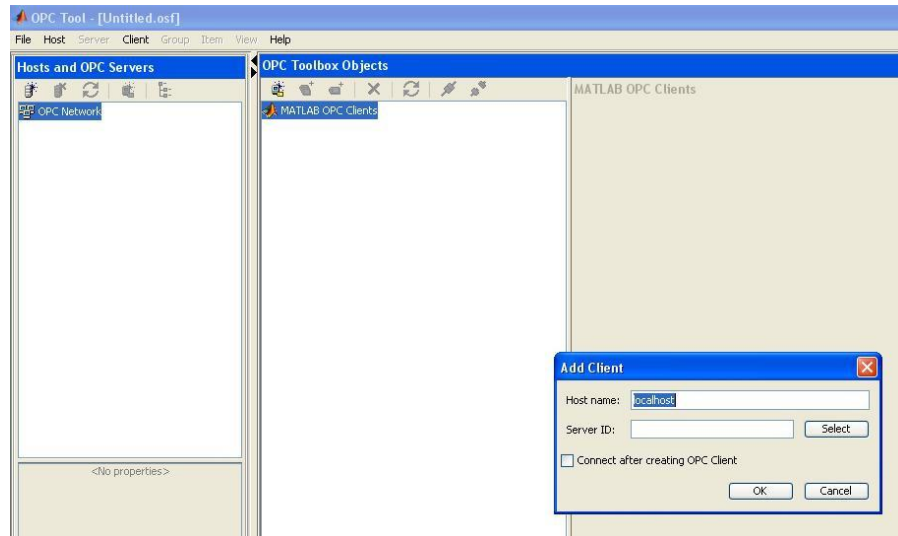


Figura 19: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de Cliente 2.
Fonte: Silva (2011, p. 110).

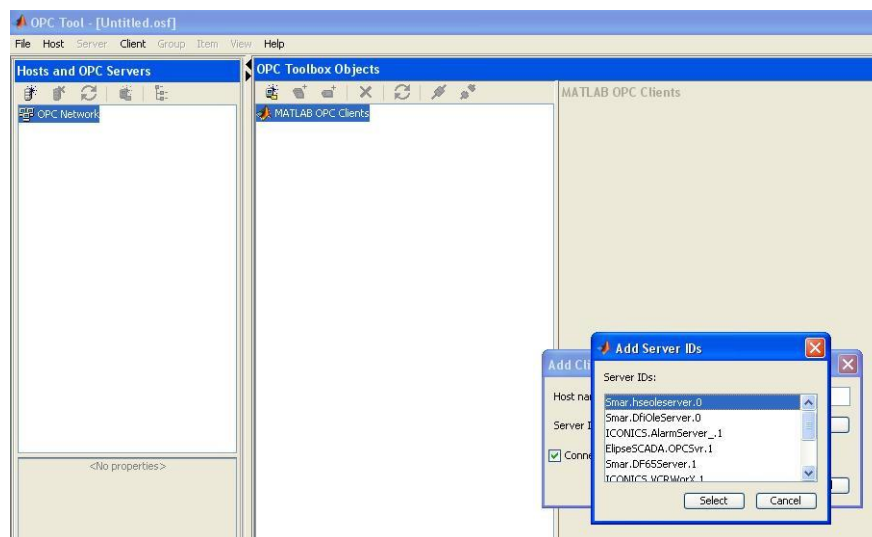


Figura 20: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de Cliente 3.
Fonte: Silva (2011, p. 110).

4. Logo após, realize a conexão e inicie a adição de grupos (Figura 21).



Figura 21: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de grupos.
Fonte: Silva (2011, p. 111).

5. Então, inicia-se então a adição de itens, demonstrados pelas Figuras 22 e 23.

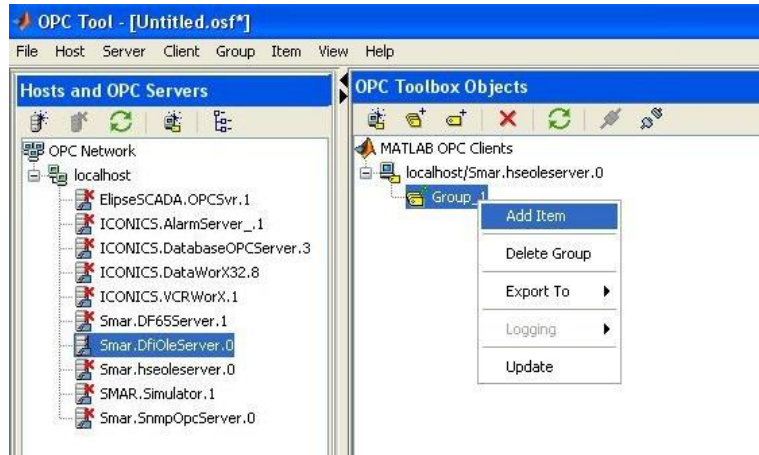


Figura 22: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de itens 1.
Fonte: Silva (2011, p. 111).

