

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

LEONARDO KOTVISKI FIALA

**AUTOMAÇÃO DE CALDEIRA INDUSTRIAL POR CLP**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

LEONARDO KOTVISKI FIALA

## **AUTOMAÇÃO DE CALDEIRA INDUSTRIAL POR CLP**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia de Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica - DAELN e Mecânica - DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA  
2014

# LEONARDO KOTVISKI FIALA

## AUTOMAÇÃO DE CALDEIRA INDUSTRIAL POR CLP

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 06 de outubro de 2014, como requisito parcial para a obtenção do Título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Milton Luiz Polli  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Mecânica

---

Prof. Sérgio Moribe  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Esp. Joel Gonçalves Pereira  
UTFPR

---

Prof. Msc Marcio Augusto Lombardi  
UTFPR

---

Prof. Dr. Valmir de Oliveira  
Orientador - UTFPR

## RESUMO

FIALA, Leonardo K. **Automação de Caldeira Industrial por CLP**, 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014.

Este trabalho apresenta a automação de uma caldeira industrial por CLP. Tem ênfase na programação do CLP e da IHM com o finalidade de melhorar o processo de produção de vapor. Foram verificadas as etapas para a produção de vapor e efetuou-se as ações de controle necessárias. Detalhes sobre a operação de caldeiras, sistemas de controle, programação de CLP e IHM e resultado foram apresentados.

**Palavras-chave:** CLP. Programação. Automação. Caldeira.

## ABSTRACT

FIALA, Leonardo K. **Automation of Industrial Boiler by PLC**, 55 p. Working End of Course (Course of Technology in Industrial Mechatronics) - Federal Technological University of Paraná. 2014.

This study presents the automation of an industrial boiler by PLC. Has an emphasis on PLC programming and HMI with the aim improving the production process steam. Steps for the production of steam were checked and made up the control actions necessary. Details on the operation of boilers, control systems, PLC and HMI programming and results were presented.

**Keywords:** PLC. Programming. Automation. Robotic. Boiler.

## Lista de figuras

Figura 1: Sistema de controle malha fechada.....	15
Figura 2: Sistema de controle malha aberta .....	16
Figura 3: Diagrama de blocos simplificado .....	17
Figura 4: Diagrama de bloco controle ação duas posições .....	18
Figura 5: Diagrama de bloco controle de ação controle proporcional .....	18
Figura 6: Diagrama de bloco controle ação integral.....	19
Figura 7: Diagrama de bloco controle tipo proporcional e integral .....	19
Figura 8: Diagrama de bloco controle proporcional e derivativo .....	20
Figura 9: Diagrama de bloco controlador ação proporcional-integral-derivativo ....	20
Figura 10: Caldeira flamotubular.....	21
Figura 11: Caldeira aquatubular.....	22
Figura 12: CLP.....	24
Figura 13: Ciclo básico CLP.....	25
Figura 14: Lista de pontos - base CLP.....	37
Figura 15: Blocos de programação TIA .....	38
Figura 16: Ladder do Bloco de leitura das entradas e saídas .....	39
Figura 17: Tela principal da IHM .....	41
Figura 18: Tela principal da IHM .....	42
Figura 19: Tela caldeira Tenge .....	43
Figura 20: Tela controle de vazão.....	43
Figura 21: Tela descarga de superfície.....	44
Figura 22: Tela queimador .....	44
Figura 23: Tela descarga de fundo .....	45
Figura 24: Tela controle de nível.....	45
Figura 25: Tela geral tanque.....	46
Figura 26: Tela comandos .....	46
Figura 27: Tela dosadora .....	47
Figura 28: Visão geral caldeiras.....	48
Figura 29: Visão painel de automação.....	49

Figura 30: Interior painel automação .....	49
Figura 31: Caldeira Tenge .....	50
Figura 32: Retorno de condensado.....	50
Figura 33: Tanque de alimentação de água para caldeiras .....	51
Figura 34 Bomba dosadora e tanque de mistura .....	51
Figura 35: Bomba alimentação de água caldeira e válvula descarga de fundo .....	52
Figura 36 Válvula que regula a vazão máxima e sensor de vazão .....	52

# SUMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	12
1.4	OBJETIVOS	13
1.4.1	OBJETIVOS GERAIS	13
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.5	JUSTIFICATIVA	13
1.6	MÉTODO DE PESQUISA	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	TEORIA DE CONTROLE	15
2.1.1	SISTEMA MALHA FECHADA	15
2.1.2	SISTEMA MALHA ABERTA	16
2.1.3	DIAGRAMA DE BLOCOS	16
2.1.4	AÇÕES DE CONTROLE	17
2.1.4.1	Controladores de duas posições	17
2.1.4.2	Controladores proporcionais	18
2.1.4.3	Controladores do tipo integral	18
2.1.4.4	Controladores do tipo proporcional e integral	19
2.1.4.5	Controladores do tipo proporcional e derivativo	20
2.1.4.6	Controladores do tipo proporcional, integral e derivativo	20
2.2	CALDEIRA	21
2.2.1	CALDEIRA FLAMOTUBULAR	21
2.2.2	CALDEIRA AQUATUBULAR	22
2.2.3	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA	23
2.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	24
2.3.1	CPU	24
2.3.2	MÓDULOS I/Os	25
2.3.3	PROGRAMAÇÃO	25



2.3.4	LEITURA DAS ENTRADAS .....	25
2.3.5	EXECUÇÃO DO PROGRAMA DE APLICAÇÃO.....	26
2.3.6	ESCRITAS DA SAÍDA .....	26
2.3.7	DIAGNÓSTICOS.....	26
2.3.8	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO .....	27
2.4	INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL.....	27
2.4.1	SENSOR DE PRESSÃO.....	28
2.4.1.1	Célula de carga .....	28
2.4.1.2	Piezoelétrico.....	28
2.4.1.3	Tubos de Bourdon.....	29
2.4.1.4	Sensores de pressão ópticos.....	29
2.4.2	SENSOR DE TEMPERATURA .....	29
2.4.2.1	Termistores .....	29
2.4.2.2	Termopares.....	29
2.4.2.3	Termoresistência.....	30
2.4.2.4	Par Bimetálico .....	30
2.4.3	SENSOR DE VAZÃO .....	30
2.4.3.1	Medidores de Pressão Diferencial .....	31
2.4.3.2	Rotâmetros.....	31
2.4.3.3	Turbina.....	31
2.4.3.4	Sensor Ótico .....	32
2.4.3.5	Sensor Magnético .....	32
2.4.3.6	Sensor Ultrassônico .....	32
2.4.3.7	Medidor de Vazão Vortex.....	32
2.4.4	SENSOR DE NÍVEL .....	33
2.4.4.1	Flutuadores .....	33
2.4.4.2	Eletrodos metálicos – condutivo.....	33
2.4.4.3	Medição por pressão hidrostática no fundo do tanque.....	33
2.4.4.4	Medição de nível capacitiva .....	34
2.4.4.5	Detecção de nível vibratório.....	34
2.4.4.6	Medição de nível laser .....	34

2.4.4.7	Radar .....	34
2.4.4.8	Radioativos .....	35
2.4.4.9	Strain-Gages – célula de carga.....	35
2.4.4.10	Ultrassônico .....	35
2.4.5	SENSOR DE CONDUTIVIDADE.....	35
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>36</b>
3.1	PROGRAMAÇÃO CLP .....	37
3.1.1	FC005 – LEITURA DOS I/OS .....	39
3.1.2	FC010 – MODO OPERAÇÃO .....	39
3.1.3	FC020 – ALARMES.....	40
3.1.4	FC051 – DESCARGA DE FUNDO.....	40
3.1.5	FC052 – RETORNO DE CONDENSADO E TANQUE ÁGUA FRIA .....	40
3.1.6	FC053 – DESCARGA SUPERFÍCIE.....	41
3.2	IHM .....	41
3.2.1	TELA CALDEIRA TENGE .....	42
3.2.2	TELA TANQUE .....	46
3.3	COMISSIONAMENTO .....	48
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>55</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

A automação é uma questão atual e continua evoluindo desde a revolução industrial no século 17. Eliminou tarefas repetitivas das mãos dos operadores, e hoje, pelo avanço tecnológico, tarefas mais complexas são realizadas por máquinas.

Tudo começou com a geração de vapor, ou seja, com a queima de carvão para causar a ebulição da água, que por sua vez gera pressão que é utilizada para realizar um trabalho.

O uso de vapor no século 21 mantém sua importância na indústria em várias aplicações. Existem máquinas específicas para geração de vapor, denominadas caldeiras industriais. Para simplificar o processo imaginemos o funcionamento de uma panela de pressão.

Como uma panela há uma estrutura metálica e pesa algumas toneladas. O seu interior possui água, que será aquecida para transformar-se em vapor. Na parte superior da estrutura está localizada uma tubulação cuja função é captar o vapor ao contrário da panela que seria dispensado para a atmosfera.

O fogo localizado no fundo da panela, que é abastecido pela chama do fogão é substituído por um equipamento específico chamado - queimador - que utiliza gás como combustível e possui uma ventilação forçada para manter a qualidade da combustão.

Como a estrutura é metálica deve-se tratar a água para evitar corrosão e incrustações de substâncias no interior da caldeira.

Devido às características perigosas da caldeira a legislação brasileira criou uma norma, a NR13, que deve ser rigorosamente seguida, a fim de evitar acidentes e controlar a emissão de poluentes. Temos algumas variáveis para controlar e monitorar que a NR13 seja cumprida, como: pressão, temperatura, nível de água e a qualidade da água.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho apresentará a automação de uma caldeira industrial em uma indústria farmacêutica localizada em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. O enfoque será a programação de um controlador lógico programável e IHM.

## 1.3 PROBLEMA

O processo de geração de vapor é crítico e requer constante monitoramento por questões como: emissão de poluentes para a atmosfera; risco de morte entre os operadores que trabalham com pressões e temperaturas elevadas; explosão; risco de interromper a produção da planta caso a geração pare; custo de combustível; mão de obra; máquina parada; planta parada; atrasos de entregas.

