

GUSTAVO DE OLIVEIRA DE SOUZA SANTOS

ESTUDO E PROJETO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE UMA CALDEIRA COM SUPERVISÃO REMOTA VIA WEB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos
2007

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família e em especial ao meu avô João de Oliveira Blanco pelo apoio, ensinamentos e conforto nas horas em que mais precisei.

Aos meus amigos da república Chapahall, com os quais convivi durante estes cinco anos de graduação.

Também agradeço aos professores e àqueles que participaram diretamente da elaboração do meu projeto de conclusão de curso:

Professor Doutor Dennis Brandão, idealizador do projeto

Técnico do Laboratório de Eletrônica Embarcada Jaime Marini Junior, auxiliou no entendimento e montagem do CPL

Técnico de Manutenção Rui Bertho, auxiliou na montagem do equipamento

Graduando Gustavo de Oliveira de Souza Santos, cooperador no projeto

Graduando Herivelto Cordeiro dos Santos, auxiliou na configuração da rede profibus

Graduando André Farah Sabe, responsável pela estrutura de Lexan

RESUMO

Este projeto consiste na automatização e supervisão computacional de uma caldeira, antes utilizada em uma máquina de café expresso, a partir da utilização de componentes previamente escolhidos utilizando equipamentos como softwares, CLP e sensores existentes no laboratório de automação industrial da EESC-USP.

Com o uso dos softwares de programação de um CLP, em lógica Ladder (IEC 61131-3), é possível realizar a operação automatizada da planta de modo contínuo. Para o aumento do nível de segurança serão tomadas precauções durante a elaboração do programa do CLP, que garantirá um inter-travamento eficiente.

Já com a programação de um software supervisor, com sistemas do tipo SCADA, como o Process View usado nesta aplicação, é possível supervisionar os processos automatizados por meio de IHM conectadas fisicamente à aplicação ou mesmo disponibilizando acesso via *web*, por meio de publicações de arquivos no próprio software supervisor.

Realizaram-se procedimentos de montagem da instrumentação do protótipo com a instalação de equipamentos para aquisição de dados em campo, das ferramentas de segurança e redes de comunicação, entre outros para a realização de testes.

A montagem de uma estrutura para enclausurar a caldeira é importante, pois aumenta a segurança dos indivíduos evitando que o escape indevido de vapor com alta pressão e temperatura, possa ferir algum indivíduo.

Palavras Chave: Caldeira – Sistemas de Automação – Proteção Operacional – Supervisor – Profibus – Web.

ABSTRACT

This project is the automation and computer supervision of a boiler, first used in a machine of coffee, from the use of components previously chosen using equipment such as software, sensors and CLP, that there are in industrial automation laboratory of the EESC - USP.

With the use of the programming software of a CLP in Ladder logic (IEC 61131-3), it is possible to the automated operation of the plant in a continue mode. To increase the level of safety precautions will be taken during the preparation of the program of the PLC, which ensure a efficient inter-locking.

Even with the programming of software of supervision, with the type SCADA systems, such as Process View used in this application, it is possible to monitor the processes automated through IHM connected physically to the application or even providing access through the web, with publications of files that the software criate by itself.

There were procedures for the assembly of the instrumentation prototype with the installation of equipment for data acquisition in the field, of the tools of security and communication networks, among others for the conduct of tests.

The assembly of a structure for isolate the boiler is important, as it increases the safety of individuals avoiding the undue exhaust steam under high pressure and temperature, can injure any individual.

Keywords: Boiler – Automation Systems – Protection Operational – Supervision – Profibus – Web

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama elétrico do projeto.....	4
Figura 2: Diagrama de rede do Projeto.....	6
Figura 3: Lógica Ladder para pressão	7
Figura 4: Lógica ladder de controle de nível.....	8
Figura 5: Lógica ladder de controle da temperatura	9
Figura 6: Ligações, indicador de nível e carcaça, nas duas situações de segurança.	9
Figura 7: Tela do Supervisório.....	11
Figura 8: Diagrama de fluxo da caldeira.....	14
Figura 9: Caldeira sem equipamentos acoplados.....	14
Figura 10: Caldeira enclausurada.....	15
Figura 11: Sistema de Controle	21
Figura 12: Tratamento dos dados de campo.....	23
Figura 13: Sensor de Pressão Diferencial LD303.....	27
Figura 14: Esquema interno do Sensor.....	28
Figura 15: Transmissor de Pressão Absoluta.....	29
Figura 16: Transmissor de Temperatura TT303.....	30
Figura 17: Conexão com o termopar.....	30
Figura 18: Termopar	31
Figura 19: Contator Weg.....	31
Figura 20: Pressostato.....	32
Figura 21: Válvula a solenóide	32
Figura 22: Válvula de segurança.....	33
Figura 23: CLP Master K 120S da LG.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das Caldeiras.....	17
---	----

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
2 METODOLOGIA	3
2.1 Diagrama Elétrico	3
2.2 Diagrama da Rede	5
2.3 Lógica de Controle do CLP	6
2.3.1 Controle da pressão	6
2.3.2 Controle de Nível	7
2.3.3 Controle da temperatura	8
2.3.4 Inter-travamento	9
2.4 Desenvolvimento do Supervisório	10
2.4.1 Tela do Supervisório	10
2.5 Procedimentos de Montagem	13
2.5.1 Montagem da Caldeira	13
3 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS	16
3.1 Caldeiras	16
3.1.1 Classificação das Caldeiras Segundo suas Dimensões	17
3.1.2 Tipos de Caldeiras Elétricas de Vapor de Água	18
3.1.3 Aplicações dos Geradores Elétricos de Vapor de Água	19
3.2 Introdução ao Sistema de Controle	20
3.2.1 Histórico dos CLP's	20
3.2.2 Princípio de Funcionamento	20
3.2.3 Capacidade de um CLP	22
3.3 Introdução a Comunicação dos Sistemas Supervisórios	23
3.3.1 Tratamento de Dados	23
3.3.2 Barramentos industriais	24
3.3.3 Os sistemas do tipo SCADA	25
3.3.4 Interface dos Sistemas SCADA	26
3.3.5 O Cliente Remoto	26
3.4 Descritivo de Equipamentos	27
3.4.1 Sensor de pressão diferencial	27
3.4.2 Transmissor de pressão absoluto	29
3.4.3 Transmissor de Temperatura	29
3.4.4 Termopar	30
3.4.5 Contator	31
3.4.6 Indicadores de nível	31
3.4.7 Pressostato	32
3.4.8 Válvula de entrada de água e saída	32
3.4.9 Válvula de Segurança	32
3.4.10 Controlador Lógico Programável	33
3.4.11 Software Supervisório	33
4 CONCLUSÃO	35
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste na automatização de uma caldeira, antes utilizada como uma máquina de café expresso, tendo várias etapas para a implementação de toda a lógica de controle e supervisão da planta.

Na realização de um projeto de automatização e supervisão de uma planta deve-se primeiramente visualizar quais as variáveis que serão utilizadas no processo. Para isso deve-se estudar o objeto a ser controlado no intuito de entender profundamente o funcionamento do seu processo produtivo.

Estudado este processo de maneira detalhada, faz-se então escolhas do diagrama elétrico e o diagrama de rede utilizado da planta, para uma boa visualização do projeto como um todo.

Sendo assim houve inicialmente a etapa estudo de caldeiras e seu processo de geração de vapor. Deve-se ter também noção das escalas de grandezas nominais da operação da planta, para que seja apurado o nível de segurança necessário na aplicação, principalmente quando são máquinas que trabalhem com pressões e temperaturas muito elevadas, comparadas as aceitáveis para um ambiente de contato humano.

Realiza-se também um estudo prévio dos controladores lógicos programáveis (CLP), para uma boa utilização das lógicas de controle, garantindo uma melhor utilização destes equipamentos.

A escolha dos equipamentos também é uma parte importante do processo de automatização de uma planta industrial, tanto para a aferição das grandezas físicas requeridas para o controle de maneira precisa, mas também para que proporcionassem um segurança na operação dos testes na máquina, seguindo alguns critérios para suas escolhas.

Os critérios foram utilizar os instrumentos e estruturas disponíveis no laboratório de automação industrial, equipamentos para realizar inter-travamentos eletromecânicos, garantindo assim o aumento no nível de segurança, tanto dos equipamentos quanto dos operadores, e escolher equipamentos facilmente comunicáveis com as redes existentes no laboratório de automação industrial.

Os softwares supervisórios são ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de supervisão de controle de processos, pois estes aliam alto desempenho e grande versatilidade representados em seus diversos recursos que facilitam a tarefa de desenvolvimento de uma aplicação. Em sua maioria, são totalmente configuráveis pelo usuário e permitem a monitoração de variáveis em tempo real, através de gráficos e objetos que estão relacionados com as variáveis físicas de campo. Utilizando essas ferramentas também é possível fazer acionamentos, enviar ou receber informações de equipamentos. O software utilizado nesta prática é o Process View que é uma dos aplicativos do System 302, do fabricante Smar.

Os sistemas de supervisão possuem larga utilização nos processos de automatização e supervisão de aplicações industriais, pois oferecem muitos tipos de manipulações das variáveis advindas do campo. Por este motivo foi realizada a confecção de uma tela no software supervisorio, Process View, para a o monitoramento do processo de operação da caldeira de maneira remota, gerando um ambiente amigável ao usuário podendo controlar a máquina com mais segurança. [13]

Durante todas estas etapas fez-se necessário a montagem da estrutura de blindagem e conexões da caldeira, para realizar testes no controle da caldeira de maneira segura.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é de proporcionar uma automatização adequada de uma caldeira, utilizando a programação de softwares para as lógicas do CLP e supervisão do processo, após serem definidos todos os diagramas elétricos e diagramas de rede.

A utilização dos equipamentos presentes no laboratório de Automação industrial da EESC-USP, e a realização da montagem e a instalação do protótipo em uma bancada, também dentro deste laboratório, tem o propósito de deixar uma estrutura para realização de didáticas de ensino, e pesquisas posteriores a esta aplicação.