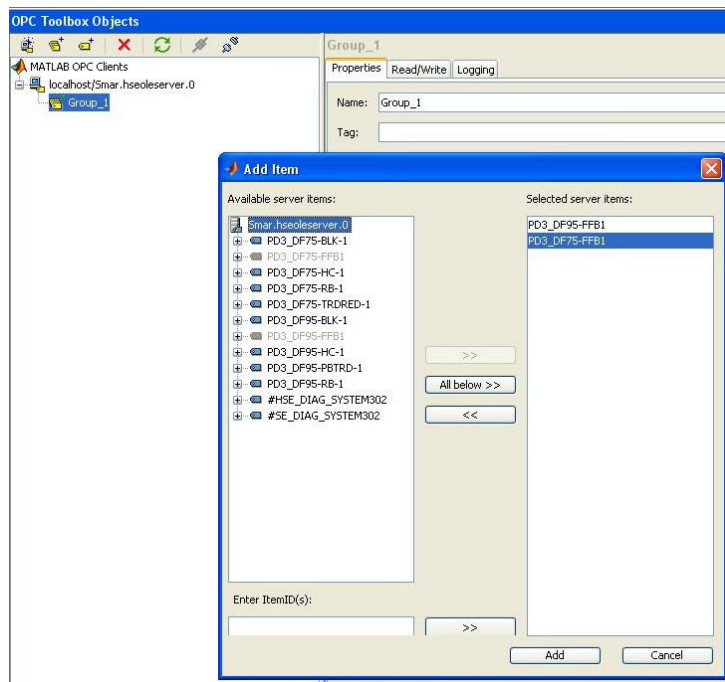


Figura 23: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de itens 2.
Fonte: Silva (2011, p. 112).

6. Após adicionar todas as tags desejadas (Figura 24).

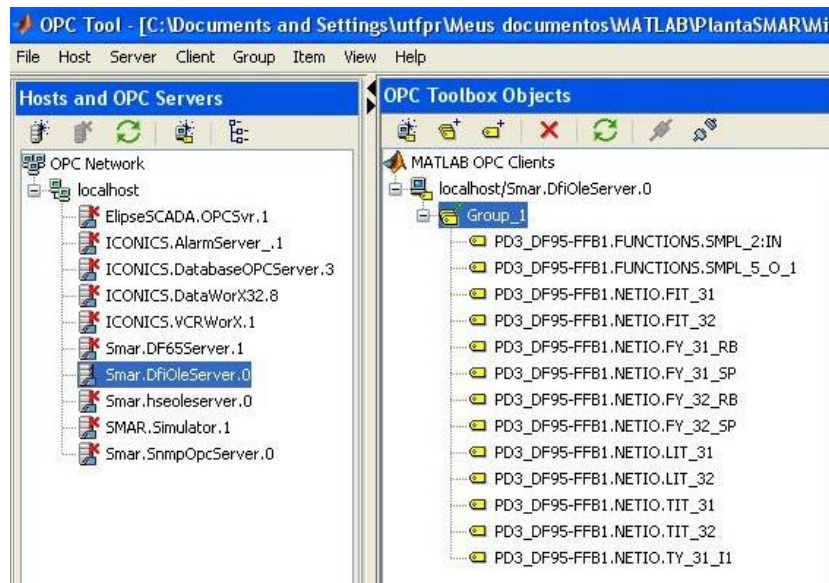


Figura 24: Tela de OPC Tool do MATLAB – adição de tags.
Fonte: Silva (2011, p. 112).

7. Assim é possível verificar seus valores instantâneos (Figura 25).

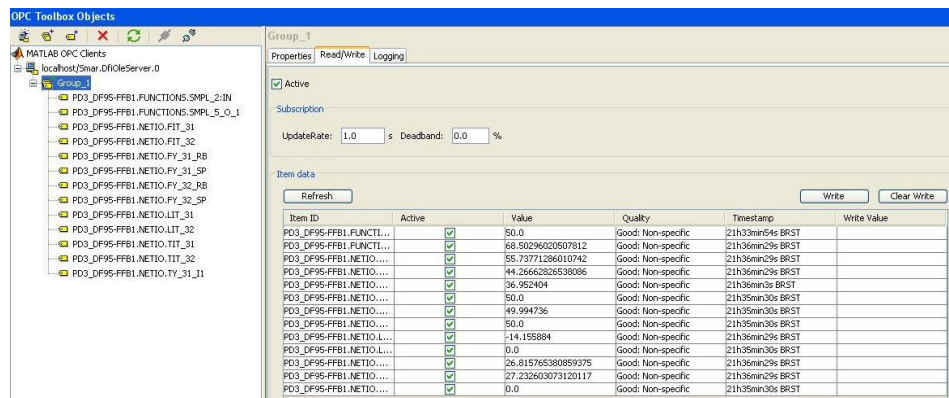


Figura 25: Tela de OPC Tool do MATLAB – verificação de valores instantâneos.
Fonte: Silva (2011, p. 113).

8. Então, a aquisição de dados pode ser feita na aba Logging, onde se escolhe a taxa de atualização dos dados, e o número de dados a serem gravados (Figura 26).