O erro humano, como uma distração, é um fator que pode comprometer integralmente a operação de uma indústria e colocar vidas em risco

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivos gerais

Automatizar a operação de uma caldeira industrial, através de um controlador lógico programável – CLP, sendo desnecessária a intervenção humana, mesmo a NR13 exigindo um operador monitorando a mesma.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Controlar a vazão de entrada de água no interior da caldeira,
- Controlar nível no tanque de alimentação de água para a caldeira,
- Controlar o descarte de água no fundo da caldeira,
- Controlar o descarte de água na superfície da caldeira,
- Controlar a vazão máxima de saída de vapor,
- Controlar qualidade da água no interior da caldeira,
- Monitorar os valores de temperatura e pressão no interior da caldeira
- Programar CLP
- Programar IHM

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O procedimento da NR13 (Caldeiras e vasos de pressão) foi elaborado com a finalidade de preservar a integridade e criar condições seguras na operação da caldeira.

Embora o procedimento torne a operação segura, na falha humana sempre existirá o risco de erros que podem comprometer desde a segurança até a produção da planta.

Assim uma automação específica para a operação da caldeira agrega redundância e ações de controle 24 horas por dia e sete dias por semana. Como resultado observaremos uma otimização na geração de vapor.

## 1.6 MÉTODO DE PESQUISA

Anteriormente a caldeira encontrava-se em operação com a finalidade de fornecer calor para processos industriais de modo manual, ou seja, através da intervenção de um operador que deveria ter uma rotina realizada permanentemente, como: retirar amostra de água e verificar a condutividade; de acordo com o teste de condutividade abrir manualmente válvulas para descartar água; abrir válvula para completar o nível de água no interior da caldeira; abrir válvulas para descartar água e substâncias sólidas de 15 em 15 minutos; verificar nível de água no interior da caldeira; verificar pressão no interior da caldeira

Segundo os objetivos proposto neste trabalho, será realizado um processo de melhoria no equipamento com operação somente por operadores, que passará a contar com sistema automatizado e dessa maneira fará controle do ciclo de abertura e fechamento de válvulas, conforme as necessidades de operação. Teremos uma IHM para mostrar todos os parâmetros em tempo real e em tela, assim facilitando a tomada de decisão do operador.

Desse modo será realizada a programação de CLP da fabricante Siemens o modelo será o S7-1200. Utilizando o *software* proprietário TIA versão 10.5.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 TEORIA DE CONTROLE

De acordo com a teoria de controle podemos dividir os sistemas de controle da seguinte forma: controle de malha fechada e malha aberta, descritos na sequência.

#### 2.1.1 Sistema malha fechada

O sistema malha fechada é o sistema que mantém uma relação preestabelecida entre a grandeza de saída e a grandeza de referência, comparando-as e utilizando a diferença como meio de controle, ou seja, um sistema de controle com retroação (OGATA, 2010). Um exemplo típico seria o controle de temperatura. Medindo-se a temperatura do ambiente e comparando-a com a temperatura de referência, o termostato aciona o equipamento de calefação ou de refrigeração, ligando ou desligando cada um deles, de tal forma que a temperatura do ambiente permaneça de acordo com o desejado.

Num sistema de controle à malha fechada, o sinal atuante de erro, é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de retroação, assim o resultado excita o controlador de modo a reduzir o erro e trazer o valor do sinal de saída para o valor desejado (figura 1). A expressão de controle malha fechada sempre acarreta o uso de retroação a fim de reduzir o erro do sistema.

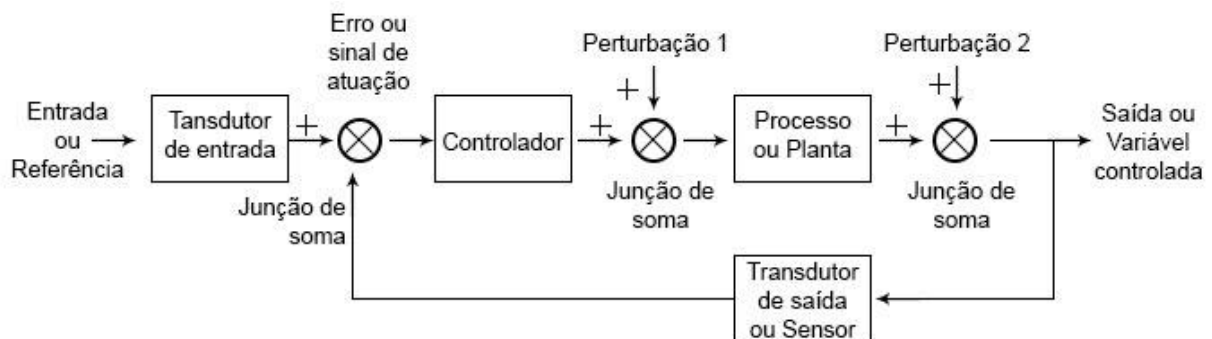


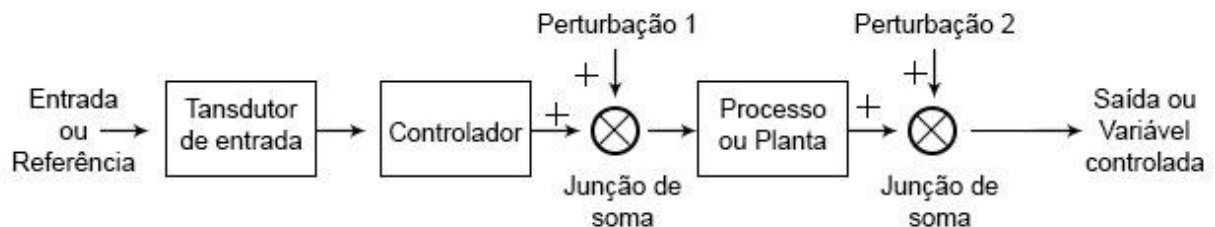
Figura 1: Sistema de controle malha fechada  
Fonte: OGATA 2010

### 2.1.2 Sistema malha aberta

Considerado o sistema cujo sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no conjunto de elementos (sinônimo de sistema, pois é errado e confuso repetir palavras em uma oração), ou seja, o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparar com a entrada (figura 2).

Cada entrada de referência corresponde a uma condição fixa de operação, assim a precisão do sistema depende de uma calibração inicial.

Na prática o sistema de malha aberta somente poderá ser utilizado se a relação entre a entrada e a saída for conhecida e se não houver nenhum distúrbio interno ou externo.



**Figura 2: Sistema de controle malha aberta**  
**Fonte: OGATA 2010**

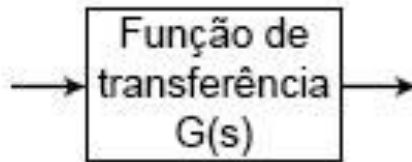
Sendo distúrbio qualquer sinal que tende a afetar de maneira adversa o valor da variável de saída de um sistema. Caso o distúrbio seja gerado pelo próprio sistema diz-se interno, se não externo e se comporta como um sinal de entrada no sistema.

### 2.1.3 Diagrama de Blocos

Um diagrama de blocos de um sistema é uma representação simplificada das funções desempenhadas por cada componente e do fluxo de sinais entre eles (OGATA, 2010).



Diferindo de uma representação matemática puramente abstrata, o diagrama de blocos (figura 3) tem a vantagem de indicar mais realisticamente os fluxos de sinal do sistema real.



**Figura 3: Diagrama de blocos simplificado**  
Fonte: OGATA 2010

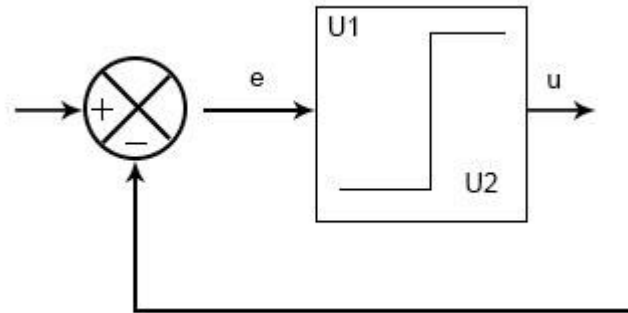
A figura 1 apresentou um diagrama de blocos de um sistema de controle malha fechada e foi possível visualizar os elementos de controle: a entrada ou referência ou ainda o *setpoint*; o transdutor de entrada; o controlador; processo ou planta; a saída ou variável controlada; e o transdutor de saída.

#### 2.1.4 Ações de Controle

Um controlador automático compara o valor real da grandeza de saída do processo com a grandeza de referência, e assim determina o desvio e produz um sinal que reduzirá o desvio a zero ou a um valor pequeno. A maneira pela qual o controlador automático produz o sinal de controle é chamada: ação de controle (OGATA,2010).

##### 2.1.4.1 Controladores de duas posições

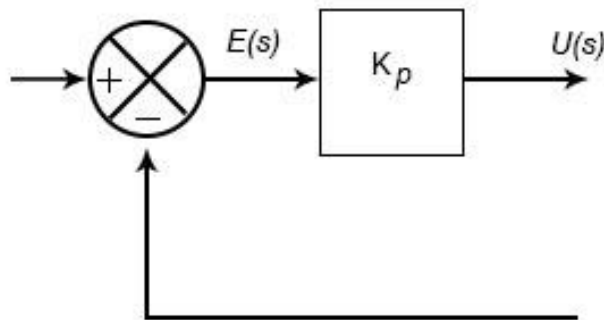
No controlador com ação de duas posições, o elemento atuante possui apenas duas posições fixas, que são em muitos casos: ligado ou desligado (figura 4). O controle de duas posições é relativamente simples e barato, e, por essa razão, extremamente utilizado.



**Figura 4: Diagrama de bloco controle ação duas posições**  
 Fonte: OGATA 2010

### 2.1.4.2 Controladores proporcionais

No controlador com ação proporcional, a relação entre a saída do controlador e o sinal de erro atuante é sempre proporcional a uma constante,  $K_p$  (figura 5).



**Figura 5: Diagrama de bloco controle de ação controle proporcional**  
 Fonte: OGATA 2010

### 2.1.4.3 Controladores do tipo integral

No controlador com ação tipo integral, o valor de saída dele varia segundo uma taxa proporcional ao sinal de erro atuante. (Figura 6).