As práticas de supervisão dos processos industriais e o manual do funcionamento do *software* foi profundamente estudado, visando o desenvolvimento da tela de supervisão.

Uma posterior publicação dos arquivos da tela de supervisão para um cliente remoto também é objeto de estudo deste trabalho.

2 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a realização do projeto, explicando a confecção do diagrama elétrico do processo de controle da caldeira resistiva, no item 2.1, o diagrama de rede utilizado para a aquisição e envio de dados, que será explicado no item 2.2, o desenvolvimento da lógica de controle e inter-travamentos do projeto, explanados nos itens 2.3, e a realização da tela de supervisão do processo por meio de uma IHM (Interface Homem-Máquina), que será compreendida pelo item 2.4, além de descrever alguns procedimentos para a montagem da caldeira na bancada de testes e seu enclausuramento em um recipiente de proteção, no item 2.5.

2.1 Diagrama Elétrico

Nos processos de automação industrial para se obter uma boa visão do mesmo, como um todo, inicia-se o projeto com a elaboração de um diagrama elétrico. Este procedimento ajuda a identificar os dispositivos de campo requeridos, e também deixa claro quais os pontos que necessitam maior atenção para a segurança da operação. A partir do desenho também é possível determinar quantos aparelhos analógicos ou discretos terão no processo.

Para a confecção do diagrama foi necessário um estudo detalhado da norma internacional (ANSI/ISA-S5.1-1992) para que a nomenclatura utilizada mantenha o padrão de qualquer projeto em automação de escala industrial.

O resultado deste estudo é o diagrama mostrado na figura 1.

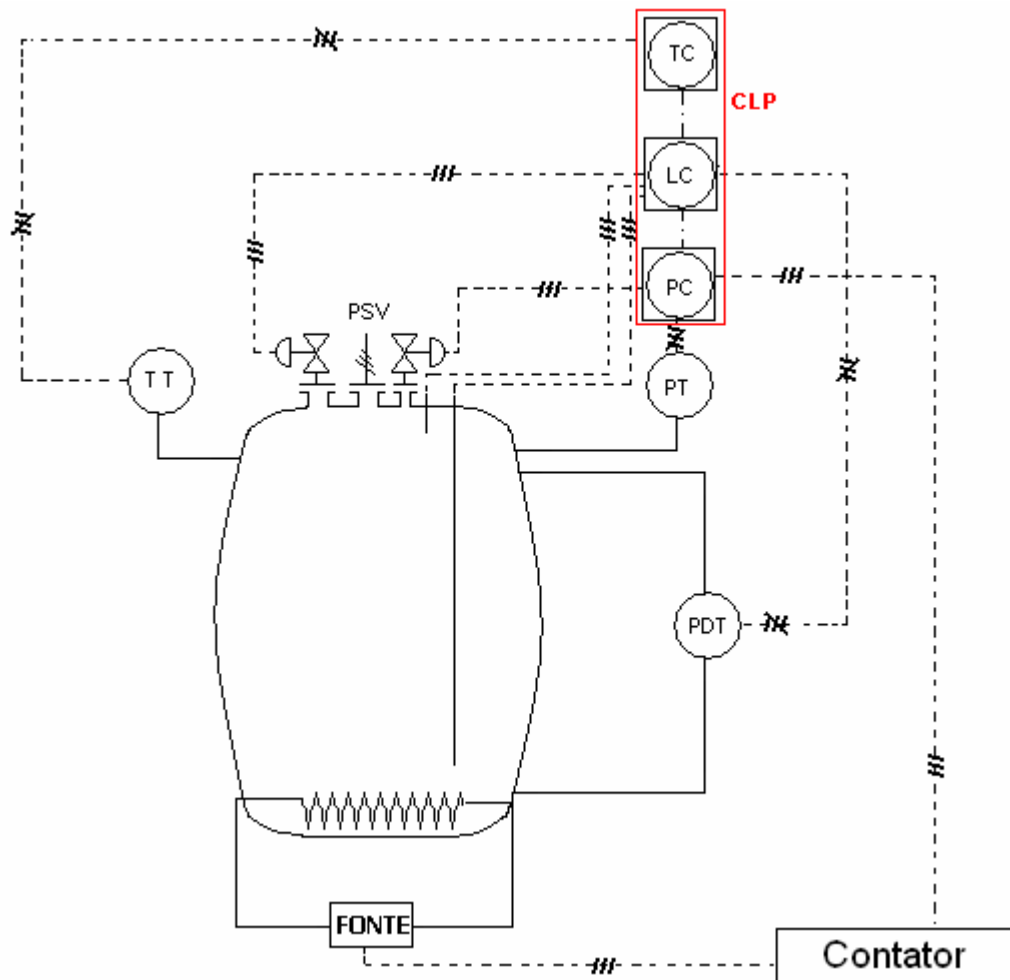


Figura 1: Diagrama elétrico do projeto

A figura 1 mostra o diagrama elétrico com todos os equipamentos utilizados para o controle automático onde serão aplicados e ainda o tipo de conexão que estabelecem com os controladores e caldeira. Serão explicados abaixo os símbolos utilizados no diagrama, Sendo:

Os símbolos TT (transmissor de temperatura) e TC (controlador de temperatura). Com esse conjunto torna-se possível à monitoração e controle da temperatura da planta, pois o bloco de controle atua também sobre o contator como demonstrado com as linhas de conexão elétrica.

Os símbolos LC (controle de nível) e PDT (transmissor de pressão diferencial), que juntos com a válvula de entrada e as duas hastes de nível (máximo e mínimo), melhor descritas no item 2.3, formam o conjunto que monitora e controla o nível de água dentro da caldeira, servindo também para o inter-travamento proposto na lógica ladder presente no item 2.3.1.

Por fim os símbolos PC (controlador de pressão) e PT (transmissor de pressão) que fazem a monitoração e controle sob a válvula de saída, como mostra o diagrama da figura 1, mantendo a caldeira dentro dos parâmetros estipulados, por questão de segurança para os usuários.

Para simplificar o entendimento do diagrama, apresenta-se então a definição vinda da norma (ANSI/ISA-S5.1-1992), que as linhas com três barras paralelas sobre a mesma significa que

é um cabo de energia elétrica e que as linhas com barras paralelas e uma cruzando-as significa cabo de sinal digital.

É ainda interessante focar o detalhe que a união dos blocos PC, LC e TC, constituem o CLP para este sistema, no qual se realiza toda a lógica de controle e acionamentos de abertura das válvulas, entrada e saída, assim como abertura e fechamento do contator de modo a manter o funcionamento da caldeira. dentro dos critérios estabelecidos no projeto, sendo descritos no item 2.3.

2.2 Diagrama da Rede

O diagrama de rede é uma ferramenta importante para o projeto de um controle automático, pois depois de definidas as quantidades de transmissores e sensores utilizados no projeto, pode-se então visualizar com clareza as redes de comunicações existentes, de acordo com os equipamentos escolhidos, também podendo realizar uma pré-análise do diagrama de rede, realizando assim possíveis trocas de transmissores para facilitar a comunicação dos dados. Esta facilidade pode ser notada neste projeto, pois foram utilizados apenas transmissores com o protocolo Profibus-PA.

A figura 2 representa os tipos de comunicação assim como os níveis hierárquicos da automação deste projeto, iniciando pelos transmissores e chegando ao supervisório local e a possível conectividade via web.

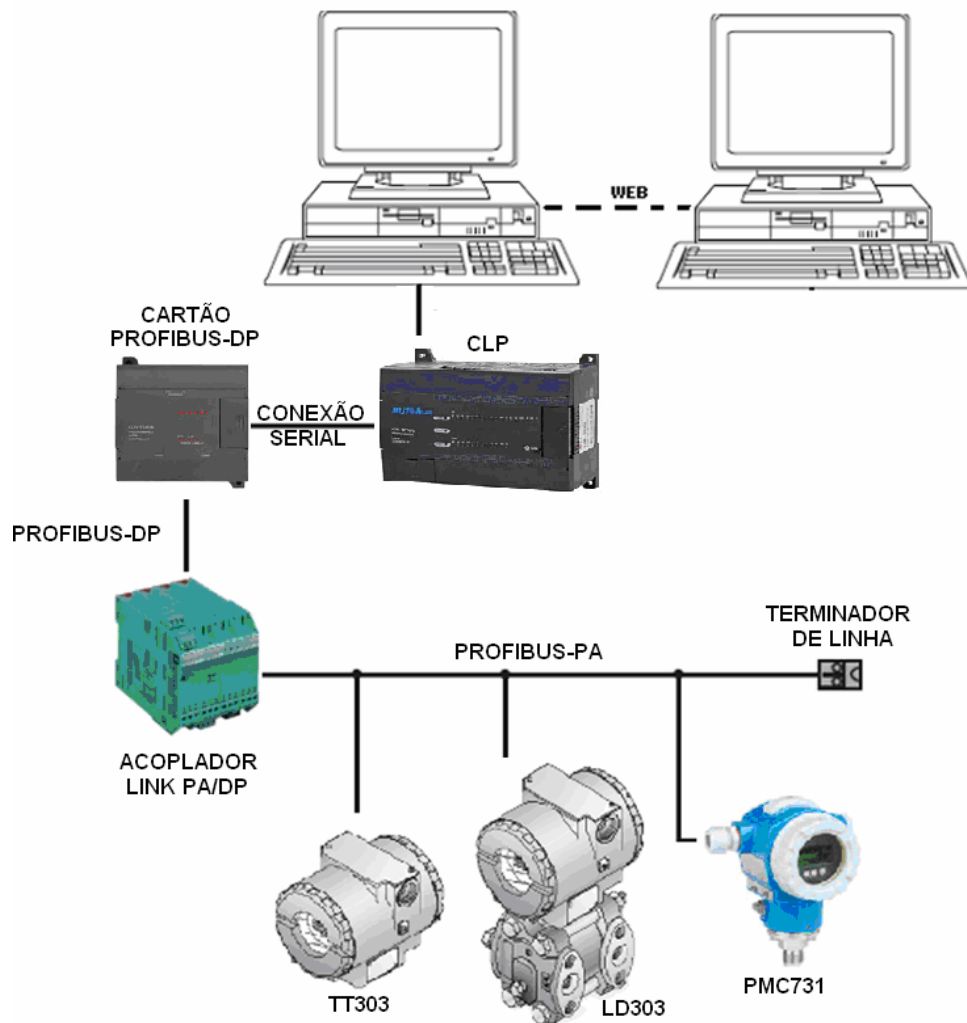


Figura 2: Diagrama de rede do Projeto.