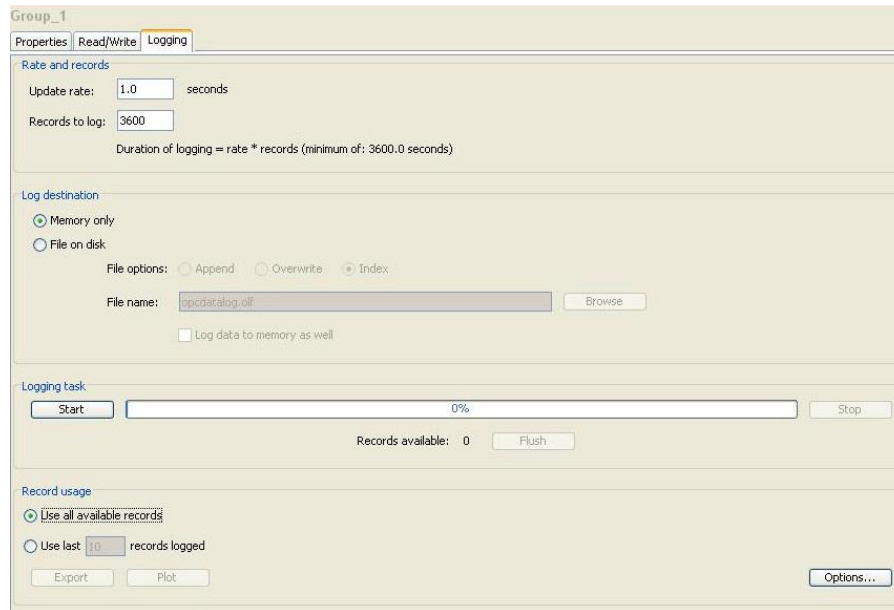


Figura 26: Tela de Logging do OPC Tool do MATLAB.
Fonte: Silva (2011, p. 113).

5.2. APLICAÇÕES PRÁTICAS

Nesta seção dá-se ênfase às aplicações dos experimentos desenvolvidos para a Planta Didática. Elas foram divididas em quatro subseções no diagrama e matriz de percursos, sendo que as mesmas podem ser destinadas a mais de um experimento.

5.2.1 Variáveis do Sistema

A identificação de variáveis do sistema como variáveis de processo, variáveis controladas e variáveis manipuladas, pode ser realizada pelos alunos de engenharia com os conhecimentos adquiridos em sala de aula e neste trabalho já descritos no capítulo 2. Como exemplo, essa tarefa seria direcionada para o Experimento 1, em que a variável de processo e a variável manipulada são a temperatura e a variável controlada é a potência da resistência interna do tanque.

5.2.2 Processo Industrial Real

A Planta Industrial Didática, como já mencionado anteriormente, é um simulador de processos industriais reais. O aluno pode atribuir esses processos (controle por antecipação, controle por realimentação e controle em cascata) como auxiliar de linhas de produção e controles necessários para indústrias no geral. Essa tarefa pode ser destinada para os Experimentos 1, 2 e 3 onde são abordados os controles da planta.

5.2.3 Comparação entre os Controles

A comparação é ser feita entre o controle por realimentação e o controle em cascata dado que o controle em cascata tende a ter resposta mais rápida, como mencionado nos Experimentos 2 e 3. Com essa comparação, os alunos podem identificar as vantagens e desvantagens de cada estratégia de controle e qual deles é mais indicado para situações reais na indústria, como, por exemplo, quando o custo deve ser baixo, então a melhor opção seria o controle por realimentação com uma composição mais simples, portanto mais barata, ou quando a necessidade é uma resposta rápida a uma interferência externa, então a melhor opção seria o controle em cascata.

5.2.4 Aquisição de Dados

O método de aquisição de dados é uma sequência de operações para que um computador externo tenha acesso a dados e informações sobre os controles, fazendo assim com que estes possam ser avaliados e reprogramados para que o erro seja diminuído (descrito em trabalhos anteriores). Por meio do experimento 4 os alunos podem fazer essa aquisição de dados e modificá-los conforme solicitado pelo professor.

5.3. ROTEIRO DE EXPERIMENTOS PARA O LABORATÓRIO DE CONTROLE E PROCESSAMENTO DE SINAIS

Nesta seção é apresentado um roteiro com os experimentos desenvolvidos para Planta Industrial Didática. Ele é concebido para ser o primeiro contato do aluno com a planta, com experimentos voltados para a compreensão do seu funcionamento e uma introdução às suas topologias de controle. Esse roteiro tem duração de duas horas aula, contendo instruções de uso da planta, quatro experimentos, questionamentos a serem debatidos em sala de aula e algumas sugestões para a concepção de um relatório das atividades realizadas.

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
ENGENHARIA ELÉTRICA**

PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA SMAR PD3-P

Atenção: Apenas utilizar o equipamento acompanhado do professor ou monitor responsável pela planta (somente pessoas habilitadas estão autorizadas a intervir na Planta Industrial Didática SMAR, pois o uso indevido pode ocasionar acidentes).