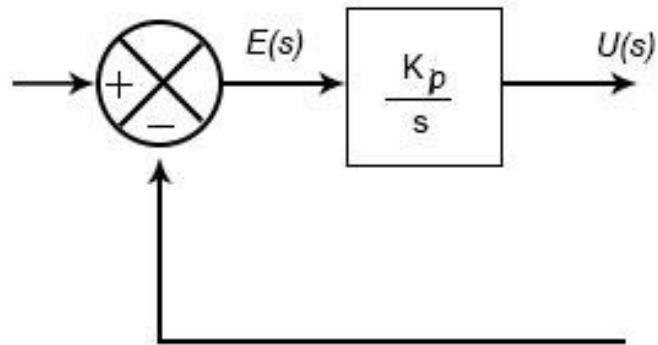


Figura 6: Diagrama de bloco controle ação integral  
Fonte: OGATA 2010

#### 2.1.4.4 Controladores do tipo proporcional e integral

O controlador com ação tipo proporcional e integral ajusta a ação do controle integral, enquanto uma mudança no  $K_p$  afeta tanto a parte proporcional como a parte integral da ação de controle. O inverso do tempo integral  $T_i$  é denominado taxa de restabelecimento (figura 7). A taxa de restabelecimento é o número de vezes por minuto que a parte proporcional de ação de controle é dobrada. A taxa é medida em termos de repetição por minuto:

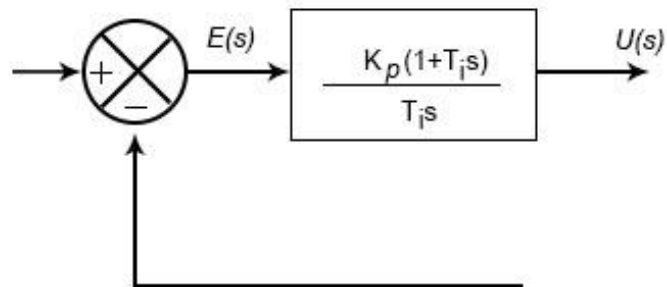


Figura 7: Diagrama de bloco controle tipo proporcional e integral  
Fonte: OGATA 2010

### 2.1.4.5 Controladores do tipo proporcional e derivativo

Controlador com ação tipo proporcional e derivativo é aquele onde a magnitude da saída é proporcional a taxa de variação do sinal do erro atuante (figura 8). O tempo derivativo  $T_d$  é o intervalo de tempo pelo qual a ação derivada avança o efeito da ação de controle proporcional.

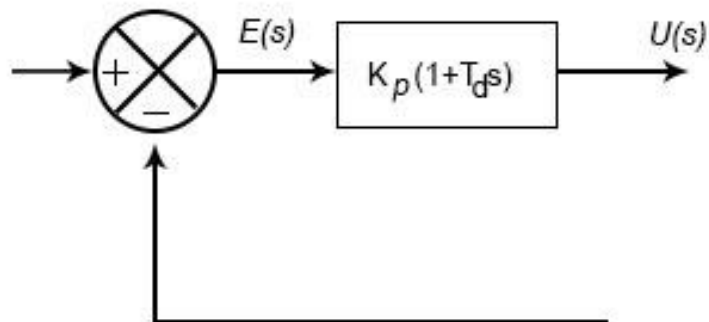


Figura 8: Diagrama de bloco controle proporcional e derivativo

Fonte: OGATA 2010

### 2.1.4.6 Controladores do tipo proporcional, integral e derivativo

Controlador com ação tipo proporcional, integral e derivativo combina a ação de controle proporcional, ação de controle integral e ação de controle derivativa. Assim possui as vantagens das três ações de controle (figura 9).

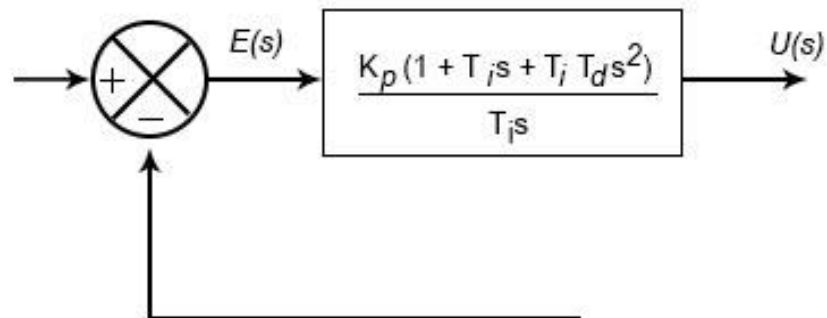


Figura 9: Diagrama de bloco controlador ação proporcional-integral-derivativo

Fonte: OGATA 2010

## 2.2 CALDEIRA

Uma caldeira é composta de dois sistemas básicos separados. O primeiro é o sistema vapor-água ou lado de água da caldeira; o segundo sistema é o combustível-ar-gás ou lado de fogo da caldeira.

### 2.2.1 Caldeira Flamotubular

Os gases quentes passam por dentro e a água da caldeira passa por fora dos tubos (figura 10), ou seja, o lado de fogo fica por dentro e o lado de água fica por fora dos tubos. (BEGA, 2003).

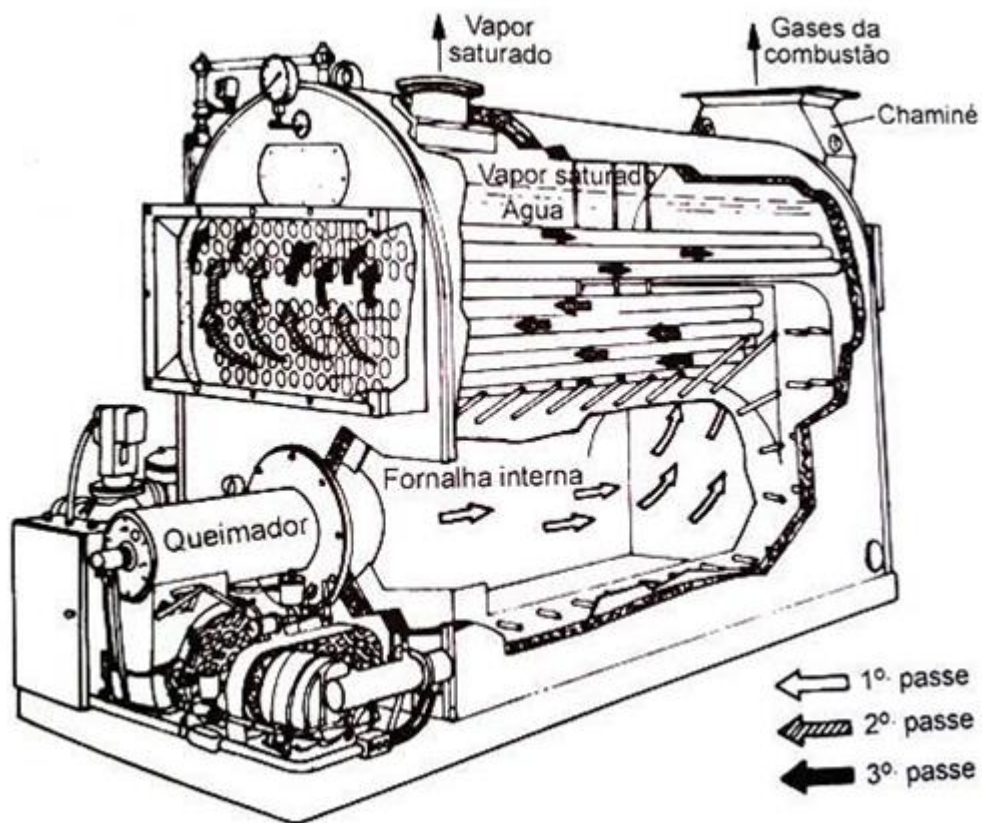


Figura 10: Caldeira flamotubular  
Fonte: BEGA 2003

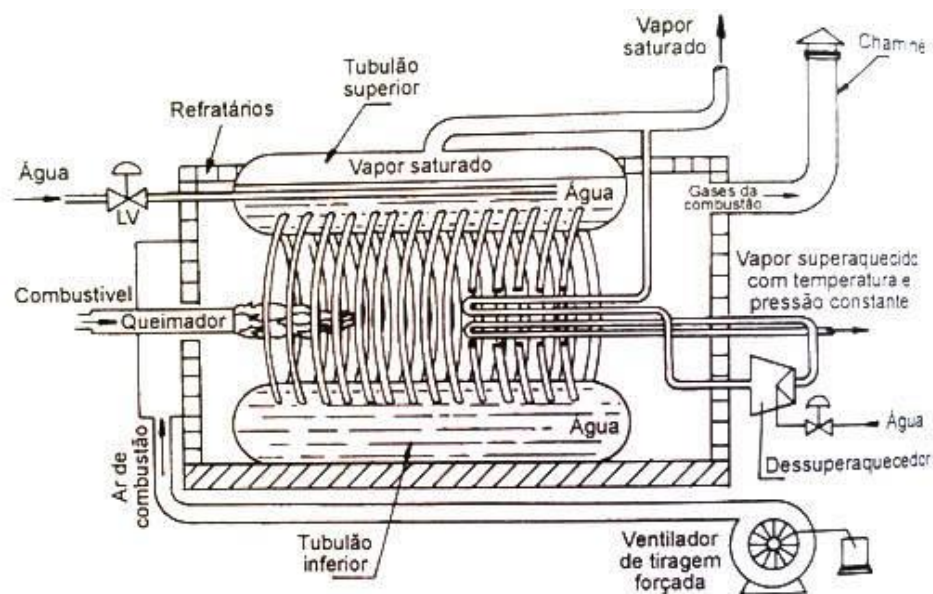
O vapor é gerado pelo calor transferido dos gases quentes da combustão, através das paredes metálicas dos tubos para a água que fica circundando estes tubos.

À medida que os gases da combustão fluem através dos tubos, eles são resfriados pela transferência de calor para a água. Portanto, quanto maior o resfriamento dos gases, maior a quantidade transferida de calor. O resfriamento dos gases de combustão acontece em função da condutividade térmica dos tubos, da diferença de temperatura entre os gases de combustão e a água da caldeira, da área de transferência de calor, do tempo de contato entre os gases e da superfície dos tubos.