2.3 Lógica de Controle do CLP

Para o funcionamento do CLP é necessária a presença de um programa que define a lógica do controle usado no experimento. Esta lógica possui vários tipos de linguagens possíveis para sua programação. Uma das linguagens de programação de CLP's mais usadas é o diagrama de contatos, ou linguagem ladder.

Serão descritos abaixo os principais passos da lógica, com seus devidos comentários e objetivos:

2.3.1 Controle da pressão

Através de três comparadores faremos o controle da pressão da caldeira. O primeiro deles controla um nível baixo de pressão, portanto assim que o PMC 731 indicar através da memória

D0001 um nível de pressão abaixo de 1 bar, essa linha da lógica torna-se energizada fazendo com que a função *rst* P0041 seja acionada e assim a válvula de saída fecha, salientando que P0041 é uma saída física do CLP que atua na válvula de controle de vazão da caldeira. O segundo comparador é para um nível alto e quando a pressão estiver maior ou igual a 2 bar esta linha estará energizada acionando a função *set* P0041 que abre a válvula de saída liberando vapor.

E o terceiro é um nível de emergência fazendo a resistência desarmar assim que a memória D0001 indicar um valor acima de 2.5 bar seguindo o mesmo padrão de funcionamento dos outros dois comparadores, no entanto com uma função voltada pra um inter-travamento em caso de falha no sistema de abertura da válvula de saída, como por exemplo um rompimento do cabo de controle ou um defeito na válvula a solenóide.

Ainda faz-se necessário a explanação sobre a M0051, que é uma memória interna do CLP que esta na ultima linha da figura 3 desligando a resistência. Essa memória ainda será utilizada em outros trechos do programa, como no item 2.3.2.

A figura 3 é o trecho de lógica em ladder desenvolvido a fim de exercer a função de controlador de pressão:

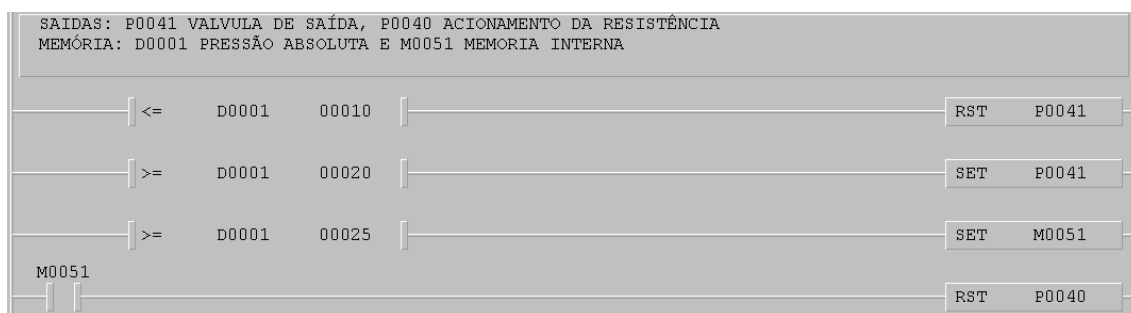


Figura 3: Lógica Ladder para pressão

2.3.2 Controle de Nível

Utilizando o mesmo esquema criado para o controle de pressão, desenvolveu-se o controle de nível, no entanto com as devidas modificações como a memória, que agora é D0002, ou seja, a entrada do medidor de pressão diferencial, previamente trabalhada para indicar o nível correto da água no interior da caldeira. Assim tem-se novamente um conjunto de comparadores sendo que estes atuam diretamente na válvula de entrada da caldeira. O primeiro deles energiza a função *set* P0042 ao detectar um nível de coluna de água inferior a 35 mm, abrindo a válvula de entrada, o segundo comparador inserido ao programa a fim de garantir que caso não exista água a resistência não permaneça ligado o que a danificaria, portanto aciona a função *set* M0051 quando o nível de água for inferior a 25mm.

A terceira linha desliga na válvula de entrada de água assim que o LD303 indicar um nível superior a 150mm, garantindo a estabilidade do sistema.

Ainda nessa parte foi adicionada a lógica a entrada de detecção de nível alto de água, inibindo a ação do primeiro comparador e assim deixando livre para que o controle possa desligar a entrada de água.

Tal trecho da lógica é mostrado na figura 4.

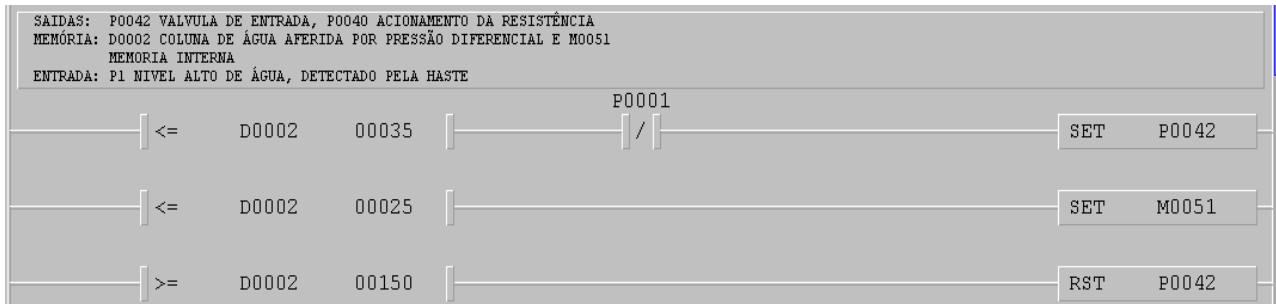


Figura 4: Lógica ladder de controle de nível

2.3.3 Controle da temperatura

Com a utilização de uma entrada digital que indica a temperatura, vinda do TT303, e armazenada na memória D0003, utilizou-se novamente três comparadores para que fosse desenvolvido um sistema de acionamento da resistência *on/off*, que funciona da seguinte maneira. Enquanto o segundo comparador não identificar uma temperatura maior que 105 graus Celsius não energizará a linha em que foi colocado, e assim o primeiro comparador manterá a função *set P0040* e portanto a resistência ligada. Ao passo que o segundo comparador atuar o primeiro comparador será desabilitado pela memória M0050 e a terceira linha será habilitada pela memória M0052, ainda teremos a função *rst P0040* desligando a resistência. Esta somente será religada quando a temperatura atingir um valor inferior a 90 graus. Nesse momento a memória M0050 novamente irá liberar a primeira linha, fazendo com que a resistência seja novamente ligada. A repetição deste ciclo recebe o nome de controle *on/off* e o trecho em que foi desenvolvida a lógica ladder esta na figura 5.

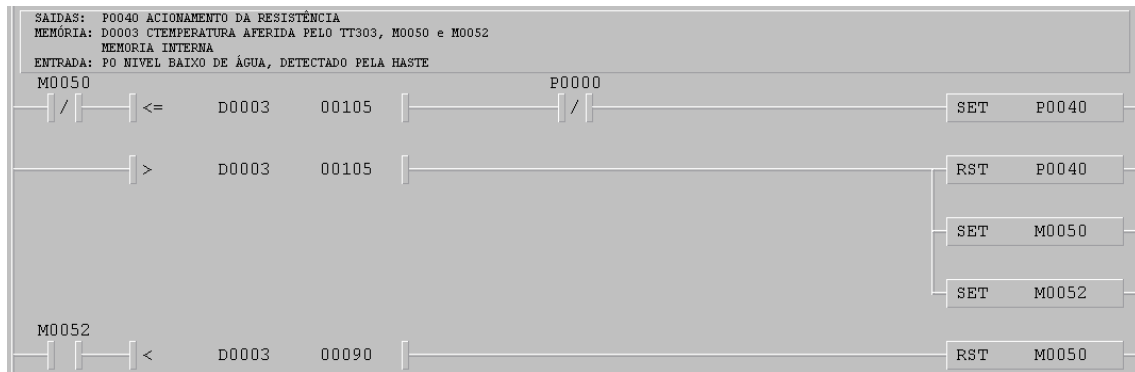


Figura 5: Lógica ladder de controle da temperatura

2.3.4 Inter-travamento

- Digital

O inter-travamento digital, esta contido no programa e foi demonstrado durante este sub-ítem, em que discutiu-se a lógica ladder do controle da caldeira.

- Analógico

As entradas do CLP P0000 e P0001, travas de segurança para o programa, atuam na válvula de entrada e na resistência, através da lógica do CLP. Portanto formam inter-travamento nas linhas da lógica ladder, seu funcionamento e demonstrado na figura 6.

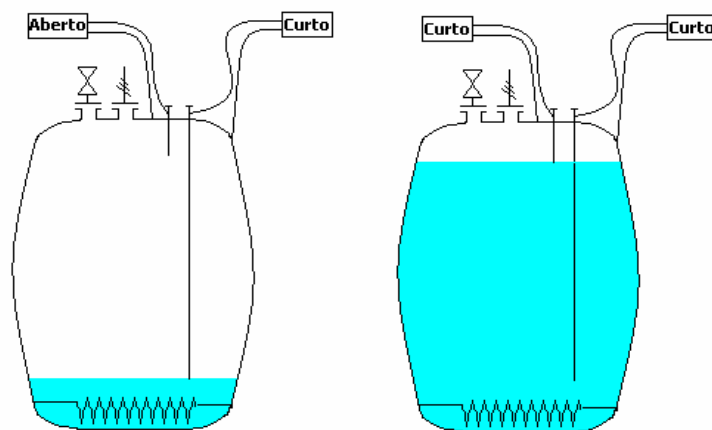


Figura 6: Ligações, indicador de nível e carcaça, nas duas situações de segurança.