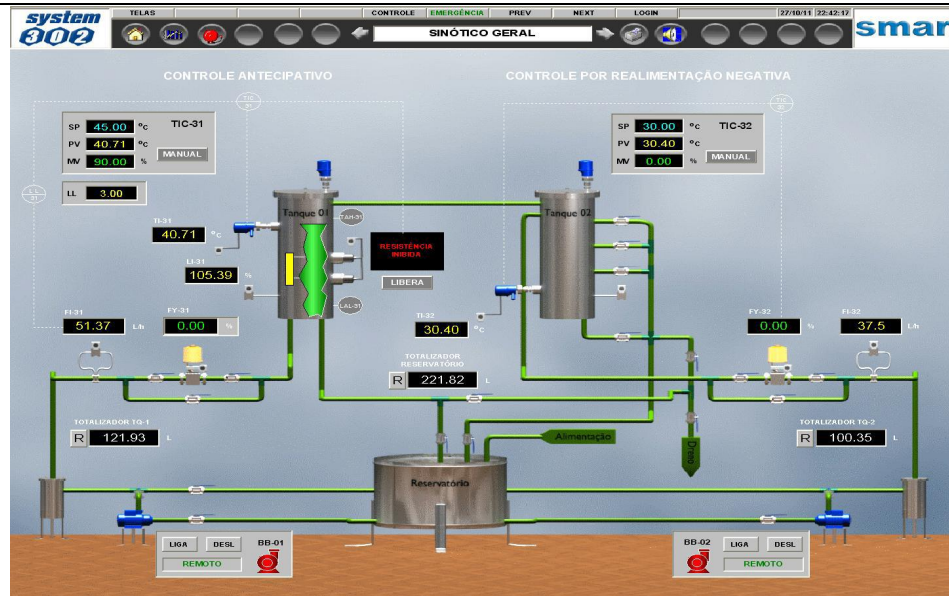
EXPERIMENTO 1: ESTRATÉGIA DE CONTROLE POR ANTECIPAÇÃO

OBJETIVOS:

- a) Observar o funcionamento da técnica de controle por antecipação da planta e compreender sua utilização.
- b) Levantamento da curva de temperatura por tempo no tanque de aquecimento da planta.

INTRODUÇÃO:

O controle por antecipação é uma estratégia de controle, que monitora possíveis variações já na entrada do produto da variável controlada e as transmite para o controlador atuar antecipadamente sobre a variável manipulada. Uma aplicação de um processo industrial real deste controle é em fornos, por exemplo, que necessitam de uma temperatura estável e também diminua o custo de produção, fazendo com que a oscilação da válvula de entrada do fluido seja reduzida.



FUNIONAMENTO:

Na Planta Didática o controle por antecipação mantém a temperatura do tanque de aquecimento em um valor fixo com uma menor variação da válvula de entrada de água fria. A vazão de entrada de água fria é medida, fazendo com que o controlador envie mais ou menos potência para o aquecimento das resistências do tanque de aquecimento (Tanque 1), para manter a temperatura em determinado *set point*.

PROCEDIMENTO PARA O START UP DA PLANTA:

1. Inicialmente o compressor de ar deve ser acionado, bem como o disjuntor destinado para o uso da planta didática.
2. Em seguida a chave *On/Off* deve ser ativada no painel sinóptico e planta já está ativada.
3. Então, ligar o computador exclusivo para utilização da planta.
4. Conectar os *pendrives* com as licenças no computador.
5. Na área de trabalho do computador, clicar no atalho *Application Tray*, que inicia o ProcessView.

6. Ainda na área de trabalho, na pasta “Smar Atalhos”, habilitar as licenças Genlic32.exe e IconicsHWK.exe, clicando duas vezes em cada uma.

7. Após esses processos, verificar se as opções de ajuste dos tanques aparecem na tela principal, se sim a Planta Industrial está pronta para uso. Caso contrário, reinicie o processo.

EXPERIMENTO PASSO A PASSO:

1. Na parte de cima da tela do ProcessView, clique no botão “controle” e selecione controle por antecipação.

2. Inicie o funcionamento da planta ligando a Bomba 1 no modo manual, deixe-a atuando até que o Tanque 1 atinja o seu nível máximo, sendo este feito através da verificação visual ou na tela do aplicativo. Mantenha a válvula de saída de água para o Tanque 2 fechada.

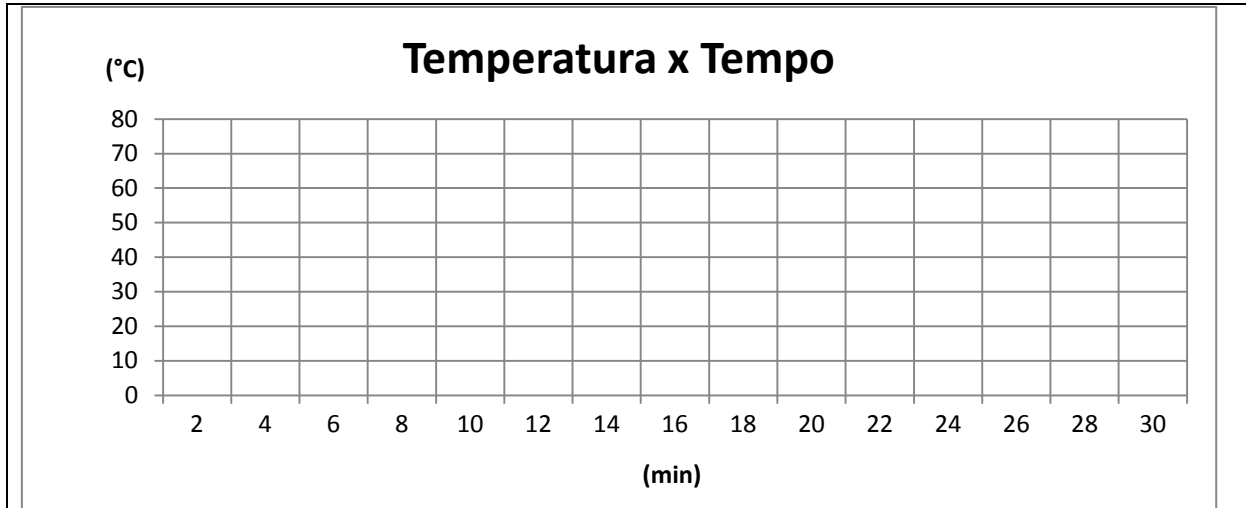
3. Habilite as resistências dentro da tela do ProcessView.