De acordo com as características construtivas das caldeiras flamotubulares, elas possuem aplicação restrita a pequenas e médias vazões até (10ton/h) e pressão de trabalho não superior a 150 psi e somente vapor saturado.

### 2.2.2 Caldeira Aquatubular

A água passa por dentro e os gases quentes de combustão passam por fora dos tubos (figura 11), ou seja, o lado de água fica por dentro e o lado de fogo fica por fora dos tubos. Os tubos são normalmente conectados entre dois ou mais tubulões cilíndricos (BEGA, 2003).



**Figura 11: Caldeira aquatubular**  
Fonte: BEGA 2003

O tubulão superior, ou de vapor, tem o seu nível de água controlado em cerca de 50% e os inferiores trabalham totalmente cheios. Todo o conjunto é isolado por uma parede refratária de forma a evitar perdas de calor para o ambiente

O vapor gerado no tubulão é saturado; caso se queira vapor com temperatura acima de sua temperatura de saturação, deve-se gerar vapor superaquecido. O vapor superaquecido é obtido mediante a instalação de super aquecedores, que são constituídos por feixes de tubos em forma de serpentina.

A utilização do vapor superaquecido aumenta a disponibilidade de energia e também permite aumentar o rendimento das turbinas em função do maior salto entálpico disponível.

### 2.2.3 Características da Água

O tratamento químico da água é indispensável, para garantir a segurança e durabilidade do equipamento. Toda caldeira dispõe de dispositivos de drenagem para eliminação sistemática de sulfatos, carbonatos, silicatos, iodo e sólidos em suspensão (Bazzo, 1995).

A ocorrência de incrustações nas superfícies de aquecimento aumenta a resistência térmica imposta ao fluxo de calor. Além de isolante térmico, as incrustações tem o coeficiente de dilatação diferenciado, que provocam deformações ou trincas no material dos tubos.

No caso de incrustações generalizadas, o problema é agravado quando expões a tubulação em temperaturas elevadas, acima dos limites normais de resistência, e em vista da porosidade, cria condições propícias à corrosão, aumentando o risco de explosão.

O controle de temperatura dos gases de combustão serve como indicativo da ocorrência de incrustações nas caldeiras. Para evitar problemas maiores, o tratamento químico da água deve ser preferencialmente externo.

A água de alimentação é forçada por bombas de alta pressão e com vazão sempre superior a capacidade de produção de vapor da caldeira. O volume de água no interior deve ser controlado de modo que a bomba seja ativada sempre que baixar o

nível no interior. Uma eventual falta de água provocaria o superaquecimento localizado dos tubos, seguido de explosão.

## 2.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O controlador lógico programável, ou CLP (figura 12), pode ser definido como um dispositivo de estado sólido, um computador industrial, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle, além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede (GEORGINI, 2007)

O CLP é composto por blocos: CPU; módulos I/Os; fonte de alimentação e base.



**Figura 12: CLP**  
**Fonte: Siemens 2014**

### 2.3.1 CPU

Contém o processador responsável pelo gerenciamento total do sistema, verificando os barramentos de endereço de dados e de controle.

Conforme determinado pelo programa de execução, esse interpreta e executa as instruções de programa de aplicação, controla a comunicação com dispositivos externos e verifica a integridade de todo o sistema.

O sistema de memória da CPU é composto pela memória do sistema de operação (firmware) e pela memória de aplicação.

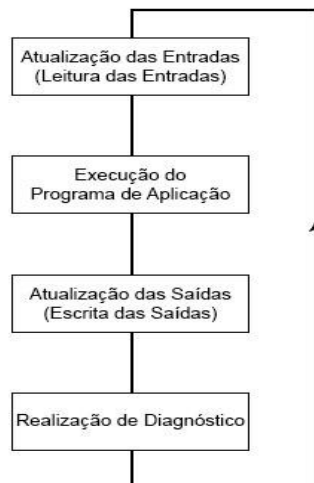


### 2.3.2 Módulos I/Os

Fazem a comunicação entre a CPU e o meio externo. Podem ser módulos de entrada quem recebem os sinais dos sensores e os convertem para serem processados pela CPU; ou módulos de saída que enviam os sinais aos dispositivos atuadores.

### 2.3.3 Programação

O Scan do CLP em modo de execução pode ser descrito em quatro passos, (figura 13). Sendo o primeiro a leitura das entradas, seguida pela execução do programa de aplicação, por terceiro a atualização das saídas e por último a realização de Diagnósticos.



**Figura 13: Ciclo básico CLP**  
Fonte: GEORGINI 2007

### 2.3.4 Leitura das entradas

A CPU realiza a leitura de todos os pontos de entrada e os armazena na tabela de imagem de entradas. Cada ponto de entrada corresponde a uma posição de memória específica. Assim a tabela é acessada pela CPU durante a execução da

aplicação, após a execução deste segmento em um determinado scan, a leitura das entradas será realizada apenas no scan seguinte e caso a condição mude após a leitura, somente terá influência na execução do programa de aplicação no scan seguinte, quando será percebida tal alteração.

### 2.3.5 Execução do programa de aplicação

A CPU executa as instruções do programa de aplicação, que define a relação entre a condição de entrada e a atuação das saídas, conforme a lógica de controle deve ser realizada.

A execução do programa de aplicação ocorre normalmente a partir da primeira linha, da esquerda para a direita e de cima para baixo, dependendo do CLP.

### 2.3.6 Escritas da saída

Após a execução do programa de aplicação, o conteúdo de tabela de imagem das saídas, construída de acordo com a lógica executada, é enviada aos pontos de saída físicos correspondentes.

### 2.3.7 Diagnósticos

A CPU realiza todos os diagnósticos do sistema, além de calcular o Scan Time, atualizar relés especiais correspondentes e reinicializar o Watchdog timer.

Entre os diagnósticos realizados, os mais importantes são: o cálculo do scan time que compreende o tempo consumido pela CPU para realizar todas as tarefas em cada *Scan*, da leitura das entradas até o término do ciclo; o *watchdog* que armazena o tempo máximo permitido para execução de cada *Scan*. Caso o tempo for excedido a CPU é forçada ao modo de programação

### 2.3.8 Linguagem de Programação

Uma das primeiras linguagens criada para a programação de CLP foi o Ladder. O fato de ser uma linguagem gráfica, baseada em símbolos semelhantes aos encontrados nos esquemas elétricos (contatos e bobinas) foi determinante para aceitação do CLP por técnicos e engenheiros acostumados com sistema de controle a relé.

A norma IEC 61131-3 define cinco linguagens de programação: Ladder; lista de instruções; texto estruturado; diagrama de blocos de função e diagrama funcional sequencial.

## 2.4 INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Instrumentos de medição e controle são os elementos que permitem manter controladas as variáveis do processo (BEGA, 2003). Pode-se classificar os instrumentos de acordo com a função que o mesmo realiza;

- Indicador; dispõem de um ponteiro e uma escala graduada na qual é possível visualizar o valor instantâneo da variável, ou digital.
- Registrador; registra os valores instantâneos da variável de processo em função do tempo.
- Transmissor: Determina o valor de uma variável através de um elemento primário e transmite a distância.
- Transdutor: recebe informações na forma de grandezas físicas e modifica, as informações em um sinal de saída resultante. Pode ser um elemento primário.
- Controlador: compara a variável controlada com um valor ideal e fornece um sinal de saída a fim de manter a variável controlada em um valor escolhido.
- Elemento final de controle; Instrumento que modifica diretamente o valor da variável manipulada de uma malha de controle.

## 2.4.1 Sensor de Pressão

Conceitua-se pressão, geralmente, como sendo a força normal por unidade de área (FIALHO, 2008). A pressão pode ser medida em termos absolutos ou diferenciais, desta forma é comum identificar três tipos de pressão:

**Pressão Absoluta:** diferença da pressão em um ponto particular num fluido e a pressão absoluta ou vácuo completo. Um exemplo é o barômetro, porque a altura da coluna de mercúrio mede a diferença entre a pressão atmosférica local e a pressão do vácuo que existe acima da coluna de mercúrio.

**Pressão manométrica:** é a diferença medida entre uma pressão desconhecida e a atmosférica. Conhecida como pressão relativa.

**Pressão diferencial:** é a diferença medida entre duas pressões desconhecidas, sendo nenhuma delas a pressão atmosférica.

### 2.4.1.1 Célula de carga

São estruturas mecânicas planejadas para receber esforços e deformar-se dentro do regime elástico para que foram planejadas. Embora pequena essa deformação, ela é suficiente para gerar um sinal de saída linear e compatível com a carga aplicada. O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um extensômetro (*Strain-gage*) quando submetido a uma deformação.

### 2.4.1.2 Piezoelétrico

Esse transdutor baseia-se na propriedade do cristal de quartzo que quando deformado elasticamente que gera um potencial elétrico em seus terminais por meio de certo plano cristalográfico.

### 2.4.1.3 Tubos de Bourdon

O tubo de Bourdon consiste em transformar a pressão do fluido em um deslocamento a fim de fornecer um sinal elétrico proporcional à pressão. É formado por um tubo metálico de seção transversal elíptica, tendo um de suas extremidades em contato com a fonte de pressão. Para aplicação de pressão na parte interna, o tubo de Bourdon tende a tomar a forma de um tubo de seção circular, e então há uma distensão no sentido longitudinal.

### 2.4.1.4 Sensores de pressão ópticos

É um circuito transmissor que opera por princípio óptico. É montado num manômetro de processo com elemento elástico estável e movimento de fácil calibração. Segundo esse princípio, a aplicação da pressão no tubo de Bourbon desloca uma palheta, que interrompe proporcionalmente a incidência de um feixe de luz infravermelha emitido por um led.

## 2.4.2 Sensor de Temperatura

### 2.4.2.1 Termistores

São resistores termicamente sensíveis. São semicondutores eletrônicos cuja resistência elétrica varia com a temperatura. (THOMAZINI, 2011)

### 2.4.2.2 Termopares

O princípio e a teoria associada a efeitos termoelétricos não foram estabelecidos por uma só pessoa. O descobrimento do comportamento termoelétrico de certos materiais é geralmente atribuído à T.J. Seebeck. Em 1821, Seebeck descobriu que um circuito fechado, feito com fios de dois metais heterogêneos, uma corrente elétrica flui

se a temperatura de uma junção T1 estiver acima da temperatura da outra extremidade T2.