Conectadas as entradas do CLP e trabalhadas de forma adequada dentro da lógica, utiliza-se o sinal de contato fechado para a haste menor, indicando que a água chegou ao limite dentro da caldeira, e um sinal de contato aberto para um nível abaixo do estipulado pela haste maior.

2.4 Desenvolvimento do Supervisório

Para a aplicação da supervisão em um processo automático utilizou-se o software Process View, do fabricante SMAR, que utiliza a tecnologia dos sistemas SCADA para a aquisição de dados referentes as variáveis de controle da planta. Este capítulo explicará detalhadamente o funcionamento da lógica de supervisão de acordo com a figura 7, que mostra a tela montada no software supervisório Process View.

Algumas explicações referentes à comunicação dos barramentos industriais, o tratamento de dados pelo *software* com tecnologia SCADA e outros requisitos para o melhor entendimento do processo de confecção da tela de supervisão estão descritas nas subseções seguintes.

2.4.1 Tela do Supervisório

A montagem da tela do supervisório é realizada no aplicativo Process View, em um de seus pacotes integrados, chamado GraphWorkX. Neste pacote existem vários desenhos, em sua biblioteca para a representação do processo, como caldeiras, tubos para representar as conexões, entre vários outros. Porém é possível também inserir desenhos e imagens que retratam melhor os equipamentos utilizados, como se pode perceber pelas figuras dos transmissores e o contator, inseridas na tela, apresentada na figura 7.

Nesta mesma figura 7, temos também equipamentos que estarão representados de forma animada, indicando seu estado no processo. São esses, as válvulas solenóides de entrada e saída e resistência. O funcionamento destas figuras é feito relacionando as tags, endereços associados a um dispositivo do sistema, com o intuito de visualizá-las ativas ou inativas. Nos próximos itens serão explicados os procedimentos feitos no software para a confecção da tela. Lembrando que as situações para o acionamento das variáveis do processo, assim como suas memórias no programa do CLP já foram estabelecidas no item 2.3, sendo apenas associadas as tags desta aplicação.

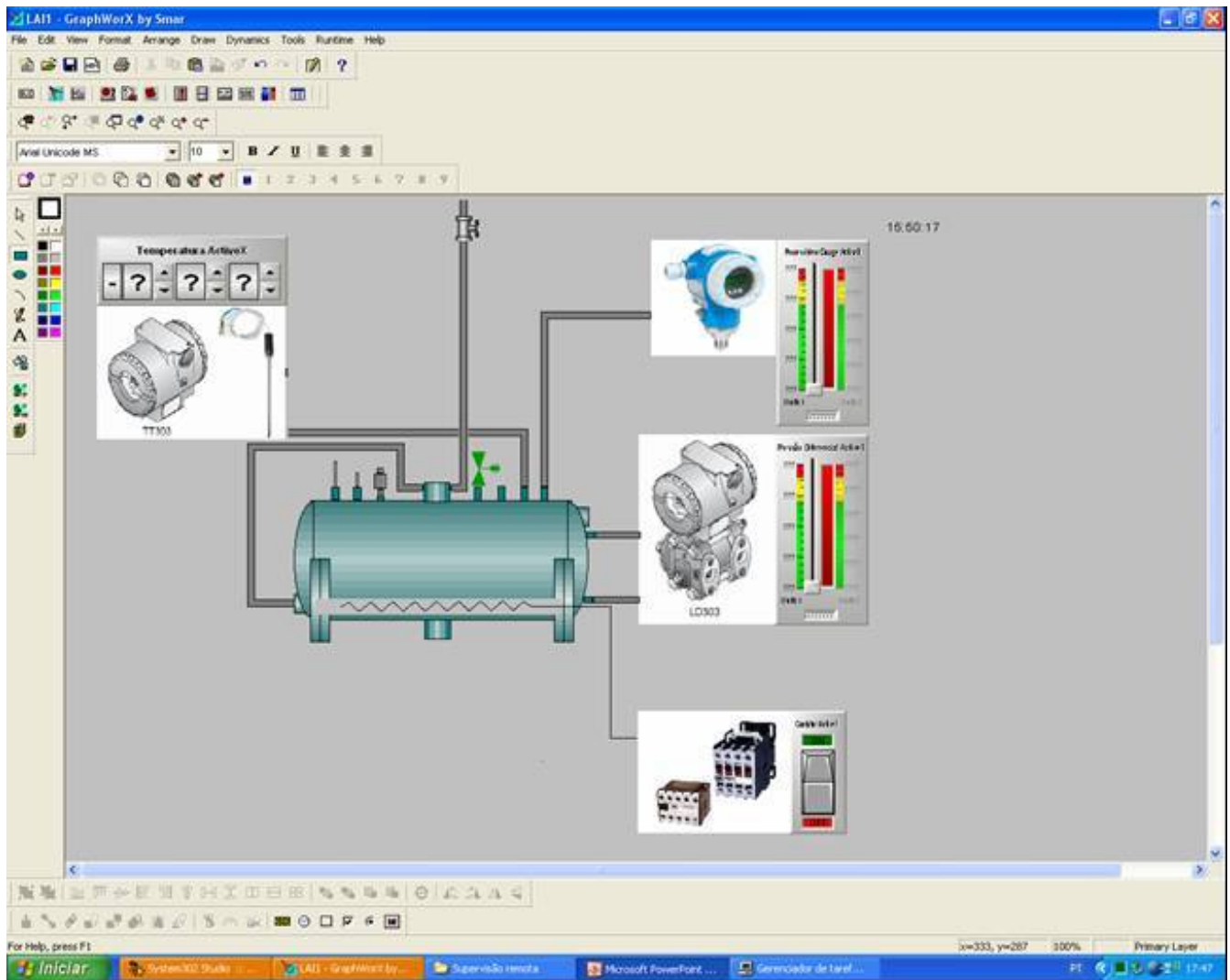


Figura 7: Tela do Supervisório

2.4.1.1 Figuras da Resistência

O sinal, da memória P0040, é relacionado ao tag do contator, pois quando a resistência estiver ligada, o contator estará com seus contatos fechados, devido ao sinal em nível lógico 1 vindo do CLP, que fica armazenado na respectiva tag. Caso contrário a resistência está desligada e os contatos do contator estão abertos, e o CLP enviará um sinal de nível lógico 0 a tag.

Há duas figuras ilustrativas na tela do supervisório sobrepostas, uma com a resistência em preto e a outra em vermelho (não sendo visualizada na figura 7), que simbolizam a resistência desligada e ligada respectivamente. A figura em preto é ativada quando o tag recebe nível lógico 0 e desativa a figura em vermelho, já com a tag recebendo nível lógico 1 a figura em preto é desativada e a em vermelho é ativada.

2.4.1.2 Figuras da Válvula de Entrada e Saída

Estas válvulas têm o mesmo princípio de funcionamento das figuras da resistência, figura da válvula de saída em verde (na figura 7) e a figura da válvula de entrada em cinza, quando estas estão sem o acionamento da bobina solenóide, portanto abertas com a tag em nível lógico 0. Já em situação de acionamento da bobina solenóide, com a tag em nível lógico em nível lógico 1, a figura das válvulas de entrada e saída, ficam ambas em vermelho.

A tag da válvula de entrada é relacionada a variável P0042 na lógica do CLP, assim como a tag da válvula de saída é relacionada a variável P0041 na lógica.

2.4.1.3 Botão ON/OFF

O botão on/off é representado através de um figura com extensão “.gif” que automaticamente retorna o estado da chave do contator, já descrita no item 2.4.1.1 como sendo relacionada a variável P0040 da lógica Ladder.

O botão é um objeto que já vem pré-moldado pelo software, tendo apenas que associar a uma tag e alterar as escalas de acordo com a sua aplicação, assim como as barras e o display, mostrada na figura 7.

2.4.1.4 Barra de Pressão

A barra de pressão faz uma representação do sinal recebido pela tag, referente ao transmissor de pressão absoluta, memória D0001 da lógica, numa escala de referência configurada pelo usuário, de 0 a 3 bar no caso deste projeto, onde pode ser feito alterações de escalas intermediárias para um melhor visualização desta variável.

2.4.1.5 Barra de Nível

A barra de nível faz uma representação do sinal recebido pela tag, referente ao transmissor de nível, memória D0002 da lógica, numa escala de referência configurada pelo usuário, de 0 a 160 mm no caso deste projeto, sendo a barra maior que a prevista pela lógica podendo monitorar uma falha do sistema de controle.

2.4.1.6 Display de Temperatura

O display de temperatura faz uma interpretação do sinal recebido pela tag, referenciando o transmissor de temperatura, na escala configurada pelo usuário, que no caso desta aplicação é de 0 a 120 graus.

2.5 Procedimentos de Montagem

Para iniciar as práticas laboratoriais houveram várias etapas, pois o equipamento não estava montado e não havia nenhum espaço físico reservado, e devidamente seguro para receber os testes. Com esta situação foi necessária a alocação do equipamento no laboratório de automação e juntamente com isso foi verificada a real necessidade de isolar o equipamento do contato humano, pois a caldeira em ocasiões de falha ou mesmo em pressões nominais oferece risco de queimaduras ou até explosões, e esta é uma preocupação que deve ser avaliada em qualquer circunstância tanto num laboratório quanto no “chão de fábrica”.

Partindo dessas como as premissas para o início do trabalho, os processos realizados são descritos nas subseções seguintes.

2.5.1 Montagem da Caldeira

Para a montagem, foi necessário obter um conhecimento do funcionamento de uma caldeira de pequeno porte, conhecendo o fluxo da água e do vapor no interior desta caldeira em particular.