4. Ajuste um *set point* de temperatura no valor de 60°C e uma porcentagem de vazão da válvula em 100%.

5. Observe o controlador ligar e desligar a resistência para que a temperatura no Tanque 1 permaneça no valor desejado.

ANÁLISE DE RESULTADOS:

a) Anotando os valores da variação da temperatura no decorrer do tempo, trace o Gráfico de Temperatura x Tempo utilizando a figura a seguir:

**QUESTÕES:**

1. Discuta as vantagens e desvantagens do controle por antecipação.
2. A partir do gráfico gerado, observe a oscilação da temperatura no decorrer do tempo.
3. Qual a porcentagem de oscilação que a válvula de água fria atingiu?
Ela se enquadrou nos parâmetros estabelecidos?
4. Determine as variáveis do sistema para esse experimento.
5. Liste alguns processos industriais onde é utilizado o controle por antecipação.

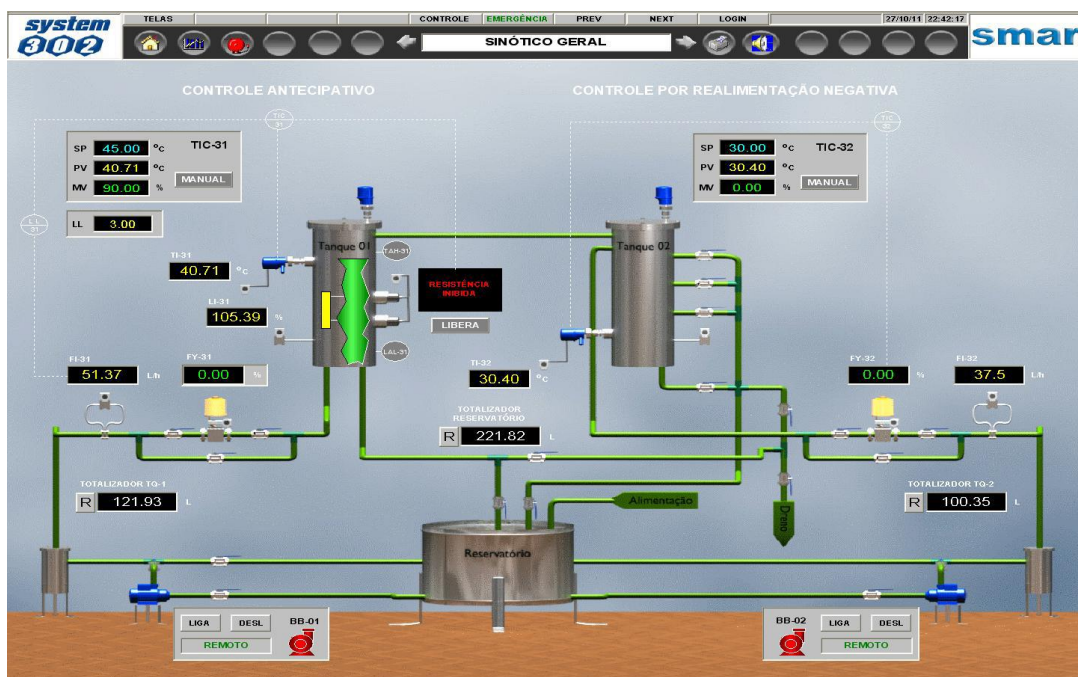
EXPERIMENTO 2: ESTRATÉGIA DE CONTROLE POR REALIMENTAÇÃO

OBJETIVOS:

- Observar o funcionamento da técnica de controle por realimentação da planta e compreender sua utilização.
- Levantamento da curva de vazão por tempo no tanque de mistura da planta.

INTRODUÇÃO:

O controle por realimentação mantém a variável controlada em um valor constante a partir da medição da saída do sistema e comparação desse com o valor de *set point*. Ele faz, então, com que o controlador atue na diferença (erro) entre esses dois valores. A vantagem de um controle por realimentação é que não se necessita conhecer antecipadamente os distúrbios que afetam o processo e não se estabelecem relações entre os distúrbios e seus efeitos sobre o processo. Dessa forma, ele reduz a sensibilidade a variações na planta e cria estabilidade em sistemas instáveis.



FUNCIONAMENTO:

Na Planta Didática o controle por realimentação é implementado no tanque de mistura, no qual o objetivo é manter a temperatura constante, através do controle da vazão de água fria que entra nesse tanque. A variável de processo é a temperatura do tanque e a variável de entrada é a vazão de água fria. A temperatura do tanque de mistura é medida e comparada com o *set point* desejado, o controlador envia o sinal de controle para aumentar ou diminuir a vazão de água fria na malha de mistura (abrindo ou fechando a válvula).

PROCEDIMENTO PARA O START UP DA PLANTA:

Com a planta já em funcionamento decorrido do Experimento 1, continue ao Experimento 2 abrindo a válvula de ligação dos Tanques 1 e 2.

EXPERIMENTO PASSO A PASSO:

1. Na parte de cima da tela do ProcessView, clique no botão “controle” e selecione controle por realimentação.
2. Ligue a Bomba 2 no modo manual, deixe-a atuando até que o Tanque 2 atinja o seu nível máximo, sendo este feito através da verificação visual ou na tela do aplicativo.
3. Habilite a resistência do tanque de mistura na tela do ProcessView.
4. Ajuste um *set point* de temperatura no valor de 40°C para o Tanque 2.
5. Observe o controlador abrir e fechar a válvula de água fria (reservatório) para que a temperatura no Tanque 2 permaneça no valor desejado.