A descoberta original de Seebeck usou um circuito de termopares compostos de antimônio e cobre. A força eletromotriz gerada está relacionada com o campo elétrico formado devido ao aquecimento que é função do gradiente de temperatura nesse ponto. Assim um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada por fios diferentes. Isso pode ser usado para medir diretamente a diferença de temperatura ou para medir a temperatura absoluta, colocando uma junção à temperatura conhecida.

#### 2.4.2.3 Termoresistência

As termoresistências são sensores de temperatura cujo princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica do elemento condutor em função da temperatura. As mais utilizadas são a Pt-100, Pt-1000, Ni-100 e Ni1000

#### 2.4.2.4 Par Bimetálico

É utilizado nos conhecidos termostatos. Trata-se de duas chapas metálicas de materiais com diferentes índices de dilatação que são montadas face a face. Com o aquecimento há uma deformação do conjunto das chapas, havendo abertura ou o fechamento do contato.

#### 2.4.3 Sensor de Vazão

Vazão representa a quantidade de líquidos, gases ou vapores que passa em um determinado ponto, durante um certo período de tempo. Pode ser medida sob a forma de vazão volumétrica ou vazão de massa.

### 2.4.3.1 Medidores de Pressão Diferencial

Os medidores de vazão por pressão diferencial são os sensores mais amplamente usados devido a sua simplicidade, custo e facilidade de manutenção (THOMAZINI, 2011).

Definição: um obstáculo, denominado elemento primário, introduzido em uma tubulação em que escoar um fluido, causa uma queda de pressão que varia com a vazão, a densidade e a viscosidade. Mantendo os dois últimos fatores constantes, é possível calcular a vazão. Esses elementos baseiam-se no princípio fundamental da hidrodinâmica, o teorema de Bernoulli. Os elementos primários mais utilizados são: placa de orifício, bocal, tubo de Venturi e tubo de Pitot.

### 2.4.3.2 Rotâmetros

Os rotâmetros são constituídos de uma seção de tubos colocados verticalmente na tubulação, cuja extremidade maior é dirigida para cima, e de um corpo flutuador, que se move verticalmente no tubo cônico.

### 2.4.3.3 Turbina

Os transdutores de vazão do tipo turbina são usados somente nos casos em que o fluido seja um líquido. São constituídos de um gerador a imã permanente colocado em rotação pelo líquido, que atua sobre as paletas. O rotor induz uma tensão alternada com frequência variável nos terminais de uma bobina colocada externamente ao invólucro da tubulação, que é de material magnético. A frequência é proporcional à velocidade média do líquido e conseqüentemente a vazão.

#### 2.4.3.4 Sensor Ótico

Trata-se de um transmissor que emite um feixe de luz que é refletido pelas paletas da turbina. O número de pulsos recebidos pelo fototransmissor é proporcional a velocidade da turbina, que é proporcional a vazão.

#### 2.4.3.5 Sensor Magnético

Esse tipo de transdutor é usado com fluídos condutores, como o caso de eletrólitos. Ele é constituído de uma seção de tubo de material não magnético e não condutor, em que são colocadas duas bobinas e um anel de ferro laminado. Geralmente funcionam como um sensor liga/desliga.

#### 2.4.3.6 Sensor Ultrassônico

Os medidores de vazão ultrassônicos são instrumentos que operam a partir de transdutores colocados externamente a tubulação, não sendo necessária a introdução de nenhum sensor de contato com o fluxo e dispensando o seccionamento e a parada das linhas. Possuem um princípio de medição que resultou em duas formas de aplicação dos ultrassons: o efeito Doppler (para fluídos sólidos) e o do tempo de trânsito (para fluidos limpos e hidrocarbonetos), podendo ser utilizados em praticamente todos os líquidos industriais nas mais diversas condições.

#### 2.4.3.7 Medidor de Vazão Vortex

Quando há uma passagem de fluido através de um obstáculo, tal como um cilindro, turbilhões são criados em ambos os lados do obstáculo, e fluem percorrendo o tubo. Eles são chamados de turbilhões de Von Karman.

Se o número de Reynolds (relaciona velocidade do fluido, diâmetro do objeto, densidade e viscosidade) for aproximadamente 10.000, então o número de turbilhões



que passam em uma determinada secção, e em um intervalo de tempo definido é proporcional à velocidade do fluido (THOMAZINI, 2011).

#### 2.4.4 Sensor de Nível

##### 2.4.4.1 Flutuadores

Os sensores de níveis baseados no princípio da flutuação do filósofo Arquimedes, também são conhecidos como controle de nível por boia. O movimento do flutuador, pode transmitir uma informação contínua que possibilita o conhecimento da altura efetiva, em unidades de comprimento ocupado pelo fluido dentro do recipiente que contém, ou uma informação discreta.

##### 2.4.4.2 Eletrodos metálicos – condutivo

Os sensores por eletrodo correspondem hastes metálicas que são posicionados no interior do recipiente. Sensor restrito a líquidos condutivos. No caso da necessidade de medir o nível máximo e o nível mínimo usam-se 3 hastes: uma no fundo do tanque, que é a haste de referência, a segunda haste situada no ponto que se deseje o nível mínimo e a última no ponto de máximo. Assim o líquido interage como uma chave que abre ou fecha o circuito elétrico.

##### 2.4.4.3 Medição por pressão hidrostática no fundo do tanque

Sensor de nível que utiliza sensor de pressão para determinar a variação da pressão hidrostática, pois a pressão que o líquido exerce no sensor está relacionada com a altura da coluna do líquido.

#### 2.4.4.4 Medição de nível capacitiva

O sensor de nível capacitivo pode ser do tipo discreto ou linear. O princípio usa a mudança de capacitância, que é causada pela variação do nível do material entre a sonda de medição e a parede do reservatório. Assim todo o recipiente torna-se um capacitor gigante.

#### 2.4.4.5 Detecção de nível vibratório

O sensor por vibração é composto por uma haste piezoelétrica que vibra. Assim que o produto entra em contato com a haste, a vibração é amortecida e aciona um relé de saída. Utilizados para granulados e pós (farinhas).

#### 2.4.4.6 Medição de nível laser

Coloca-se um emissor laser num dos lados do recipiente de modo que o raio atinja a superfície do líquido em ângulo, sendo então refletido para um detector. Variações na posição do nível modificam a direção do raio refletido e alteram o ponto que atinge o sensor, correspondendo a nova posição a um sinal de nível, obtido pelos circuitos eletrônicos de detecção. É um medidor de nível contínuo sem contato.

#### 2.4.4.7 Radar

Alguns fabricantes produzem dispositivos do tipo radar que utilizam as propriedades físicas das propagações de ondas, gerando sinais de radar polarizados, sendo transmitidos em uma direção e recebidos em outra. Em função disso, sempre que o sinal emitido colide com algum objeto, o instrumento introduz uma polarização de  $90^\circ$  no sinal. Assim o instrumento só receberá ecos que foram refletidos uma única vez, ignorando as colisões indiretas e reduzindo as interferências ocasionadas pelos ruídos.

#### 2.4.4.8 Radioativos

Compostos de uma fonte de material radioativo e um detector de radiação, que são instalados diametralmente opostos na parede do recipiente. As partículas emitidas pela fonte radioativa atravessam as paredes do recipiente e o material contido nele e sensibilizam o detector. O material do recipiente absorve então parte da energia, fazendo com que a intensidade da radiação percebida pelo detector diminua proporcionalmente as variações do nível.

#### 2.4.4.9 Strain-Gages – célula de carga

*Strain-Gages* é um transdutor que utiliza as variações resistivas dos resistores submetidos à carga. Quando uma carga é aplicada na coluna suporte, a coluna é comprimida, sofrendo um aumento da área da seção transversal e uma diminuição do seu comprimento, diminuindo o valor da resistência.

#### 2.4.4.10 Ultrassônico

O sensor ultrassônico é baseado no princípio da reflexão das ondas sonoras. A reflexão das ondas é um eco. O tempo decorrido entre o instante em que o sinal é emitido e o instante em que o sinal é refletido é recebido é uma referência para a posição do nível.

#### 2.4.5 Sensor de condutividade

Pode-se dizer que condutividade de uma solução é uma medida da quantidade de carga transportada pelos íons. Dessa forma quando a fonte de íons provém de impurezas a condutividade transforma-se numa medição de pureza. Quanto menor a condutividade, mais pura é a solução (Batista, 2014).

A unidade de medida utilizada para medir a condutividade de uma solução é micro Siemens por centímetro quadrado.























### 3 DESENVOLVIMENTO

Para entendimento do desenvolvimento é necessário detalhar as particularidades da caldeira:

- Válvula descarga de fundo: válvula pneumática de duas posições localizada na parte inferior da caldeira realiza o descarte da água do interior da caldeira;
- Válvula de condensado; válvula eletromecânica de duas posições localizada na entrada do tanque de alimentação de água das caldeiras. Bloqueia o retorno de vapor da planta para o tanque;
- Válvula de Dreno: válvula eletromecânica de duas posições localizada anteriormente à válvula de condensado. Libera a passagem do retorno de vapor para o dreno ou descarte;
- Válvula de descarga de superfície: válvula eletromecânica de duas posições localizada na parte dos  $\frac{3}{4}$  superior. Descarta água do interior da caldeira na porção superior;
- Válvula controle de vazão de água: válvula pneumática proporcional, localizada na parte lateral da caldeira;
- Válvula de controle de vazão máxima de vapor: válvula pneumática proporcional localizada acima da caldeira.