Um ponto bastante intrigante do projeto é a entrada de água sem que seja utilizada uma bomba de pressão. A solução encontrada para esta caldeira foi a utilização de duas válvulas anti-retorno que são instaladas antes da entrada de água no bulbo e a outra, entre a saída de água no bulbo e a entrada de água na caldeira. A função destas válvulas é que após a entrada de água no bulbo, o aquecimento gere uma pressão maior que a da água proveniente do sistema de abastecimento local, sendo assim válvula anti-retorno da entrada do bulbo se fecha, deixando a pressão interna do mesmo subir. Quando a pressão interna do bulbo for maior que a pressão interna da caldeira a válvula anti-retorno presente entre o bulbo e a caldeira permitirá a passagem de água e isto acontecerá até que a pressão da caldeira volte a ser maior que a pressão no bulbo.

Sendo assim foi determinado o fluxo da água conforme indicado na figura 8:

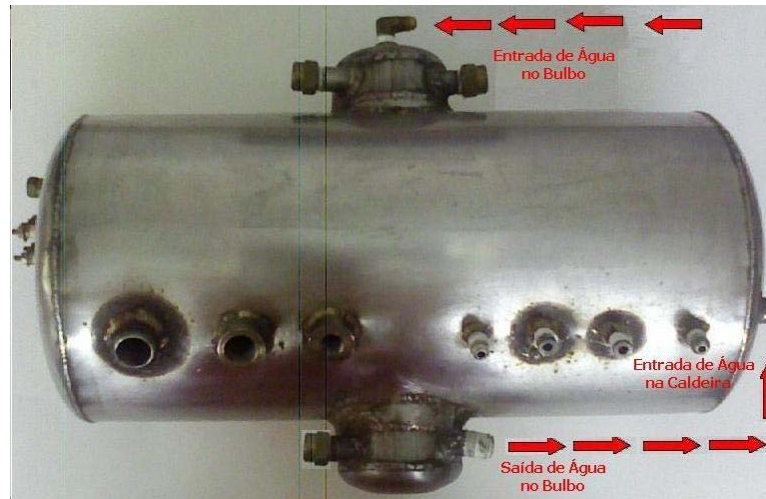


Figura 8: Diagrama de fluxo da caldeira.

Para a realização dos experimentos, com maior facilidade e segurança, foi necessária a fixação desta caldeira numa base metálica, assim como a montagem de todo o isolamento da caldeira com um revestimento de Lexan, um polímero de alta resistência a choques mecânicos.

Na figura 9 segue a fotos da caldeira sem nenhum equipamento acoplado e na figura 10 o a caldeira já enclausurada:



Figura 9: Caldeira sem equipamentos acoplados.



Figura 10: Caldeira enclausurada.

3 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS

Este capítulo aborda a descrição dos equipamentos e softwares para o melhor entendimento das decisões tomadas ao longo do projeto. A caldeira por ser o equipamento que se deseja controlar, instalando-se toda a malha de controle por meio de transmissores e equipamentos de inter-travamento e segurança, teve inicialmente um estudo bem detalhado de suas características, tipos e aplicações e serão descritas no item 3.1.

O CLP é o equipamento que executa o efetivo controle das variáveis do processo conforme explicado no item 2.3, portanto realizou-se um estudo mais detalhado de seu princípio de funcionamento e algumas características, apontadas no item 3.2, a fim de que, dentre todos os seus parâmetros e aplicações, fosse escolhido um que atendesse àquilo que a planta necessita.

Para o maior entendimento dos aspectos relacionados à comunicação dos dados utilizando a tecnologia dos sistemas supervisórios do tipo SCADA, será detalhado no item 3.3 o tipo de barramento utilizado e suas características, o fluxo de dados, desde a aquisição de dados até o banco de dados do servidor, sua possível interface via *web* e as interfaces necessárias para a confecção da tela do supervisório, já descrito no item 2.4.

Assim o esclarecimento dos equipamentos utilizados contendo as especificações de fabricação e princípios de funcionamento, de acordo com a importância de cada um no processo, serão descritos no item 3.4.

3.1 Caldeiras

A geração de vapor é feita pelo aquecimento de água contida em um recipiente fechado (caldeira) que, ao atingir o estado de vapor, é direcionada e controlada através de válvulas e canalizações para os devidos fins de utilização [1].

Caldeira é um recipiente metálico cuja função é a produção de vapor através do aquecimento da água. As caldeiras em geral são empregadas para alimentar máquinas térmicas, autoclaves para esterilização de materiais diversos, cozimento de alimentos através do vapor, ou calefação ambiental [1].

As características das caldeiras são [1]:

- Potência térmica específica (kcal/kg);
- Máxima pressão operativa (bar);
- Temperatura e pressão do fluido;
- Superfície aquecida usada para radiação e convecção (m²);

- Carga de calor por unidade de volume, no tempo (kcal/hm³).

A potência térmica pode ser definida a partir das diferentes condições de carga:

- Carga reduzida;
- Carga normal;
- Máxima carga contínua;
- Carga máxima.

Além destas características, pode-se classificar as caldeiras segundo suas dimensões conforme será visto no item 3.1.1.

3.1.1 Classificação das Caldeiras Segundo suas Dimensões

As caldeiras podem ser classificadas em 3 categorias básicas, de acordo com a potência e pressão, e também de acordo com a dimensão da superfície aquecida:

Tabela 1: Classificação de caldeiras. [1]

Características	pequenas	médias	grandes
	monobloco pré-fabricadas transportáveis	pré-fabricadas adaptáveis a condições especiais	fabricadas para casos específicos
Pressão	20 bar	100 bar	365 bar
Temperatura	450 °C	520 °C	655 °C

3.1.1.1 Evolução das Caldeiras Pequenas e Médias

A demanda de novas caldeiras, nos últimos anos, provocou um aumento do desenvolvimento tecnológico no projeto e nos processos de sua fabricação.

A evolução responde entre outros fatores pela automatização dos processos de fabricação. Estas evoluções podem ser resumidas como [2]:

- Aumento da potência térmica de cada unidade;
- Aumento da pressão e temperatura de trabalho;
- Aumento do rendimento;
- Aumento da flexibilidade da carga;
- Redução das dimensões.

Esta evolução é resultado da melhora da tecnologia de fabricação:

- Adoção de solda nos engates, junções etc.;
- Uso de paredes estreitas formadas por tubos soldados;
- Redução do diâmetro interno dos tubos;
- Integração do recuperador de calor;
- Automação dos processos de fabricação.

Para a geração de vapor, existem caldeiras de vários tipos que serão brevemente definidas no item 3.1.2.

3.1.2 Tipos de Caldeiras Elétricas de Vapor de Água

São três os tipos fundamentais de geradores elétricos para geração de vapor de água, abaixo seguem suas características principais.

Caldeiras Elétricas tipo Resistência: São caldeiras nas quais o calor é dissipado por efeito Joule, das resistências imersas aquecendo a água. São ideais para unidades de pequeno porte, onde é baixa a necessidade de vapor (em média 3.500 kg/h). Quanto a pressão de trabalho pode variar até 20 kgf/cm².

O rendimento do gerador elétrico de vapor, é muito elevado em uma faixa de 95 a 99,5%. O controle de carga nos geradores elétricos de vapor à resistência é feito por sensores de pressão (produção de vapor) e de temperatura (aquecimento de água), quando estas tiverem pequena capacidade [1].

Caldeiras Elétricas tipo Eletrodo Submerso: São constituídas basicamente por três eletrodos adequadamente dispostos, um por fase, montados verticalmente e suportados na parte superior da caldeira por meio de buchas isolantes na entrada de corrente. Os contra-eletrodos são montados solidamente fixados ao casco da caldeira. A corrente elétrica passa através da água na parte inferior da caldeira entre o eletrodo e o contra- eletrodo, aquecendo a água e produzindo vapor que sobe. São supridas em baixa e em alta tensão, possuem elevado rendimento térmico, podendo produzir elevadas vazões de vapor. Operam com pressões que variam de 5 a 20 kgf/cm² [1].

Caldeiras Elétricas tipo Jato de Água: A água colocada na parte inferior do corpo da caldeira é injetada por uma bomba de circulação interna até a parte superior da mesma, na qual estão montados aspersores de água. Os diversos jatos de água formados pelos aspersores fluem por

gravidade contra os eletrodos criando diversos caminhos para a passagem de corrente elétrica. Os três eletrodos (ou três grupos de eletrodos) correspondentes a cada fase, são dispostos verticalmente, em círculo rodeando a parte superior da caldeira, na parede da qual estão montados os conjuntos de injetores.

As pressões de trabalho variam de 5 a 30 kgf/cm². Facilidade de controle desde 0% a 100% de carga, uma vez que, os primeiros jatos liberados são os da parte superior do coletor central com uma boa pressão estática. O tempo de partida a frio é muito curto, não necessitando pré-aquecimento de água [1].

Essas caldeiras possuem várias aplicações, e o item 3.1.3 descreve algumas.

3.1.3 Aplicações dos Geradores Elétricos de Vapor de Água

Há uma vasta aplicação de caldeiras elétricas de vapor de água, nos diversos setores industriais. Aqui estão alguns setores que o utilizam em seu processo produtivo:

- Indústria têxtil;
- Indústria do fumo;
- Indústria de papel e celulose;
- Indústria química e farmacêutica;
- Indústria de refrigerantes;
- Indústria metalúrgica;
- Indústria automobilística;
- Hospitais;
- Centrais nucleares;
- Indústria alimentícia;
- Indústria vinícola, sucos de frutas, cervejarias;
- Indústria de conservas, chocolates;
- Indústria de plástico, borracha;
- Apoio a sistemas que utilizam energia solar para aquecimento de água;
- Calefação, entre outros.

3.2 Introdução ao Sistema de Controle

3.2.1 Histórico dos CLP's

O Controlador Lógico Programável (CLP) foi criado praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na Hydronic Division da General Motors , em 1968, devido a grande dificuldade de mudar a lógica de controle nos painéis de comando a cada alteração na linha de montagem. Tais mudanças implicavam em altos gastos de tempo e dinheiro. Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi preparada uma especificação que refletia as necessidades de muitos usuários de circuitos à reles, não só da indústria automobilística, como de toda a indústria manufatureira [3].