ANÁLISE DE RESULTADOS:

a) Anotando os valores da variação da vazão de água fria no decorrer do tempo, trace o Gráfico de Vazão x Tempo utilizando a figura a seguir:



QUESTÕES:

1. Discuta as vantagens e desvantagens do controle por realimentação.
2. A partir do gráfico gerado, observe a oscilação da vazão de água fria no decorrer do tempo. Essa variação pode ser diminuída?
3. Determine as variáveis do sistema para esse experimento.

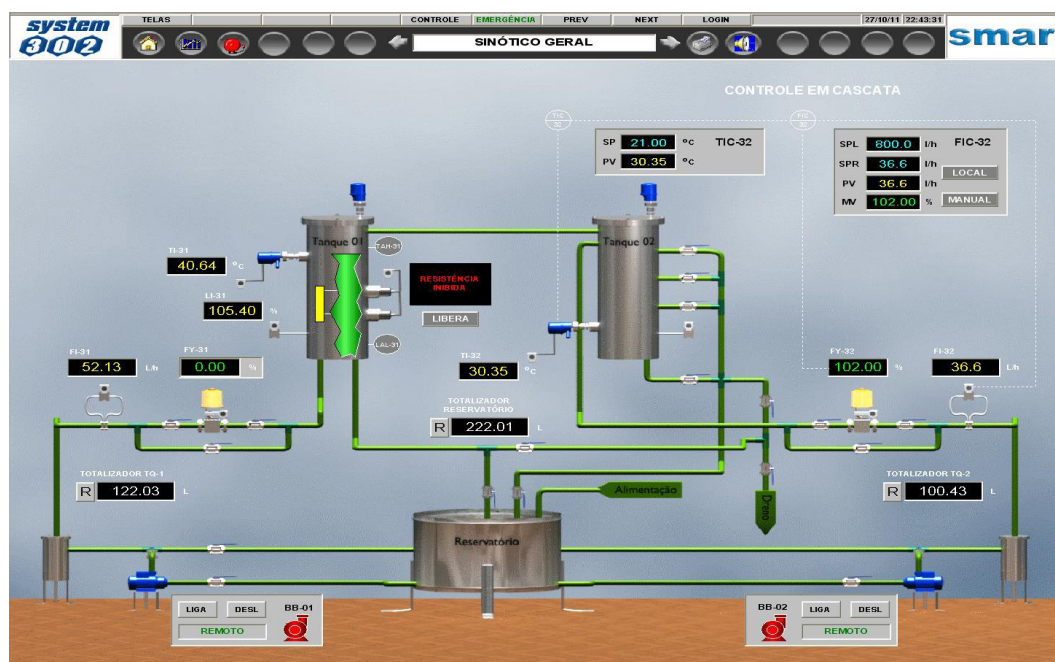
EXPERIMENTO 3: ESTRATÉGIA DE CONTROLE EM CASCATA

OBJETIVOS:

- Observar o funcionamento da técnica de controle em cascata da planta e compreender sua utilização.
- Levantamento da curva de vazão por tempo no tanque de mistura da planta.

INTRODUÇÃO:

O controle em cascata toma uma ação corretiva no sistema antes que a variável de controle primária seja afetada, mas depois que uma perturbação já atingiu o processo. Trata-se de duas variáveis controladas atuando em uma mesma variável manipulada, em que o *set point* do controlador da malha interna é dado pela saída do controlador externo. Por apresentar uma resposta mais rápida, o controle em cascata pode ser uma alternativa ao controle por realimentação no tanque de mistura, assim acelerando o processo industrial e diminuindo o custo da produção.



FUNCIONAMENTO:

Na Planta Didática o controle em cascata é uma das formas de controle de temperatura no tanque de mistura, que compensa as variações do fluxo de água fria. Trata-se de duas malhas de controle: na malha principal a temperatura do tanque de mistura é medida e comparada com o *set point* desejado, o controlador da malha externa envia o *set point* ao controlador da malha interna, esse valor é comparado com o valor de vazão instantânea, e o controlador da malha interna envia o sinal de controle para aumentar ou diminuir a vazão de água fria na malha de mistura de acordo com o *set point* remoto.

PROCEDIMENTO PARA O START UP DA PLANTA:

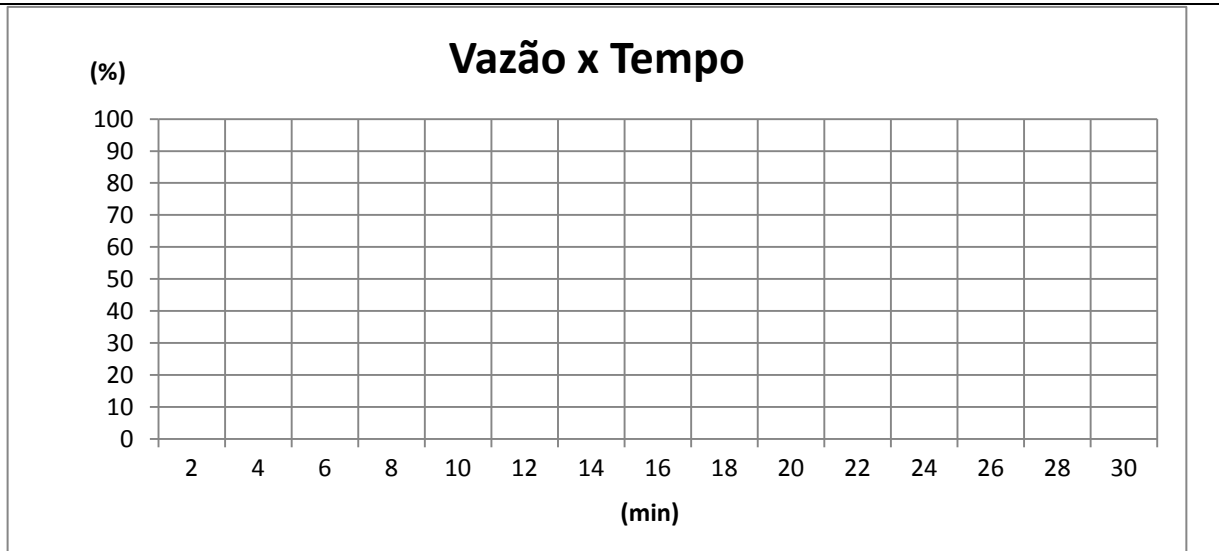
Com a planta já em funcionamento decorrido do Experimento 1 e 2, continue com o Experimento 3 esvaziando o tanque de mistura.

EXPERIMENTO PASSO A PASSO:

1. Na parte de cima da tela do ProcessView, clique no botão “controle” e selecione controle em casacata.
2. Ligue a Bomba 2 no modo manual, deixe-a atuando até que o Tanque 2 atinja o seu nível máximo, sendo este feito através da verificação visual ou na tela do aplicativo.
3. Habilite a resistência do tanque de mistura na tela do ProcessView.
4. Ajuste um *set point* de temperatura no valor de 40°C para o Tanque 2.
5. Observe o controlador abrir e fechar a válvula de água fria (reservatório) para que a temperatura no Tanque 2 permaneça no valor desejado.

ANÁLISE DE RESULTADOS:

a) Anotando os valores da variação da vazão de água fria no decorrer do tempo, trace o Gráfico de Vazão x Tempo utilizando a figura a seguir:



QUESTÕES:

1. Discuta as vantagens e desvantagens do controle em cascata.
2. A partir do gráfico gerado, observe a oscilação da vazão de água fria no decorrer do tempo. Essa variação pode ser diminuída?
3. Faça uma comparação o controle em cascata com o controle por realimentação. Qual das duas estratégias de controle é a mais indicada para um processo industrial onde a necessidade é a economia? Qual das duas estratégias é a mais indicada para um processo industrial onde a necessidade é a rapidez de respostas?
4. Compare os gráficos levantados nos experimentos 2 e 3. O que pode ser observado?
5. Liste alguns processos industriais onde são utilizados os controles por realimentação e em cascata.

EXPERIMENTO 4: AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DA LÓGICA OPC

OBJETIVOS:

- a) Efetuar a aquisição de dados através da lógica opc.

INTRODUÇÃO:

O método de aquisição de dados é uma sequência de operações para que um computador externo tenha acesso a dados e informações sobre os controles, fazendo assim com que estes possam ser avaliados e reprogramados para que o erro seja diminuído. Como através da conexão OPC tem-se acesso a todos os valores das variáveis da Planta, é possível criar rotinas para coletar e salvar os dados de processos, possibilitando assim, a utilização ou manipulação desses dados na análise ou identificação do processo observado, por exemplo.

PROCEDIMENTO PARA O *START UP* DA PLANTA:

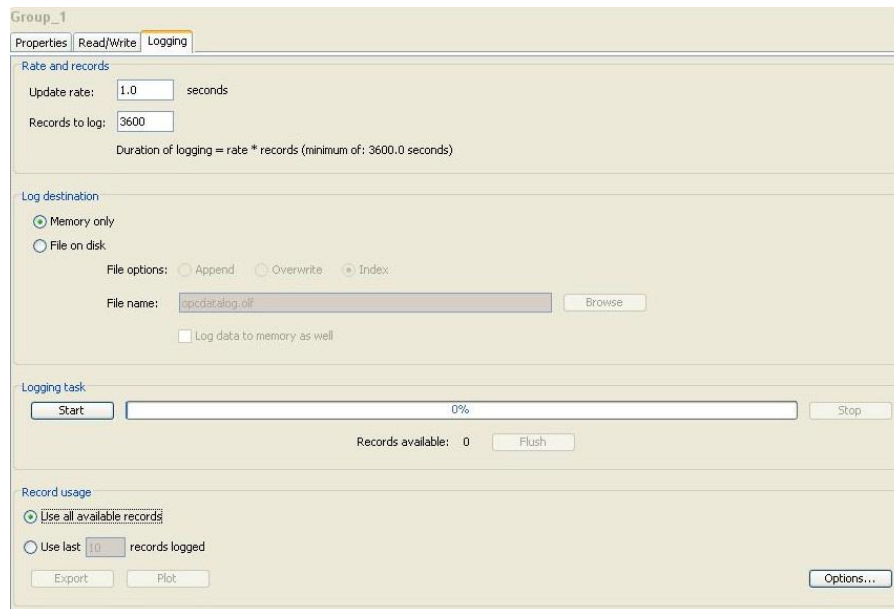
Com a planta já em funcionamento decorrido do Experimento 1, 2 e 3 continue com o Experimento 4 conectando um computador externo à planta.