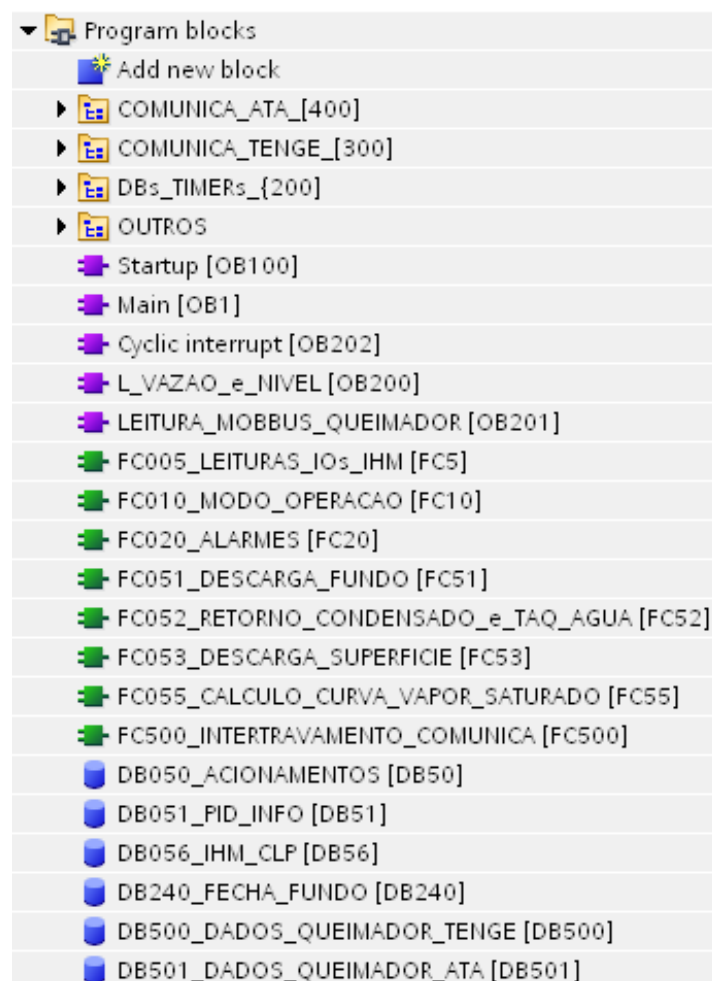
### 3.1 PROGRAMAÇÃO CLP

A programação do CLP começa com a criação da base (figura 14) com informações retiradas do projeto elétrico. Esse define informações: as entradas e as saídas do CLP, ou seja, cada sensor e atuador no seu respectivo lugar. A partir do projeto elétrico é criada uma lista que contém os dados dos pontos: tipo da informação (digital ou analógica); o nome do ponto (ex.: “disjuntor dosadora”); o endereço da porta utilizada no CLP (ex.: “i0.1”) e uma breve descrição sobre o ponto.

1	 DISJUNTOR_DOSADORA	Bool	%i0.1	<input type="checkbox"/>	
2	 VALV_FUNDO_ESQUERDA_TENGE_...	Bool	%i0.2	<input type="checkbox"/>	DESCARGA DE FUNDO 1 FECHADA
3	 VALV_FUNDO_ESQUERDA_TENGE_...	Bool	%i0.3	<input type="checkbox"/>	DESCARGA DE FUNDO 1 ABERTA
4	 MOTOR_AGITADOR	Bool	%i0.4	<input type="checkbox"/>	
5	 MOTOR_DOSADORA	Bool	%i0.5	<input type="checkbox"/>	
6	 VALV_FUNDO_DIREITA_TENGE_CLO...	Bool	%i0.6	<input type="checkbox"/>	DESCARGA DE FUNDO 2 FECHADA
7	 VALV_FUNDO_DIREITA_TENGE_OPE...	Bool	%i0.7	<input type="checkbox"/>	DESCARGA DE FUNDO 2 ABERTA
8	 BOTAO_EMERGENCIA_PAINEL_SEEK	Bool	%i1.0	<input type="checkbox"/>	
9	 RELE_EMERGENCIA	Bool	%i1.1	<input type="checkbox"/>	
10	 VALV_FUNDO_ATA_CLOSE	Bool	%i1.2	<input type="checkbox"/>	
11	 VALV_FUNDO_ATA_OPEN	Bool	%i1.3	<input type="checkbox"/>	
12	 i1.4	Bool	%i1.4	<input type="checkbox"/>	
13	 i1.5	Bool	%i1.5	<input type="checkbox"/>	
14	 i1.6	Bool	%i1.6	<input type="checkbox"/>	
15	 i1.7	Bool	%i1.7	<input type="checkbox"/>	
16	 VALV_DRENO	Bool	%i2.0	<input type="checkbox"/>	VALVULA DRENO RETORNO DE CONDENSA...
17	 VALV_DESCARGA_TENGE	Bool	%i2.1	<input type="checkbox"/>	
18	 VALV_DESCARGA_ATA_NOT_USE	Bool	%i2.2	<input type="checkbox"/>	
19	 BOTAO_EMERGENCIA_PAINEL_TEN...	Bool	%i2.3	<input type="checkbox"/>	
20	 BOMBA_TENGE	Bool	%i2.4	<input type="checkbox"/>	FEEDBACK BOMBA LIGADA
21	 BOTAO_EMERGENCIA_PAINEL_ATA	Bool	%i2.5	<input type="checkbox"/>	
22	 BOMBA_ATA	Bool	%i2.6	<input type="checkbox"/>	FEEDBACK BOMBA LIGADA

**Figura 14: Lista de pontos - base CLP**  
**Autoria própria**

A etapa seguinte é a estruturação do programa, a lógica que deverá ser realizada com base nos objetivos citados. O critério utilizado foi separar cada sequência lógica em um bloco independente com funções pares. Como resultado foi obtido 8 blocos, (figura 15) sendo: FC005 – leitura dos I/Os; FC010 – modo operação; FC020 – alarmes; FC051 – descarga de fundo; FC052 – retorno de condensado e tanque água fria; FC053 – descarga superfície; FC055 – cálculo de vapor saturado e FC500 – intertravamento comunicação.



**Figura 15: Blocos de programação TIA**  
Autoria própria

### 3.1.1 FC005 – Leitura dos I/Os

O bloco FC005 tem a função de ler as entradas e as saídas do CLP e escrevê-las na memória do CLP, especificamente no bloco DB056, que é uma cópia da base. O propósito dessa duplicação de informações é fazer a leitura durante a execução do programa somente dos endereços alocados do DB056. Desse modo deixamos o programa preparado para mudanças de entradas ou saídas, caso algum ponto físico queime ou ocorra alterações. Para isso basta alterar relação da entrada física do CLP com o endereço no DB056 (figura 16). A substituição é pontual, ou seja, será desnecessária encontrar todos os pontos na sequência do ladder.

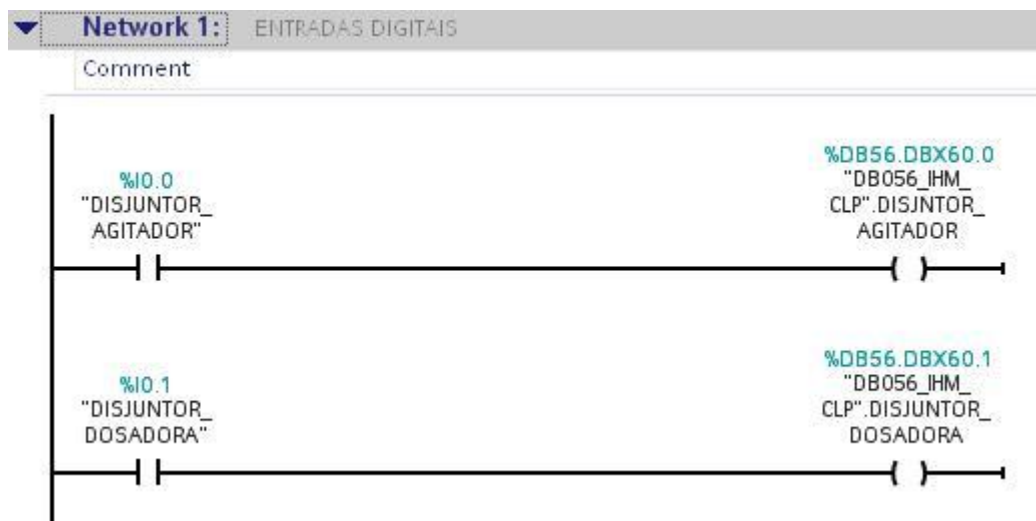


Figura 16: Ladder do Bloco de leitura das entradas e saídas  
 Autoria própria

### 3.1.2 FC010 – Modo operação

O bloco FC010 trata do modo de operação do sistema da caldeira e também de cada subsistema. O sistema da caldeira compreende os subsistemas da dosadora, válvulas de condensado, válvulas de dreno e válvulas de água. A operação pode ser selecionada em modo manual para intervenção do operador junto a IHM ou automática e segue os parâmetros desejados.

### 3.1.3 FC020 – Alarmes

O bloco FC020 monitora as condições de operação de todo o subsistema. Reconhece o acionamento do botão de emergência e falhas de válvula – trava aberta ou fechada e toma ação de acionar a sirene e bloqueio de acionamentos até a intervenção do operador.

### 3.1.4 FC051 – Descarga de fundo

O bloco FC51 controla a descarga de fundo da caldeira, atuando em duas válvulas que estão localizados no fundo caldeira. Quando a operação está em modo automático o ciclo é contínuo e a ação é abrir uma válvula por vez a cada 20 minutos e a manter aberta por 5 segundos e após este tempo a ação passa para a segunda válvula. Os tempos são ajustáveis e há um limite máximo de 5 segundos que a válvula pode permanecer aberta.

### 3.1.5 FC052 – Retorno de condensado e tanque água fria

O bloco FC52 retorno de condensado que controla o nível do tanque de alimentação da caldeira e é alimentado com água da concessionária, e também, com o vapor que retorna da planta após ser aproveitado nas aplicações industriais. A preferência é sempre utilizar o vapor, pois já está aquecido e ao voltar para o interior da caldeira consome menos energia para atingir a temperatura de trabalho comparado à água em temperatura ambiente. O parâmetro que decide entre o uso de vapor ou de água para a reposição do tanque é a condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) do vapor. Caso a condutividade do vapor esteja superior ao desejado o mesmo é descartado e a água torna-se o insumo usado. Além da qualidade da água a quantidade também é controlada no tanque, atuando sobre as válvulas condensadas para dreno; condensado para tanque; alimentação água.