Foi devido a esta necessidade de mercado que foram criados os CLP's, pois estes equipamentos começaram a mostrar uma versatilidade e praticidade muito maior que os painéis antigos, apesar de, no início, serem rústicos na sua estrutura de programação.

Com seu aprimoramento constante foram realizadas mudanças significativas, como a variedade de tipos de entradas e saídas, o aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das informações e principalmente o modo de programação e a interface com o usuário, que foram sendo cada vez mais aceitos nos setores industriais.

3.2.2 Princípio de Funcionamento

A atuação de um controlador pode ser representada graficamente como um fluxo de informações entre módulos com funções distintas. Na figura 11, um módulo de monitoração obtém uma informação proveniente do processo e envia ao controlador, este procedimento pode conter várias etapas. O controlador recebe esta informação, toma decisões e comunica a um elemento final a ação a ser tomada, que por sua vez, interfere em alguma condição de processo a fim de controlá-lo corretamente, seguindo o programa do usuário.

O princípio de funcionamento do CLP segue uma rotina de varredura do programa para a atualização das entradas e ajustes na saída, como pode ser visualizado na representação simplificada da figura 11.

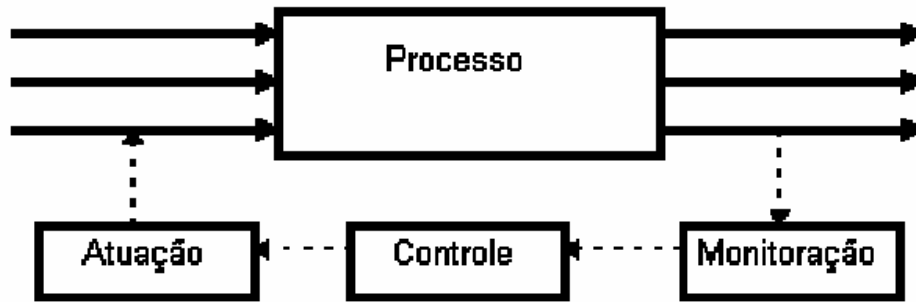


Figura 11: Sistema de Controle [4]

As subseções seguintes listam a sequência de funcionamento de um CLP.

3.2.2.1 Inicialização

No momento em que é ligado o CLP, o mesmo executa uma série de operações pré-programadas, gravadas em seu Programa Monitor [3]:

- Verifica o funcionamento eletrônico da CPU, memórias e circuitos auxiliares;
- Verifica a configuração interna e compara com os circuitos instalados;
- Verifica o estado das chaves principais (*RUN / STOP*);
- Desativa todas as saídas;
- Verifica a existência de um programa de usuário;
- Emite um aviso de erro caso algum dos itens acima falhe.

3.2.2.2 Verificação do estado das entradas

O CLP lê os estados de cada uma das entradas, verificando se alguma foi acionada. O processo de leitura recebe o nome de Ciclo de Varredura (*Scan*).

3.2.2.3 Transferência para a memória

Após o Ciclo de Varredura, o CLP armazena os resultados obtidos em uma região de memória chamada de Memória Imagem das Entradas e Saídas. Ela recebe esse nome por ser um espelho do estado das entradas e saídas. Essa memória será consultada pelo CLP no decorrer do processamento do programa do usuário para o controle do processo.

3.2.2.4 Comparação com o programa do usuário

O CLP ao executar o programa do usuário, primeiramente consultando a Memória Imagem das Entradas, atualiza o estado da Memória Imagem das Saídas, de acordo com as instruções definidas pelo usuário em seu programa, monitorando as variáveis para que não estejam fora dos padrões definidos anteriormente.

3.2.2.5 Atualização do estado das saídas

O CLP escreve o valor contido na Memória das Saídas, atualizando as interfaces ou módulos de saída. Este processo é repetido ininterruptamente iniciando-se então, um novo ciclo de varredura.

3.2.3 Capacidade de um CLP

Podemos ressaltar que com a popularização dos micros-controladores e a redução dos custos de desenvolvimento e produção, houve uma avalanche no mercado de CLP's, os quais podem-se dividir em [3]:

Nano e Micro - C.L.P.s

São CLP's de pouca capacidade de E/S (máximo 16 Entradas e 16 Saídas), normalmente digitais, composto de um módulo, visando baixo custo, porém com reduzida capacidade de memória [3].

CLP's de Médio Porte

São CLP's com uma capacidade de Entrada e Saída de até 256 pontos, digitais e analógicas, que são formados por um módulo básico expansível. Costumam permitir até 2048 passos de memória, que podem ser interna ou externa [3].

CLP's de Grande Porte

Os CLP's de grande porte se caracterizam por uma construção modular, constituída por uma Fonte de alimentação, CPU principal, CPU's auxiliares, CPU's dedicados, módulos de E/S digitais e Analógicos, Módulos de E/S especializados, Módulos de Redes Locais ou Remotas, entre outros, que são agrupados de acordo com a necessidade e complexidade da automação. Permitem a utilização de até 4096 pontos de E/S. São montados em um *rack* que permite um cabeamento estruturado [3].

3.3 Introdução a Comunicação dos Sistemas Supervisórios

O tratamento dos dados, para que os processos de modificações das variáveis da planta sejam supervisionados pela tela de IHM, possuem várias etapas. Para que essas sejam melhor entendidas haverá uma explanação destas etapas. Sendo elas sobre os barramentos industriais e os servidores do tipo OPC, utilizados nesta aplicação pelo sistema de supervisório do tipo SCADA.

Este sistema também é objeto de estudo no item 3.3.3 deste sub-item, sendo descritas características e aplicações do banco de dados para operações de supervisão mais extensas.

3.3.1 Tratamento de Dados

As variáveis de entrada e saída do campo são recebidas e enviadas por meio do CLP. O sistema de supervisão tem acesso as variáveis deste, através de um *driver* de comunicação. Estas variáveis podem ser: entradas analógicas (AI's), entradas digitais (DI's), saídas analógicas (AO's) ou ainda saídas digitais (DO's). O mesmo sistema de supervisão também tem acesso às variáveis de uma rede através de uma interface OPC.

O supervisório trata as variáveis do processo, sejam elas oriunda de um PLC (via *driver*) ou oriunda de uma interface com a base de dados industrial (OPC - Ole for Process Control) como se fossem tags, utilizadas no programa para a aplicação na caldeira.

Dessa maneira, estratégias de controle, relatórios, tendências, receitas, históricos, manipulação de escalas, entre outras tarefas são possíveis com as variáveis do processo, gerando uma grande flexibilidade de configuração para o usuário.

Utilizando este mesmo supervisório pode-se acessar os dados de uma planta via *web*, utilizando um *gateway* para estabelecer conexão entre o cliente remoto e o servidor.

Este fluxo de informações é retratado pela figura 12.

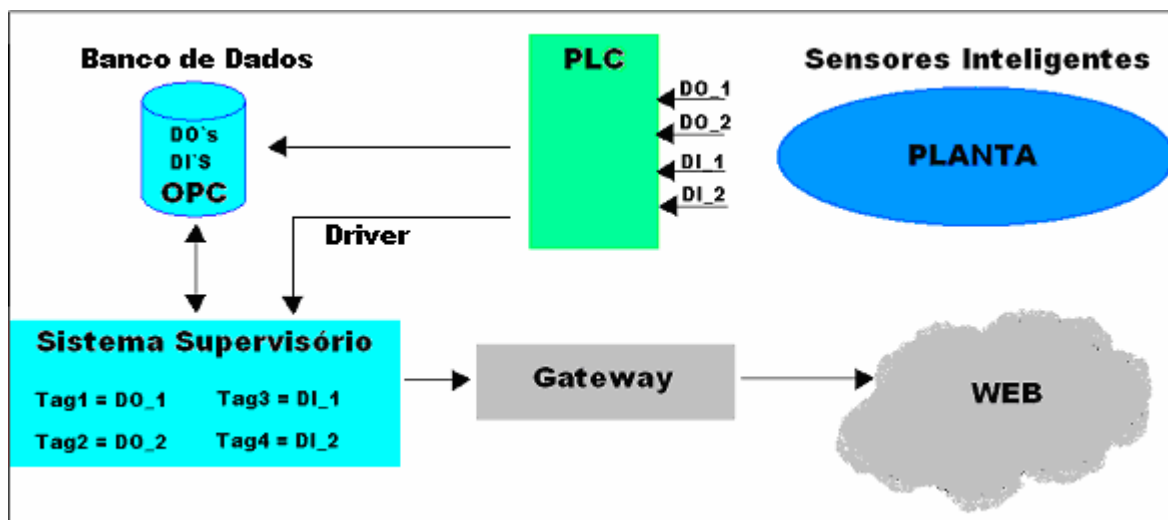


Figura 12: Tratamento dos dados de campo.

Para tanto se torna importante um entendimento sobre os tipos de comunicação entre o CLP e as variáveis de campo, portanto detalha-se essa estrutura presente na figura 12 no item 3.3.2.

3.3.2 Barramentos industriais

Os barramentos industriais são os responsáveis pela automação de sistemas de manufatura, processos contínuos e até mesmo pela interligação de níveis de análise e otimização em fábricas.

O aumento do uso de microprocessadores levou os fabricantes de dispositivos industriais a adotarem métodos e características de comunicação de seus instrumentos baseados em protocolos abertos, ou seja, protocolos que tem suas especificações divulgadas ou disponíveis no mercado, permitindo então que sistemas de diferentes fabricantes possam trocar dados entre si.

Os barramentos industriais baseiam-se, de maneira geral, no modelo de referência ISO/OSI (*International Standard Organization's/Open System Interconnect*) com sete camadas que foi desenvolvido como uma arquitetura modelo para protocolos de comunicação abertos [4].