EXPERIMENTO PASSO A PASSO:

1. Para iniciar o OPC Toolbox do MATLAB deve-se digitar na tela de comando do Software "opctool" e a interface OPC do MATLAB será aberta.
2. Deve-se então iniciar a adição dos clientes clicando-se com o botão direito no tópico MATLAB OPC Client. Selecione o *server* desejado clicando no botão *Select*.
3. Logo após, realize a conexão e inicie a adição de grupos clicando com o botão direito no *server* selecionado.
4. Então, inicia-se então a adição dos itens desejados clicando com o botão direito no grupo adicionado.

5. Assim, depois de adicionadas todas as tags desejadas, é possível verificar seus valores instantâneos na aba *Read/Write*.

6. A aquisição de dados é feita na aba Logging, onde se escolhe a taxa de atualização dos dados, e o número de dados a serem gravados.



SUGESTÕES:

Com a técnica de aquisição de dados através da lógica OPC é possível aplicar uma compensação aos valores visando à redução das oscilações de vazões, por exemplo, ou diminuir os erros encontrados nas informações dos controles. O método de aquisição de dados pode ser utilizado para um aprofundamento nos conceitos de controle e programação, dando continuidade a este roteiro de experimentos.

PROCEDIMENTO DE SHUT DOWN DA PLANTA INDUSTRIAL DIDÁTICA:

Para o desligamento da planta feche a janela do ProcessView, desconecte os *pen drives*, desligue o computador, em seguida desative a chave *On/Off* no painel sinóptico e desligue o compressor de ar.

INSTRUÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO:

O relatório final deve conter:

I) Introdução

II) Objetivo

III) Fundamentação teórica: Descreva o embasamento teórico abordado no experimento.

IV) Materiais e Métodos: Resolução da curva e as análises pedidas nos questionamentos.

V) Conclusões: Indique se a experiência está de acordo com o estudado na disciplina. Caso exista diferenças, tente justificar o motivo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho se desenvolveu a partir da idéia de contribuir com o ensino em engenharia, criando uma rotina de manutenção, um diagrama de utilização e atividades a serem executadas em sala de aula, para a Planta Industrial Didática que se encontra na UTFPR campus Cornélio Procópio. Sua importância se deve ao fato de ser uma planta com processos industriais reais, embora utilize escalas reduzidas. Em adição, aplicações práticas promovem uma contribuição mais direta ao desenvolvimento da capacidade do aluno em resolver problemas encontrados no ambiente industrial.

Com os estudos efetuados nos conceitos da Planta Didática foi possível desenvolver sua rotina de manutenção, que é de extrema importância para a vida útil do equipamento. Sem manutenção, os motores das bombas danificam-se antecipadamente, o sistema hídrico pode apresentar ferrugem e corrosão e os painéis e CLP relatar problemas em sua lógica de programação.

Também foram elaborados um diagrama de utilização e uma matriz de percursos para que o uso da Planta Industrial Didática, tanto por discentes quanto docentes, seja facilitado. Evita-se assim, que a planta se danifique por falha de operação. Juntamente com o diagrama foram produzidos quatro experimentos para auxílio de atividades práticas em sala de aula, abordando questões de operações dos controles presentes na Planta Industrial. Completando a proposta deste projeto, sugeriram-se aplicações práticas destinadas ao entendimento dos experimentos e à reprodução de situações com processos industriais reais.

Os objetivos deste trabalho foram atingidos, visto que foram realizadas todas as propostas com resultados satisfatórios. Como sugestões para trabalhos futuros apontam-se o estudo de mais procedimentos de manutenção da planta, experimentos mais aprofundados na área de controle, para que seja explorado um maior potencial de ensino, e um aprimoramento do diagrama de utilização buscando maior número de subseções de cada etapa.

REFERÊNCIAS

BIEST, A. V. et al. **Problem-Based Learning in Instrumentation: synergism of real and virtual modular acquisition chains**. IEEE Transactions On Education, 2010.

BEGA, Egídio A. et al. **Instrumentação Industrial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

CHAVES, Carlos Roberto. **Instrumentação Básica**. Equipe Petrobras. Curitiba, 2002.

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de controle modernos**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2001.

LEITE, A. C. S.; SILVA, P. A. B.; VAZ, A. C. R. **A importância das aulas práticas para alunos jovens e adultos: uma abordagem investigativa sobre a percepção dos alunos do PROEF II**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2004.

NOGUEIRA, Thiago A. **Redes Industriais de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. 85 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Automação e Controle. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

SILVA, Lyvia R. B. **Estudo aplicado de topologias de controle de processos utilizando uma Planta Didática Industrial**. 2011. 117f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2011.

SILVA, Jones Y. M. A. da; CRUZ, Marcelo M. F.; ROSADO, Rodrigo de M. **Redes Industriais - FIELDBUS**. 2006. 13f. Monografia – Curso de Ciências da Computação. Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SMAR Equipamentos Industriais. **PD3-P - Manual de Instruções, Operação e Manutenção**. 2012. SMAR, versão 3, 54 p.

SMAR Equipamentos Industriais. **ProcessView: interface de visualização de processos - Catálogo**. 2004, 36 p.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. 1. ed. Belo Horizonte: EDG – Editora de Desenvolvimento Geral, 1998.