### 3.1.6 FC053 – Descarga superfície

O bloco FC53 Descarga de Superfície controla o descarte de água no interior da caldeira, semelhante à descarga de fundo, atuando sobre válvulas localizadas na parte mediana da caldeira, e também, controla a qualidade da água no interior da caldeira, monitorando a condutividade da água. A ação é abrir a válvula a cada 30 minutos e a manter aberta por 3 segundos. Em caso de condutividade alta, a válvula abre em intervalos de tempo menor e por mais tempo. De acordo com valores estipulados na IHM

## 3.2 IHM

A função da IHM (figura 17) é permitir ao operador interagir com o processo através de uma tela sensível ao toque. Permite a monitoração do processo de um modo simples e objetivo.

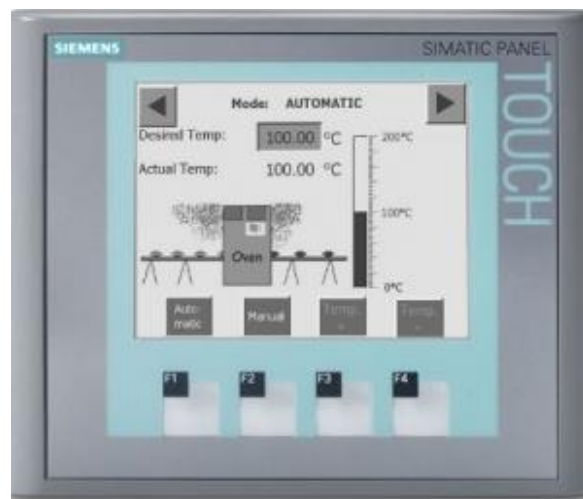


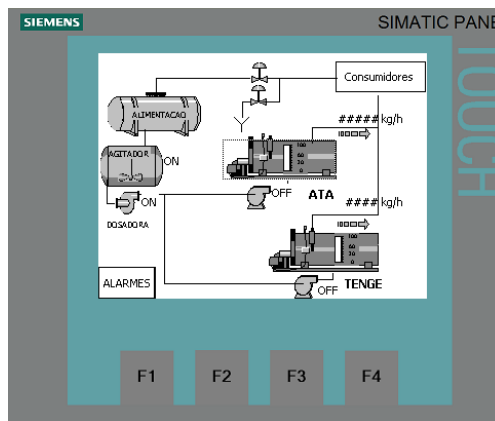
Figura 17: Tela principal da IHM  
Fonte: Siemens 2014

O princípio da programação da IHM são as telas e devem conter as informações relevantes. Como uma folha de papel em branco é necessária para que o programador

desenhe todos os objetos. A ferramenta da Siemens já disponibiliza uma biblioteca, assim pode-se adicionar o objeto desejado na tela, posicionar e dimensionar.

Uma vez que as telas estejam desenhadas é necessário fazer as associações entre os objetos de tela e as informações, como por exemplo, entre um display e a informação analógica de entrada.

Como solução é possível visualizar na tela principal o sinótico do sistema (figura 18). Composto por duas caldeiras, a linha de vapor, a linha de alimentação da caldeira, o tanque de alimentação, agitador e as bombas.

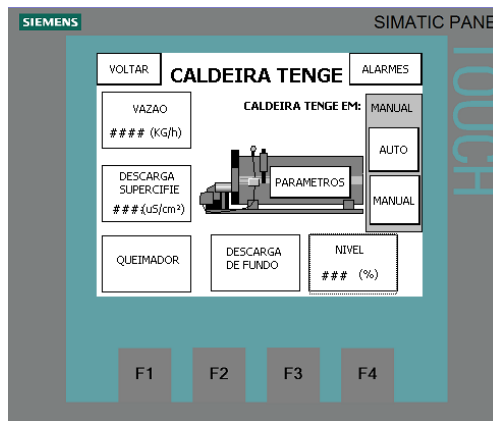


**Figura 18: Tela principal da IHM**  
 Autoria própria

Sobre cada objeto da tela que representa um componente do sistema de caldeiras há um botão e com um toque com o dedo é possível acessar as telas específicas: caldeira tenge, caldeira ata, sistema de alimentação e a tela de alarmes.

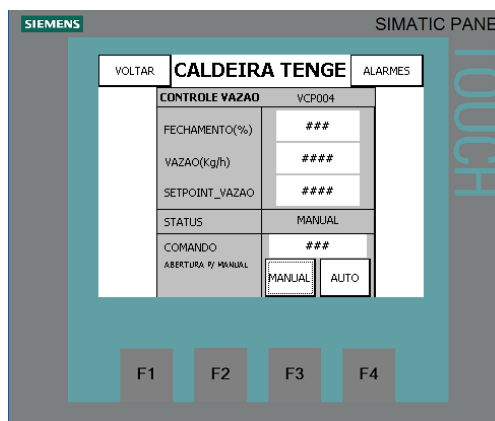
### 3.2.1 Tela Caldeira Tenge

A tela caldeira tenge (figura19) mostra os valores instantâneos da vazão de saída de vapor, a condutividade da água no interior da caldeira e o nível da mesma. Também disponibiliza acesso aos parâmetros de configuração: controle de vazão, descarga de superfície, descarga de fundo, controle de nível, monitoramento do queimador e tela alarmes.



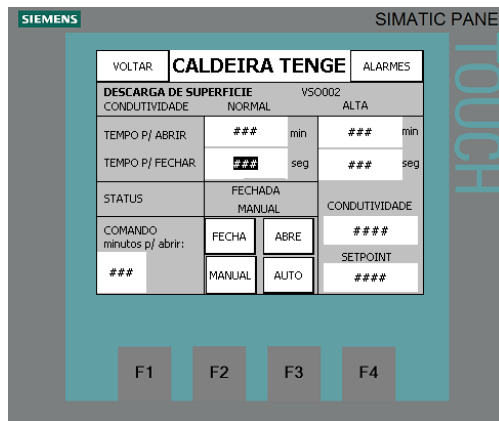
**Figura 19: Tela caldeira Tenge**  
 Autoria própria

A tela controle (figura 20) de vazão trata dos parâmetros de controle de vazão. É possível entrar com o setpoint de vazão e a percentagem de abertura da válvula para operação em manual. Assim pode-se visualizar em porcentagem o fechamento da válvula de saída de vapor, a vazão instantânea de saída de vapor da caldeira, o modo de operação do controle de vazão e o comando quando em manual.



**Figura 20: Tela controle de vazão**  
 Autoria própria

A tela descarga de superfície (figura 21) trata da operação de descarga de superfície. É possível entrar com os tempos desejados para abertura e fechamento da válvula de descarga de superfície e o setpoint de condutividade. E a leitura das informações: o tempo restante para a próxima abertura, a condutividade instantânea da água, operação em manual ou automático e aberta ou fechada.



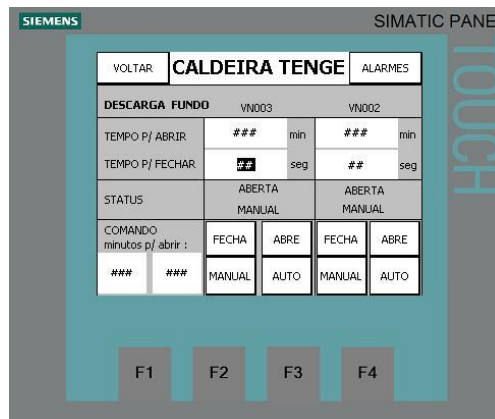
**Figura 21: Tela descarga de superfície**  
 Autoria própria

A tela queimador (figura 22) informa os dados recebidos do queimador da caldeira e somente é possível visualizar os valores de setpoint de pressão, a pressão atual, horímetro do queimador, e a temperatura da caldeira.



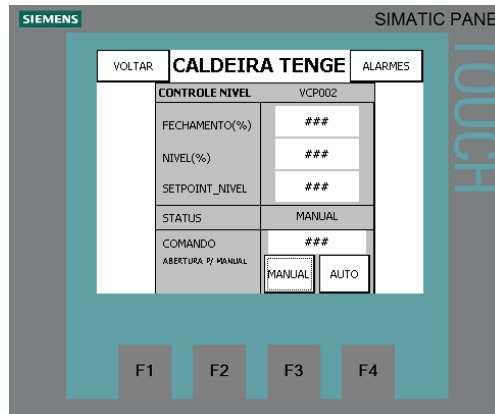
**Figura 22: Tela queimador**  
 Autoria própria

A tela descarga de fundo (figura 23) trata da operação de descarga de fundo da caldeira. É possível entrar com valores de tempo para abrir e fechar as válvulas. E ler os estados: aberta ou fechado, manual ou automático e o tempo para a próxima abertura da válvula.



**Figura 23: Tela descarga de fundo**  
 Autoria própria

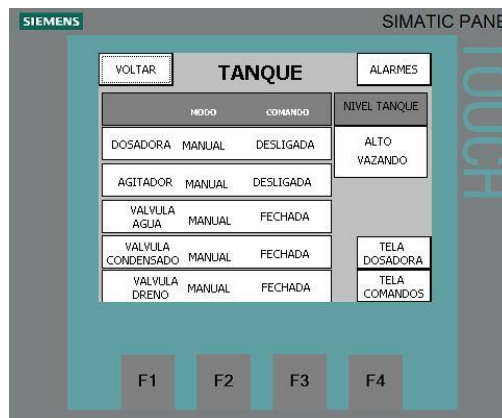
A tela controle de nível (figura 24) trata da operação controle de nível da caldeira. É possível entrar com o setpoint de nível e a percentagem para abertura em manual da válvula. E ler a percentagem de fechamento da válvula e o nível instantâneo da caldeira.



**Figura 24: Tela controle de nível**  
 Autoria própria

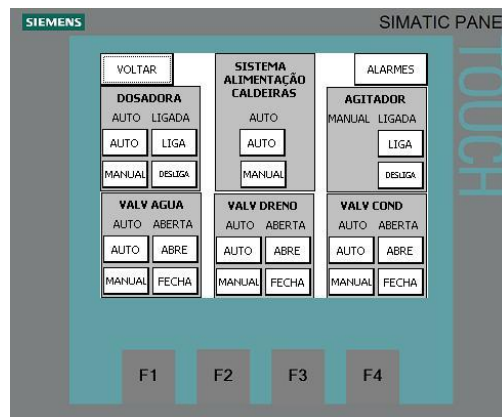
### 3.2.2 Tela Tanque

A tela tanque (figura 25) trata de todo o sistema de alimentação de água das caldeiras. Composta pelo tanque, a bomba dosadora, o agitador, a válvula de água, a válvula de condensado e a válvula de dreno. É possível visualizar o modo de operação (manual ou automático), o comando (ligado ou desligado), e o nível do tanque.