3.3.2.1 Classificação de barramentos e protocolos industriais quanto aos Dispositivos Conectados

Em relação aos dispositivos conectados em um barramento de automação industrial, podem-se dividir os protocolos utilizados no projeto em dois tipos:

Device Bus: Barramento industrial que envolve dispositivos que manipulam grandezas analógicas. Este barramento se caracteriza por apresentar diagnóstico simples de seus dispositivos e mensagens com tamanho superior a 32 bytes. Estes barramentos são aplicados aos processos de manufatura devido ao tamanho das mensagens disponibilizadas por seus componentes. Sendo os principais representantes deste: Devicenet, **Profibus DP (Process Fieldbus – Decentralized Periphery)** e Interbus-S são alguns destes barramentos. [4]

Fieldbus: Barramento industrial que envolve dispositivos com alguma inteligência associada, entre eles pode-se citar os dispositivos de instrumentação e atuação microprocessados, os *Smart Devices*. Este tipo de barramento se caracteriza pela grande capacidade de diagnóstico e processamento de seus dispositivos e mensagens algumas vezes com tamanho superior a 1000 bytes. Estes barramentos são aplicados ao controle de processos contínuos, pois realizam a medição e atuação de grandezas analógicas. Sendo os principais representantes deste: Foundation Fieldbus, LonWorks, **Profibus-PA (Process Fieldbus – Process Automation)**, World FIP (Factory

Implementation Protocol), Hart (Highway Addressable Remote Transducer) e Fast Ethernet são alguns destes barramentos. [4]

3.3.3 Os sistemas do tipo SCADA

Os supervisórios podem ser vistos como sistemas que supervisionam e controlam processos executados em uma planta industrial através da visualização de variáveis advindas dos barramentos de campo, citados no item 3.3.2, bem como a visualização das ações tomadas e configuração da estratégia de controle [4].

Tal sistema é baseado nas tags, nomes que associam um endereço ou registrador de um dispositivo ao sistema de supervisão e controle, como unidade básica de dados.

Os sistemas SCADA possuem um ambiente integrado de desenvolvimento que possui editor de gráficos, editor para banco de dados, relatórios, receitas e editor de *scripts*. Além destas funcionalidades, possui geralmente ferramentas para desenvolvimento de *drivers* de comunicação.

Um sistema de supervisão e controle é desenvolvido de acordo com as exigências de cada sistema de automação industrial. A escolha de uma ferramenta de desenvolvimento para um sistema de supervisão pode ser baseada nos pontos citados a seguir:

- Comunicação com os dispositivos do meio industrial;
- Aquisição de dados do meio industrial;
- Interface gráfica para o usuário remoto;
- Sistema de intertravamento entre os processos;
- Geração de históricos do meio industrial em formato texto;
- Geração de tendências de topo e históricas para os processos em formato gráfico;
- Geração de alarmes para os processos;
- Geração de páginas dinâmicas para a Internet;
- Interface com base de dados relacional;
- Sistema de intertravamento de processos para usuários remotos.

O sistema supervisório, Process View, utilizado nesta aplicação contém todos os pontos citados, porém algumas ferramentas não serão utilizadas neste trabalho, pois não estavam presentes no escopo do projeto.

Dentro do processo de controle os sistemas SCADA localizam-se na parte de mais alto nível, sendo usados extensivamente na indústria. Suas aplicações costumam ir de algumas centenas de pontos de entrada e saída até vários milhares de pontos de entrada e saída [4].

O crescimento da Internet nos últimos anos tem tido um considerável efeito no desenvolvimento industrial. Uma das razões principais desse crescimento foi o desenvolvimento do serviço *web*. Com ele os programas de navegação puderam disponibilizar interfaces gráficas onde o usuário pode remotamente comandar sua navegação ou mesmo executar tarefas sobre um processo de controle [4].

3.3.4 Interface dos Sistemas SCADA

Os sistemas SCADA utilizam muitas tecnologias abertas como meio de desenvolvimento de aplicações, entre elas pode-se citar: [4]

- APIs;
- OPC Client e Server; (utilizada na aplicação)
- ODBC (OLEDB);
- ActiveX;
- Web; (utilizada na aplicação)
- DDE (Dynamic Data Exchange).

Com estas tecnologias, a interface dos sistemas SCADA com outras aplicações se torna possível.

O supervisão deste projeto tem a característica de ser cliente OPC. O OPC é uma base de dados que funciona como o servidor da aplicação. Através deste sistema é possível a importação desta base de dados do processo e sua posterior configuração dentro de uma aplicação.

3.3.5 O Cliente Remoto

Na estrutura proposta, o cliente remoto estabelece comunicação com o servidor local da aplicação através de um *gateway*, que no caso desta aplicação é configurado no próprio ProcessView.

A troca de dados entre os sistemas SCADA e os clientes *web* pode ser feita de várias maneiras. Os dados do processo podem ser armazenados em bases de dados maiores e mais robustas, como por exemplo, os servidores de dados SQL. Tal armazenamento pode ser feito tanto de maneira local como de maneira remota, configurando assim um servidor remoto de dados da aplicação.

Ou então, os dados podem ser trocados dinamicamente com outras aplicações utilizando-se dos tags do OPC server, facilitando o acesso dos clientes *web* aos dados do processo.

3.4 Descritivo de Equipamentos

3.4.1 Sensor de pressão diferencial

Com o uso desta ferramenta é possível saber com exatidão o nível de água dentro da caldeira, muito importante para o controle do sistema, evitando assim que esta fique vazia e danifique a resistência ou fique cheia, o que pode gerar um aumento excessivo da pressão.

O dispositivo utilizado no experimento é do fabricante Smar modelo LD 303, conforme ilustrado na figura 13.

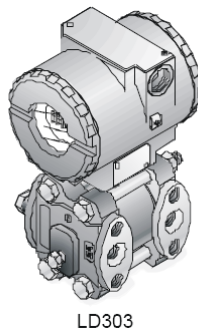


Figura 13: Sensor de Pressão Diferencial LD303. [5]

Segue abaixo os dados fornecidos pelo fabricante: [5]

- Exatidão de $\pm 0,04\%$;
- Faixa de operação 0 a 40 MPa (0 a 5800 psi);
- Pressão estática de até 52 MPa (7500 psi);
- Parametrização e calibração remota;
- Linearização para tanque;
- Indicação digital alfanumérica;
- Unidade do usuário configurável;
- Ajuste local configurável;
- Protocolo de comunicação: PROFIBUS-PA.

- Corrente de consumo de 12mA;
- Integração ao Simatic PDM;

A figura 14 mostra o esquema da célula capacitiva. O funcionamento do LD303 utiliza a medição de pressão por leitura capacitiva, e é realizado da seguinte forma:

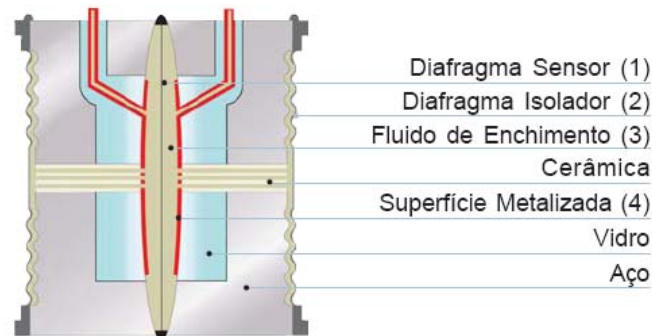


Figura 14: Esquema interno do Sensor. [5]

No centro da célula está o diafragma sensor (1). Este diafragma flexiona-se em função da diferença de pressões aplicadas ao lado direito e esquerdo da célula. Essas pressões são aplicadas diretamente aos diafragmas isoladores (2), os quais fornecem resistência contra corrosão provocada por fluidos de processos. A pressão é diretamente transmitida ao diafragma sensor através do fluido de enchimento (3), provocando a sua deflexão.

O diafragma sensor é um eletrodo móvel. As duas superfícies metalizadas (4) são eletrodos fixos. A deflexão do diafragma sensor é percebida através da variação da capacitância entre os dois eletrodos fixos e o móvel.

Mede-se a diferença da pressão entre dois pontos, um localizado na parte lateral superior da caldeira, onde será verificado a pressão do vapor de água no interior da mesma, e o outro localizado lateralmente no nível mais baixo, onde a pressão aferida será a pressão do vapor de água somada a pressão que a coluna de água exerce neste ponto. Portanto subtraindo-se a pressão da parte inferior pela pressão na parte superior é possível obter qual a pressão exercida pela coluna de água.

Segundo a equação da estática dos fluidos, a diferença de pressão tem relação com a altura da coluna do fluido, no caso a coluna de água, como pode-se verificar na equação (1):

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \mu g \Delta h \quad (1)$$

Onde:

Δp – Variação da pressão

- p_1 – Pressão na parte inferior
- p_2 – Pressão na parte superior
- μ – Massa específica do fluído
- g – Aceleração da gravidade
- Δh – Variação da altura

3.4.2 Transmissor de pressão absoluto

Este transmissor é muito importante para o experimento, pois com os dados enviados deste equipamento para o CLP realiza o controle a fim de obter uma pressão ideal no interior da caldeira, também podendo ter segurança de que a pressão não atinja valores fora dos permitidos dentro do padrão do projeto, evitando assim acidentes.

O princípio de funcionamento desse sensor capacitivo é igual ao mostrado para o transmissor de pressão diferencial LD303. A única diferença entre estes dois equipamentos é que em um dos lados da célula capacitiva, citada no item 3.4.1, é conectada uma câmara de vácuo, que se torna a referência de zero absoluto.

O equipamento usado é do fabricante Endress + Hauser, modelo PMC 731, e pode ser visualizado na figura 15.



Figura 15: Transmissor de Pressão Absoluta. [6]

3.4.3 Transmissor de Temperatura

O TT303, ilustrado na figura 16, é o transmissor de temperatura aplicado ao experimento e tem como função a interpretação dos sinais analógicos provenientes dos Termopares ou RTDs (termo resistências). Sua operação aceita geradores de sinal de mV com valores numa faixa de entrada de -50 a 500 mV e resistência entre 0 a 2000 Ohms, respectivamente.

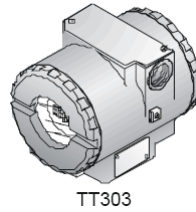


Figura 16: Transmissor de Temperatura TT303. [5]

No caso deste projeto será usado com um sensor termopar e este é conectado ao transmissor de temperatura no terminal indicado na figura 17.

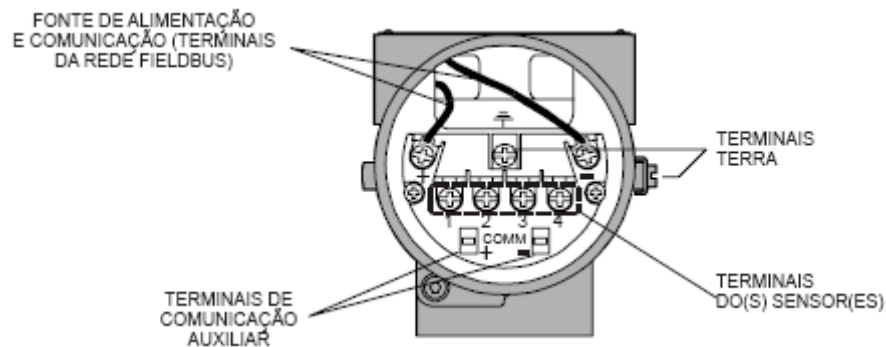


Figura 17: Conexão com o termopar. [7]

Abaixo tem-se algumas características do TT303: [7]

- Exatidão de $\pm 0,02\%$;
- Linearização de RTDs e Termopares embutidos;
- Ajuste local de zero;
- Calibração remota via HHT ou via PC;
- Indicação digital alfanumérica;
- Isolação de sinal;
- Profibus-PA
- Auto diagnóstico;
- Entrada universal aceita vários termopares, RTDs, mV e Ohm;
- Corrente de consumo de 12 mA;
- Integração ao Simatic PDM;

3.4.4 Termopar

Os termopares, como pode ser visto na figura 18, são elementos sensores de temperatura largamente empregados na indústria, principalmente por oferecerem robustez, baixo custo e

operação em uma grande faixa de temperaturas. Tais sensores baseiam-se no efeito termoelétrico, descoberto por Thomas Seebeck em 1821, no qual um par de condutores de ligas distintas é soldado as suas extremidades. Sendo uma chamada junta quente ou junta de medição, que fica acoplada no ponto onde desejamos medir ou controlar a temperatura. A outra extremidade, chamada junta fria ou junta de referência, ligada ao instrumento. A diferença de temperatura entre estas extremidades gera uma determinada tensão [8].



Figura 18: Termopar

3.4.5 Contator

O contator é uma chave de normalmente aberta que pode ser fechada por um sinal de tensão, neste caso 220V. O equipamento em questão é do fabricante WEG e pode trabalhar com uma tensão de até 380V, aceitando uma corrente de até 16A. O modelo utilizado pode ser visualizado na figura 19.



Figura 19: Contator Weg.

3.4.6 Indicadores de nível

Esta caldeira tem em sua estrutura dois indicadores de nível, que são duas hastes metálicas de cobre com 20 cm de comprimento, cuja funcionalidade é indicar apenas os estados cheio e vazio e seu uso foi melhor explicado na parte de inter-travamentos analógicos no item 2.3.4.

3.4.7 Pressostato

Será instalado na caldeira o pressostato ilustrado na figura 20. Esse equipamento possui terminais com contatos, normalmente aberto e normalmente fechado. A mudança destes estados ocorre de acordo com a pressão estabelecida no próprio aparelho, por ajuste manual.



Figura 20: Pressostato.

3.4.8 Válvula de entrada de água e saída

Tal equipamento é uma válvula a solenóide que quando energizada com uma tensão de 220V, excita a bobina movimentando um êmbolo interno, esse libera a passagem de água na entrada e vapor na saída. A figura 21 mostra o modelo utilizado.



Figura 21: Válvula a solenóide

3.4.9 Válvula de Segurança

Equipamento de segurança utilizado para a saída de vapor da caldeira caso a pressão exceda os valores permitidos no experimento, e podendo ser vista na figura 22. Seu funcionamento é baseado na aplicação da força de uma mola contra um êmbolo no interior da caldeira, caso a pressão interna seja maior que a força da mola, ocorre a vazão forçada de vapor da água.



Figura 22: Válvula de segurança.

3.4.10 Controlador Lógico Programável

É o equipamento que recolhe todos os dados e realiza toda a lógica de controle de acordo com os requisitos do projeto. É constituído de hardware e software. O hardware é constituído de um bloco único, sua estrutura comporta: uma fonte interna, entradas e saídas digitais e comunicação modbus. O software utilizado para o Máster K é o KGL-WE. A figura 23 mostra o modelo citado.

A escolha do CLP usado foi baseada em considerações sobre a facilidade na utilização do software e sua comunicação que se realiza sob o protocolo de comunicação industrial PROFIBUS-PA, conectando o cartão extra. O modelo do cartão de comunicação é G7L-PBEA (Profibus I/F module (Slave)), também da empresa LG e se conecta diretamente ao base CLP.



Figura 23: CLP Master K 120S da LG.

3.4.11 Software Supervisório

Para a definição de utilização do *software* supervisor foram considerados alguns critérios básicos como:

- Disponibilidade do software no laboratório.

- Ambiente de software amigável.
- Fácil utilização remota através do Process View.

Como não havia um conhecimento específico do software em questão, houve um período demandado a leitura do manual do Process View e suas principais considerações serão resumidas abaixo.

O ProcessView é uma interface para Visualização do Processo, Aquisição de Dados, Alarme, Análise de Tendências e outras aplicações. Ele possui um sistema de gerenciamento de eventos, visor WEB, para visualização do sistema à distância, e uma arquitetura de total confiança, dotada de banco de dados redundantes e conexão para servidores OPC, portanto este sistema será utilizado em nossa aplicação, tanto remoto como do servidor.

A tecnologia OPC usada como núcleo de integração do ProcessView, possui técnicas gráficas e de animação, pode ser integrado com qualquer servidor com interface OPC.

Sua opção standard é oferecida dentro da estação de trabalho do System302, possui três pacotes básicos: GraphworkX32, AlarmworkX32 e TrendworkX32, responsáveis por visualização do processo, aquisição e gerenciamento de alarme, e aquisição e gerenciamento de tendência, respectivamente. [7]

O GraphworkX32 oferece uma estrutura de desenho. Os diversos graus de animações permitem dar movimento a bolas e níveis simples como também a bitmaps importados.

O AlarmworkX32 dispõe de poderosa detecção por alarme, sorting, filtragem, visualização, logging, browser e armazenagem de dados em vários formatos. [7]

O TrendworkX32 possibilita determinar a tendência em tempo real, além de tendências histórica, logging, milhares de pontos em diferentes grupos definidos pelo cliente. O operador tem acesso instantâneo a qualquer alarme ou valor anterior, com alguns cliques, permitindo-lhe controle completo e também percepção total do histórico atual e passado da fábrica. [7]

4 CONCLUSÃO

Para a implementação de um projeto de controle de uma caldeira ou qualquer outra aplicação, faz-se necessidade de uma série de estudos iniciais sobre o controle a ser aplicado. Uma forma eficaz para essa implementação é o entendimento do processo juntamente com confecção do diagrama elétrico deste. Deste modo a visualização das variáveis a serem controladas se torna simples e rápida.

Além disso, é necessário uma definição dos tipos de sensores, atuadores e transmissores a fim de obter o projeto mais otimizado possível em vários aspectos como: custo, fácil comunicação e manutenção.

Deve ser observado todas as partes passíveis de falha de qualquer tipo, podendo assim realizar vários procedimentos, tanto de equipamentos quanto de lógicas aplicadas no controle em lógica ladder, utilizando às vezes, alguns inter-travamentos, para a segurança das máquinas e principalmente das pessoas envolvidas com o processo.

A aplicação dos Supervisórios que utilizam sistemas com interface OPC para uma visualização e controle do processo, por exemplo, os sistemas SCADA, possuem uma variedade de utilizações muito grande, pois as manipulações dos dados podem ser feitas de maneira muito rápida e abrangente, realizando históricos, relatórios, tendências, entre outras tarefas.

Vendo que as tecnologias Web têm conquistado um espaço muito grande nos sistemas de automação industrial, foi de muita importância para o fortalecimento do conhecimento nesta área a realização do controle remoto da caldeira.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Altafini, C. R. Disciplina de máquinas térmicas In: Universidade de Caxias do Sul. **Apostila sobre caldeiras**. Caxias do Sul, 2002. p.1-36.

[2] Pera, H. **Geradores de Vapor de Água**, Disponível em: < http://www.em.pucrs.br/~sergio/fluidotermica/Cap06_Geradores_de_Vapor.PDF >, Acesso em: 02 ago. 2007.

[3] Antonelli, P. L. **Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis**, Descrito em: < <http://www.ejm.com.br/download/Introducao%20CLP.pdf> >, Acesso em: 10 jul. 2007.

[4] ZEILMANN, R. P. **Uma Estratégia para controle e supervisão de processos industriais via internet**, Porto Alegre, mar. 2002. p. 1-140.

[5] Manual dos Procedimentos de instalação, operação e manutenção, Catálogo da Empresa SMAR. Disponível em: <<http://www.smar.com/PDFs/Manuals/GERAL-PAMP.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2007

[6] Catálogo PMC71. Empresa Endress+Hauser, 2007. Apresenta os dados de fabricação do PMC 71. Disponível em: <<http://container.endress.com/ProductContainerGUI/?root=PMC71&contry=br&lang=en&SChome=http://www.br.endress.com/eh/http://www.de.endress.com/>>, Acesso em: 25 jul. 2007.

[7] Site da Empresa Smar, 2007. Apresenta funcionalidades do produto Process View. Disponível em: < http://www.smar.com/products/process_view.asp >, Acesso em: 25 jul. 2007.

[8] KRAKECHE, I.; ZWIRTES, M.; FISTAROL, A.; TIBOLLA, V. **Sensores de Temperatura**, Disponível em: <<http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/temp2.pdf>>, Acesso em: 27 set. 2007.