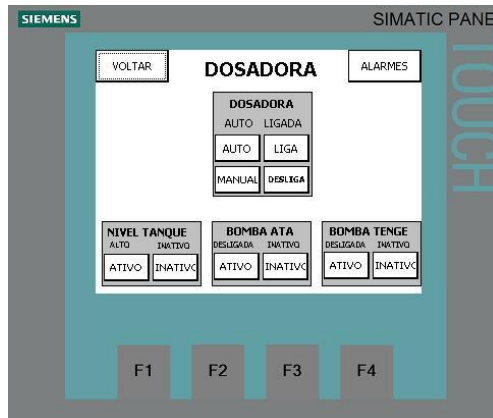
**Figura 25: Tela geral tanque**  
 Autoria própria

A tela comando (figura 26) trata das operações do sistema de alimentação de água. É possível alterar o modo de operação e comandar cada atuador individualmente se necessário.



**Figura 26: Tela comandos**  
 Autoria própria

A tela dosadora (figura 27) trata da bomba dosadora. De acordo com a lógica de operação da dosadora, deve levar em consideração o nível do tanque, o uso da bomba da caldeira Ata e a bomba da caldeira Tenge. Assim devem-se pressionar os respectivos botões para a dosadora entrar em operação em operação automática.



**Figura 27: Tela dosadora**  
Autoria própria

### 3.3 COMISSIONAMENTO

Comissionamento é conferir: cada entrada e saída do CLP; ligações de bombas (verificar sentido de giro); verificar os sensores e atuadores se estão em seus respectivos bornes.

Logo que o programa é concluído começa o comissionamento, momento de ir até o local onde foi instalado a caldeira e o painel de automação.

Na figura 28 podemos visualizar o sistema de caldeiras instalado na planta. A caldeira Tenge está situada a esquerda,



**Figura 28: Visão geral caldeiras**  
**Autoria própria**



A figura 29 mostra o painel de Automação, no qual é localizado o CLP e a IHM.



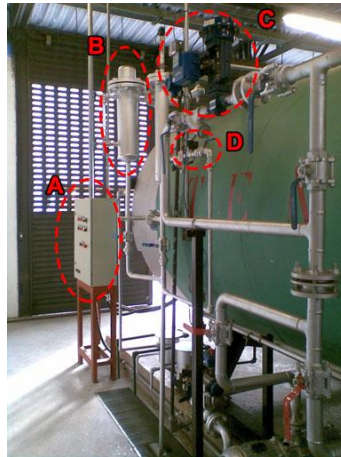
**Figura 29: Visão painel de automação**  
Autoria própria

A figura 30 é o interior do painel. Composto por transformador, fonte de 24 volts, disjuntores, contadores, bornes, CLP e módulos.



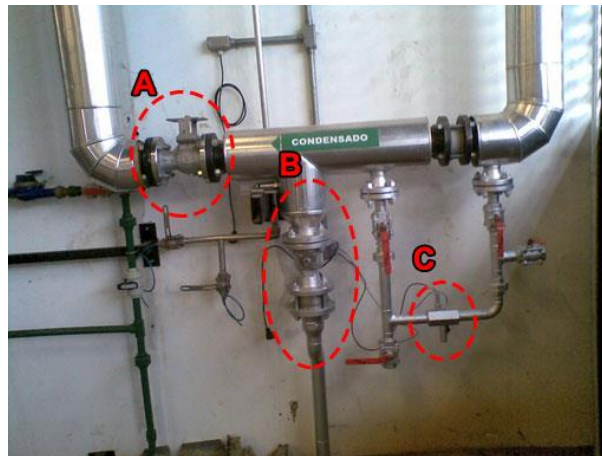
**Figura 30: Interior painel automação**  
Autoria própria

Na figura 31 mostra a Caldeira tenge na visão lateral. A esquerda encontra-se o painel da Caldeira Tenge (A). Os tubos na vertical são os sensores de nível (B). A direita temos os tubos que controlam o nível da caldeira, a válvula atuadora está pintada de azul (C). E uma pequena válvula eletromecânica da descarga de superfície (D).



**Figura 31: Caldeira Tenge**  
Autoria própria

Na figura 32 é possível visualizar o retorno de condensado. Encontra-se a válvula de dreno (B), a válvula de condensado (A) e o sensor de condutividade (C).



**Figura 32: Retorno de condensado**  
Autoria própria

A figura 33 mostra o tanque de água que alimenta as caldeiras.



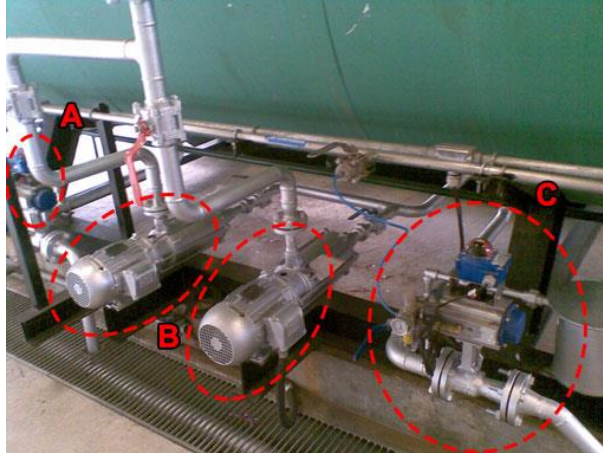
**Figura 33: Tanque de alimentação de água para caldeiras**  
Autoria própria

A Figura 34 mostra o tanque de dosagem, que prepara os químicos para tratar água da caldeira. Composta por misturador (A) e a bomba dosadora (B).



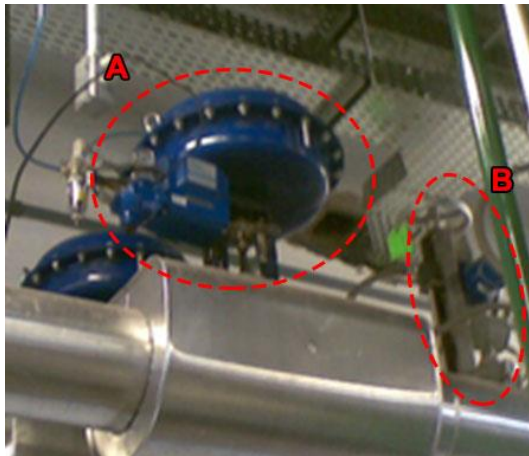
**Figura 34 Bomba dosadora e tanque de mistura**  
Autoria própria

Na figura 35 encontra-se as bombas de alimentação de água da caldeira (B) e as válvulas de descarga de fundo (A e B).



**Figura 355: Bomba alimentação de água caldeira e válvula descarga de fundo**  
Autoria própria

A figura 36 mostra a válvula que limita a vazão máxima da caldeira (A) e também o sensor de vazão (B).



**Figura 366 Válvula que regula a vazão máxima e sensor de vazão**  
Autoria própria

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como resultado obtido, temos uma caldeira funcionando em tempo integral no automático. Diferente do funcionamento anterior, no qual o operador deveria periodicamente realizar uma série de procedimentos. Desse modo o operador realiza uma nova rotina, que é verificar o sistema está funcionando e monitorar eventuais alarmes.

As operações necessárias para o pleno funcionamento da caldeira ganharam precisão e confiabilidade. Foi entregue ao cliente um sistema de caldeiras e geração de vapor automatizado. Contando com um CLP operado através de uma IHM. No qual controla:

- A vazão de entrada de água no interior da caldeira, assim foi possível melhorar o consumo de combustível, pois como pouca quantidade de água entra por vez a temperatura no interior da caldeira mantém-se constante;
- O nível no tanque de alimentação de água para a caldeira, desta forma o nível permanece sempre na medida ideal e criou mais segurança, em caso de situação não conforme atua e desliga a caldeira antes da situação crítica;
- O descarte de superfície e a descarga de fundo são ativados pontualmente sempre no tempo programado que melhorou a qualidade da água e por consequência aumentará a vida útil da caldeira prevenindo corrosão e incrustações; monitoramento em tempo real do parâmetros da caldeira.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As ações de controle aplicadas à caldeira industrial mostraram que um equipamento desenvolvido há séculos, e que, iniciou a revolução industrial, pode tornar-se mais eficiente, confiável e seguro. Tais melhorias foram percebidas pelos operadores através da simplificação da operação, na engenharia pela redução do custo de operação e manutenção e finalmente no processo através de fornecimento mais estável de vapor e calor.

Todos os objetivos propostos foram alcançados e como melhoria do sistema é sugerida a integração do CLP com um sistema supervisório. Dessa forma, poderemos ter, além da função de base de dados no qual os status de processo são armazenados, e também a implementação de telas e recursos de leitura e escrita para acompanhar o processo de outros pontos da planta, para operação em situação de emergência por exemplo.

## 6 REFERENCIAL TEÓRICO

BATISTA, Elsa; Filipe, Eduarda. **A Influência da variação da condutividade e Densidade da Água na Calibração Gravimétrica.** Disponível em: <[http://www.spmet.pt/Eventos/Conferencia2/Densidade\\_condutividade\\_EBaptista\\_et\\_3\\_al.pdf](http://www.spmet.pt/Eventos/Conferencia2/Densidade_condutividade_EBaptista_et_3_al.pdf)>. Acesso em 25 de setembro de 2014

BAZZO, Edson. **Geração de Vapor.** 2ª Ed. Florianópolis: UFSC, 1995.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras.** 3ª Ed. XXX: Interciência, 2003.

FIALHO, Arivetto Bustamante. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises.** 6ª Ed. São Paulo: Érica, 2008.

GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada: Descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs.** 9ª. São Paulo: Érica, 2007.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno.** 3ª Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.

SIEMENS. **CLP S7-1200.** Disponível em: <<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-1200/cpu/Pages/Default.aspx?tabcardname=standard%20cpus>>. Acesso em 25 de setembro de 2014.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores Industriais: fundamentos e aplicações.** 8ª Ed. São Paulo: Érica, 2011.